

BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Professur Siedlungswasserwirtschaft

Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong

BACHELORARBEIT

Nr. IUB/2004/4

Bearbeiter: Herr R O C K T Ä S C H E L, Tobias

Geburtsdatum: 13. Dezember 1981

Geburtsort: Lutherstadt Wittenberg

Thema: Untersuchungen zur Anwendbarkeit eines kombinierten Verfahrens zur Abwasserreinigung und Biomassenproduktion am Beispiel der LWG Schmerz

Wissenschaftsgebiet: Siedlungswasserwirtschaft

Erstprüfer: Herr Prof. Dr.-Ing. J. Londong

Zweitprüfer: Herr Dr.-Ing. R. Englert

Ausgabetermin: 13. September 2004

Abgabetermin: 15. November 2004

Weimar, den 10. September 2004

Prof. Dr.-Ing. Rautenstrauch
Vorsitzender der
Prüfungskommission

Aufgabenstellung

1. Problem-/Zielstellung

Die Landwirtschaftsgesellschaft (LWG) Schmerz in Gossa/ Sachsen-Anhalt besitzt als Haupterwerbsquelle 400 Milchkühe zur Milchproduktion. Die gegenwärtige Abwasser- und Reststoffentsorgung stellt sich wie folgt dar:

Die Gülle wird zusammen mit den Abwässern der Milchproduktion (Spül- und Reinigungswässer der Melkanlage) und den Überläufen zweier Mehrkammergruben für Sozialabwässer in einer Vergärungsanlage anaerob behandelt. Die Klärschlämme des Sozialbereichs werden aus den Mehrkammergruben einmal jährlich entleert. Das Regenwasser der versiegelten Flächen des Betriebsgeländes wird gesammelt und in Kanälen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche, welche sich auf der anderen Straßenseite befindet, geleitet. In einem Regenwasserteich werden die Abwässer zur Verdunstung bzw. Versickerung aufgefangen. Die Reststoffe der Vergärung werden zur Düngung mit Hilfe mobiler Gülletanks auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen der LWG – Schmerz gefahren. Das in der Anaerobbehandlung entstandene Biogas wird verstromt und in das öffentliche Stromnetz eingespeist. In der Bachelorarbeit soll ein alternatives Konzept zur Abwasser- und Reststoffentsorgung untersucht werden. Ziel ist eine Steigerung der Biomasseproduktion und der damit verbundenen Erhöhung der zu gewinnenden Energiemenge sowie die alternative Behandlung der Melkhaus- und Sanitärabwässer.

2. Lösungsschwerpunkte

- Recherche zu rechtlichen Randbedingungen der Mitvergärung von Fäkalien und Urin in der Güllebehandlung
- Darstellung der Vorflutersituation und den daraus abgeleiteten Reinigungsanforderungen, Möglichkeit der Versickerung von gereinigtem Abwasser?
- Darstellung der technisch möglichen Varianten unter den örtlichen Gegebenheiten und der Nutzung vorhandener Abwasseranlagen
- Aufstellen einer Wasserbilanz in Bezug auf Niederschlag, Verdunstung und erforderlicher Speicherung
- Nachrechnung der vorhandenen Biogasanlage
- Zusammenstellung der Möglichkeiten zur Verwertung kleiner Biomasse mengen
- Vergleichende Betrachtung der verschiedenen Varianten
- Empfehlung einer Vorzugsvariante

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Vorstellung des Betriebes	6
1.2	Zu behandelnde Abwassermengen	8
1.3	Mögliche zukünftige Abwasserentsorgung	13
2	Darstellung der möglichen Varianten zur Abwasserbehandlung und Reststoffverwertung	14
2.1	IST Zustand.....	14
2.2	Variante 1: Biomassengewinnung aus dem anfallenden Regenwasser.....	15
2.3	Variante 2: Biomassengewinnung aus dem anfallenden Regenwasser, Vergärung der Sanitär- und Melkhausabwässer sowie der Klärschlämme der MKG	19
2.4	Variante 3: Biomassengewinnung aus dem anfallenden Regenwasser sowie den Melkhaus- und Sozialabwässern.....	20
2.5	Variante 4: Biomassengewinnung aus dem anfallenden Regenwasser, separate Abwasserbehandlung der Melkhaus- und Sozialabwässer	25
2.6	Variante 5: Aufbringung der Sozialabwässer sowie der Melkhausabwässer auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen	26
2.7	Variante 6: Vergärung der Melkhaus- und Sozialabwässer sowie der Regenwässer	27
2.8	Variante 7: Abwasserbehandlung der Sozial- und Melkhausabwässer zusammen mit dem Regenwasser, Aufbringung der anfallenden Klärschlämme auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen	29
2.9	Zusammenfassung.....	30
3	Beschreibung der naturnahen Abwasserbehandlung	32
3.1	Vorstellung des System Dernbach	33
3.2	Vorflutersituation/ Versickerung	42
3.3	Zusammenfassung.....	46
4	Pflanzenarten	47
4.1	Schilfrohr (Phragmites australis)	48
4.2	Binsen und Seggen (Carex und Juncus).....	48
4.3	Chinaschilf (Miscanthus sinensis)	48
4.4	Zusammenfassung.....	49
5	Verwertungsalternativen der gewonnenen Biomasse	50

5.1	Thermische Nutzung	50
5.2	Kofermentation.....	52
5.3	Zusammenfassung.....	53
6	Dimensionierung der neu zu verlegenden Abwasserkanäle und Nachrechnung der vorhandenen Biogasanlage.....	54
6.1	Dimensionierung der neu zu verlegenden Abwasserkanäle	54
6.2	Nachrechnung der vorhandenen Biogasanlage	57
6.3	Zusammenfassung.....	58
7	Vergleich der Varianten	59
7.1	Materialaufwand.....	61
7.2	Reinigungsleistung	61
7.3	Biomasseertrag	62
7.4	Reststoffentsorgung	63
7.5	Empfehlung einer Vorzugsvariante	64
7.6	Zusammenfassung.....	65
8	Resümee	66
9	Ausblick	68
10	Symbolverzeichnis.....	70
10.1	Symbole	70
10.2	Indizes tief	70
11	Quellenverzeichnis	72
12	Selbstständigkeitserklärung	75
13	Anhang 1	75
13.1	Berechnung der täglich anfallenden Regenwassermenge.....	75

1 Einleitung

1.1 Vorstellung des Betriebes

Die Landwirtschaftsgesellschaft (LWG) – Schmerz befindet sich in Gossa, im Landkreis Bitterfeld des Bundeslandes Sachsen Anhalt. Der Betrieb liegt an der Kreisstraße K 2036 zwischen dem Gossaer Ortsteil Schmerz und der Gemeinde Krina. Die LWG Schmerz ist Arbeitgeber für 57 Beschäftigte und nutzt als Haupterwerbsquelle die Milchproduktion, die durch etwa 400 Milchkühe gewährleistet wird. Derzeitig erfolgt die Abwassersammlung der Mitarbeiter in zwei unterschiedlichen Mehrkammergruben, deren Überläufe in einen Gülle- bzw. Gärrestbehälter gelangen. Die Klärschlämme werden einmal jährlich geleert. Die Gülle- auffangbehälter dienen zur Speicherung der Fäkalien der Nutztiere, von wo aus die Gülle regelmäßig der betriebseigenen Biogasanlage zugeführt wird. Dem bei der Vergärung entstehenden Biogas sind anschließend Gase wie Kohlendioxid oder Schwefelwasserstoff zu entziehen, so dass das übrigbleibende Methan in einem Blockheizkraftwerk verbrannt, und der dabei entstehende elektrische Strom in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann. Eine effektivitätssteigernde Gasproduktion kann durch die zusätzliche Vergärung von Kosubstraten, wie beispielsweise Silomais gewährleistet werden. Das Gärsubstrat aus der Biogasanlage wird in einen Gärrestbehälter geleitet. Neben dem Gärrest gelangen ebenfalls die Abwässer der Milchproduktion aus dem Melkhaus in diesen Auffangbehälter. In regelmäßigen Abständen wird der Inhalt des Gärrestbehälters zur Düngung auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgetragen. Die Niederschläge der befestigten Flächen und Dächer können in einem Regenwasserkanal in einen Regenwasserteich, welcher sich auf der gegenüberliegenden Seite des Betriebsgeländes auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche befindet, eingeleitet und dort versickert werden. Abbildung 1.1 zeigt eine Lageskizze des Betriebsgeländes der LWG Schmerz, auf der die einzelnen Abwasser- sowie Gülleströme, farblich markiert, dargestellt sind. Der Kanal, welcher die Biogasanlage mit den Gülle- bzw. Gärrestbehältern verbindet, kann mit Hilfe von entsprechenden Schiebern in den Leitungen in zwei Richtungen betrieben werden, so dass die Biogasanlage zum einen befüllbar, aber auch zu entleeren ist.

Legende

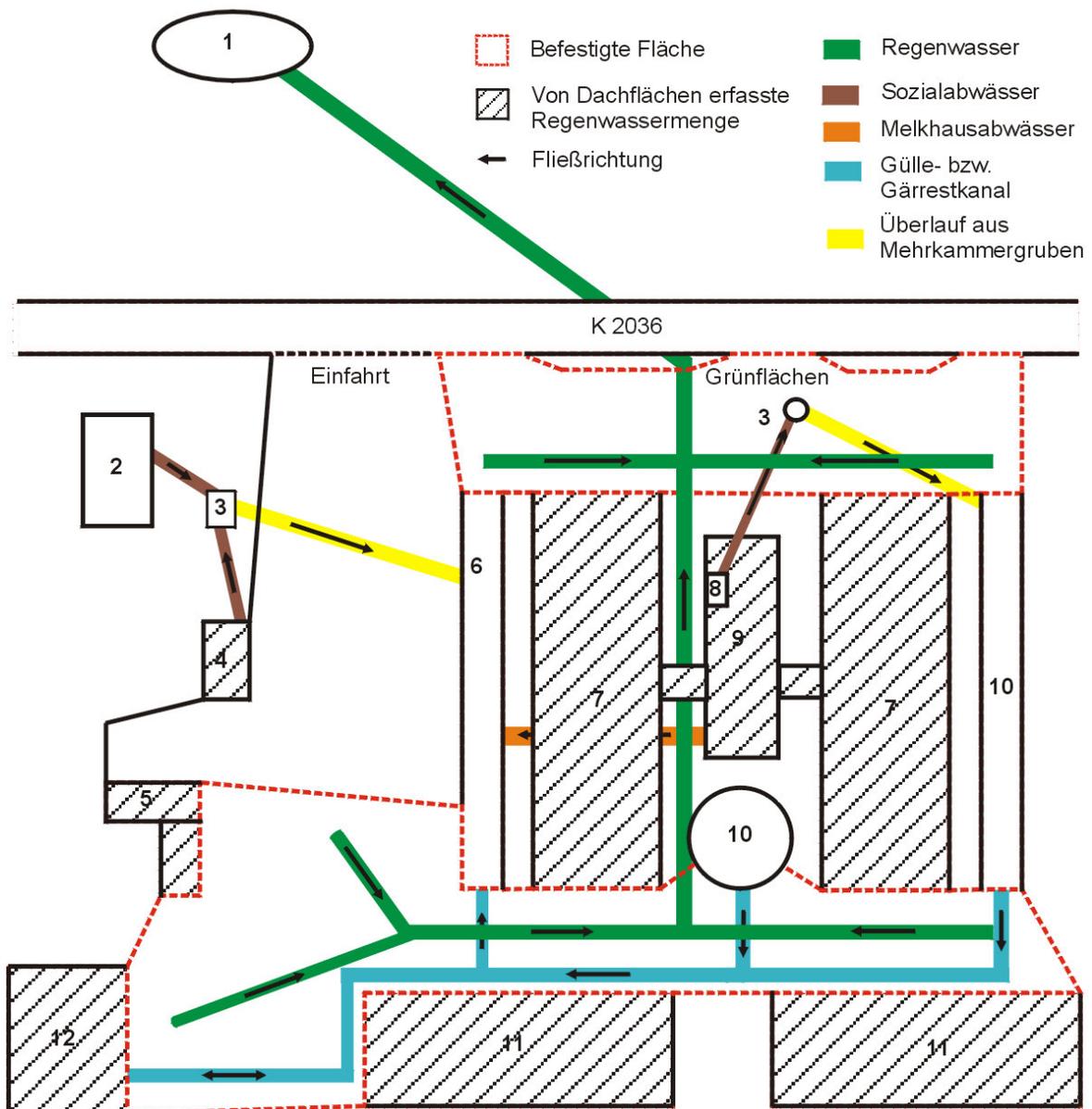


Abbildung 1.1: Lageskizze des Betriebsgeländes der LWG Schmerz.

1	Regenwassersammelteich	2	Büroräume	3	Ein- bzw. Mehrkammerabsetzgruben
4	WC- und Duschräume für Mitarbeiter	5	Werkstatt	6	Behälter für Gärrest aus Biogasanlage
7	Kuhställe	8	Aufenthaltsraum und Toilette	9	Melkhaus
10	Zwischenspeicher für Gülle aus Kuhställen	11	Gebäude zur Jungtierzucht	12	Biogasanlage

Tabelle 1.1: Legende für Abbildung 1.1: Lageskizze des Betriebsgeländes der LWG Schmerz.

1.2 Zu behandelnde Abwassermengen

Die anfallenden Abwassermengen setzen sich aus den Spülwässern der Milchproduktion, dem Schmutzwasser sanitärer Einrichtungen sowie aus dem Regenwassers zusammen. Im Folgenden werden die einzelnen Abwasserteilströme näher charakterisiert:

1.2.1 Abwässer aus der Milchproduktion

Die Abwässer aus der Milchproduktion entstehen fast ausschließlich bei der Säuberung bzw. Desinfektion von Produktions- und Transportanlagen zur Milchherstellung außerhalb des Betriebsgeländes. Diese Abwässer enthalten große Mengen an organischen Inhaltsstoffe, welche bis zu 90 % aus Milch- und Produktresten bestehen. Nach SPREUER [1] wird zwischen folgenden Abwasseranfallstellen unterschieden:

- Separatorschlamm aus der Milchvorbehandlung
- Tropfverluste, Rohstoff- und Produktreste
- Waschwasser aus der Casein- oder Käseproduktion
- Reinigungswässer aus der Säuberung von Betriebsanlagen, Betriebsräumen und Geräten.

Bei dem in der Bachelorarbeit betrachteten Betrieb handelt es sich lediglich um eine Milcherezeuger, da die gewonnene Milch nicht weiterverarbeitet wird. Die Milch wird hier lediglich zwischengelagert und in regelmäßigen Abständen abtransportiert und an anderer Stelle zur Herstellung von Milchprodukten verwendet. Demzufolge fallen hier lediglich Abwässer bei der Reinigung:

- der Melkmaschinen (in mehreren automatischen Spülungen),
- der Standflächen der Milchkühe,
- der Milchaufbewahrungstanks,
- sowie der Milchkannen an.

Die Milchkühe werden täglich in sogenannten Melkkarussells automatisch gemolken. Während einer Umdrehung wird die Milchkuh vollständig gemolken und kann anschließend die automatische Melkeinrichtung verlassen. Die an den milchführenden Oberflächen haftenden Milchreste müssen durch Reinigungs- bzw. Desinfektionsmaßnahmen entfernt werden, um die nächste, frisch gemolkene Milch vor mikrobieller Schädigung zu schützen. In der LWG Schmerz wird, die in Deutschland überwiegend verwendete Zirkulationsreinigung eingesetzt. Das Reinigungsverfahren (entnommen aus [1]) lässt sich in Vor-, Haupt- und Nachspülung einteilen. In der Vorspülung werden Milchreste aus den Rohrleitungen gedrückt, indem kaltes Wasser aus den Rohrleitungen gepumpt wird. In der anschließenden Hauptspülung zirkuliert Wasser, welchem Desinfektionsmittel zugesetzt wurde, bei einer Temperatur von circa 55 °C in der Anlage. Dadurch werden zum einen Milchreste gelöst und zum anderen die in der Anlage befindlichen Mikroorganismen abgetötet. Nach der Hauptspülung sind die milchführenden Teile mit kaltem Wasser durchzuspülen, um die Desinfektionsmittelreste zu entfernen. Außerdem werden die Euter vor dem Beginn des Melkvorganges abgespült sowie die Standflächen der Milchkühe mit Wasser von Verunreinigungen (z.B. Fäkalien oder Mist) gesäubert. Die entnommene Milch wird in Milchaufbewahrungstanks gespeichert und später abtransportiert.

tiert. Nach der täglichen Leerung der Tanks sind diese mit einer Mischung aus Wasser und Desinfektionsmittel zu reinigen. Ein Teil der Milch wird zur Fütterung der Jungtiere in Milchkannen aufbewahrt, die nach erfolgter Fütterung ebenfalls gesäubert werden.

Die Ermittlung der Melkhausabwassermengen erfolgte näherungsweise. Zum einen schätzten die Mitarbeiter des Betriebes die tägliche Menge an Abwasser, welche bei der Standflächen-, Milchkannen- sowie Milchtankreinigung anfällt. Des Weiteren wurden die Volumina der Speicher für die Vor-, Haupt-, und Nachspülung ermittelt, so dass auf die Wassermenge zur Melkstandreinigung geschlossen werden konnte. In der folgenden Tabelle und dem nebenstehenden Diagramm sind die täglichen Melkhausabwassermengen $Q_{G,d}$ und deren prozentuale Verteilung dargestellt.

Bezeichnung	Menge in [m ³ / d]
Vorspülung	0,20
Hauptspülung	0,48
Nachspülung	0,40
Standflächenreinigung	0,30
Milchkannenreinigung	0,72
Milchtankreinigung	0,10
gesamt	2,20

Tabelle 1.2: täglich anfallenden Abwassermengen ($Q_{G,d}$) aus der Milchgewinnung

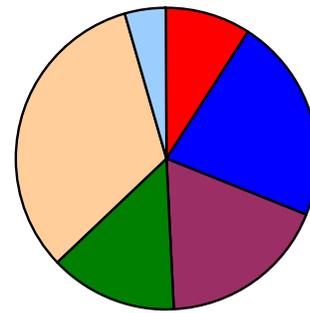


Abbildung 1.2: prozentuale Verteilung der Melkhausabwässer

In der nachstehenden Tabelle sind die Untersuchungsergebnisse einer Probenahme der gesammelten Abwässer der Milchproduktion zu sehen. Die Abwasseruntersuchungen wurden im Labor der Professur Siedlungswasserwirtschaft der Bauhaus-Universität Weimar durchgeführt.

Benennung und Angabe		Einheit	Messwert
<i>Datum, Urzeit 25.04.2004, 09:00 - 11:00 Uhr</i>			
pH-Wert		-	5,8 bei 16,1 °C
Abfiltrierbare Stoffe [mg/l]	X_{TS}	mg/l	688
Organische Substanz der abfiltrierten Stoffe	GV	%	73
Biochemischer Sauerstoffbedarf	C_{BSB}	mg/l	1.400
Biochemischer Sauerstoffbedarf	S_{BSB}	mg/l	480
Chemischer Sauerstoffbedarf	C_{CSB}	mg/l	2.431
Chemischer Sauerstoffbedarf	S_{CSB}	mg/l	1.193
Kjeledahlstickstoff (org. N + NH_4 -N)	C_{TKN}	mg/l	130,1
Ammoniumstickstoff	S_{NH_4}	mg/l	26,2
Nitratstickstoff	S_{NO_3}	mg/l	2,3
Phosphor, gesamt	$C_{P_{ges}}$	mg/l	98,5

Tabelle 1.3: Analysenergebnisse Melkhausabwasseruntersuchung LWG Schmerz

Die BSB_5 Konzentration von häuslichem Abwasser beträgt unter der Zugrundlegung eines spezifischen Abwasserzuflusses von 150l pro Einwohner und Tag sowie einem Bemessungswert von 60g BSB_5 pro Einwohner und Tag 400mg/l [2]. Demnach ist die C_{BSB} - Belastung der Melkhausabwässer etwa 4mal höher als die Konzentration häuslicher Abwässer. Diese hohen Belastung muss bei einer Dimensionierung einer naturnahen Behandlungsmethode dementsprechend beachtet werden. Vor allem die Phosphorwerte sind um ein vielfaches höher als bei häuslichem Abwasser. Sie erreichen mit 98,5 mg/l Werte, welche im Vergleich zu häuslichem Abwasser [2] etwa um den Faktor 8 höher sind. Die hohe Phosphorkonzentration ist eine Ursache des Einsatzes von Phosphorsäure als Desinfektionsmittel sein. Die schwach sauren pH Werte deuten ebenfalls darauf hin, dass zur Reinigung der Melkanlage Säuren verwendet wurden. Der pH Wert kann mit Hilfe von Kalklösungen o. ä. angehoben werden, darf aber keine zu großen alkalischen Werte annehmen, da dann Schwermetalle vermehrt freigesetzt werden können [3]. Die nachstehende Tabelle zeigt Analyseergebnisse zweier Stichproben, welche ebenfalls in den Laboren der Professur Siedlungswasserwirtschaft durchgeführt wurden. Die Stichproben wurden durch den Bearbeiter an unterschiedlichen Tagen zum einen zu Beginn der Spülung (Probe 2) und zum anderen am Ende einer Spülung (Probe 1) gezogen.

Benennung und Angabe	Einheit	Messwert Probe 1 06.12.03, 11:15 Uhr	Messwert Probe 2 7.12.03, 9:30 Uhr
pH Wert	-	5,72 bei 22,5 °C	5,69 bei 22,3 °C
X _{TS}	[mg/l]	468	1.130
C _{BSB}	[mg/l]	1.200	2.000
C _{CSB}	[mg/l]	2.130	4.020
S _{CSB}	[mg/l]	1.156	1.834

Tabelle 1.4.: Summenparameter und weitere Bewertungskriterien des Milchproduktionsabwassers LWG Schmerz

Anhand der Analyseergebnisse ist zu sehen, dass die Belastung des Melkhausabwassers während einer Spülung nicht kontinuierlich ist, sondern Schwankungen zu verzeichnen sind. Die weitaus höhere Belastung der zweiten Probe ist damit zu begründen, dass in der Vorspülung zunächst Milchreste aus den Leitungen gepumpt werden. Dieses Abwasser hat somit einen hohen organischen Anteil, welcher der Grund für die hohen Belastungen ist.

Es wird angenommen, dass die unterschiedlichen Daten der Probenentnahmen einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Ergebnisse haben, da die Spülvorgänge täglich stattfinden. Die Probenuntersuchungen der Tabelle 1.4 zeigen, dass unterschiedliche Belastungen der Melkhausabwässer zu verschiedenen Zeiten zu erwarten sind. Dies bedeutet, dass eine ausschließliche Behandlung der Melkhausabwässer für naturnahe Verfahren schwer zu realisieren ist. Pflanzenbeete oder, in späteren Kapiteln noch vorzustellende, substratlose Abwasserbehandlungsverfahren reagieren sehr sensibel auf unterschiedlich starke Belastungen. Die Behandlung der Melkhausabwässer kann nur mit einer Vorklärung und Vorbehandlung sowie zusammen mit Abwässern geringeren Konzentrationen erfolgen.

Um die Schmutzmenge des anfallenden Abwassers einzuordnen, wird sie mit dem Einwohnergleichwert (EGW) verglichen. Der Einwohnergleichwert ist ein Maß für die tägliche anfallende Schmutzwasserfracht eines Einwohners im kommunalem Abwassers. Ein Einwohner produziert täglich etwa eine Schmutzmenge von 60g BSB₅ - Sauerstoff. Die BSB₅ - Schmutzmenge eines Einleiters (z. B. Gewerbe- oder Industriebetrieb) kann auf die 60g Sauerstoff bezogen werden, so dass die Schmutzmenge eines Betriebes o.ä. in EGW beschreibbar ist [4]. Die tägliche Spülwassermenge aus der Milchproduktion beträgt etwa 2m³ mit einer Belastung von 1,4g pro l (Probe Nummer eins). Dies entspricht einer täglichen Schmutzmenge von etwa 2.800g BSB₅ - Sauerstoff pro Tag. Bei einem EGW von 60g Sauerstoff bedeutet dies, dass etwa 47 Einwohner die gleiche tägliche Schmutzwassermenge produzieren.

1.2.2 Abwässer aus dem Sozialbereich

Die zu behandelnden Abwässer aus dem Sozialbereich gelangen in zwei unterschiedliche Mehrkammergruben (siehe Abbildung 1.1). Die Abwässer aus dem Bürogebäude werden

zusammen mit dem Fäkal- und Grauwässern der Duschräume in eine 18m³ große Mehrkammergrube, die Abwässer der Duschräume aus dem Melkhausbereich in eine weitere 15m³ große Grube geleitet. Die Überläufe der Sammelbehälter gelangen, wie in Abbildung 1.1 dargestellt, in den Gülle- bzw. Gärrestbehälter. Einmal jährlich sind die Mehrkammergruben zu entleeren und von einer Entsorgungsfirma abzufahren. Im Verlauf der Bachelorarbeit muss festgestellt werden, wie die zuletzt beschriebenen Abwässer alternativ behandelt werden können. Dabei muss auch ermittelt werden, ob es eine gesetzliche Grundlage in Sachsen Anhalt gibt, welche es erlaubt den Klärschlamm in einer Biogasanlage zu behandeln. Falls dies vom Gesetzgeber verboten ist, bietet sich lediglich die Möglichkeit die Abwässer in die Mehrkammergruben zu leiten und den anfallenden Schlamm abzufahren.

Es fallen Sozialabwässer von 22 Personen an, welche sich aus Dusch- und WC – Abwässer zusammensetzen. In die erste Grube gelangen Abwässer von 3 weiblichen Personen und neun männlichen. Es wird angenommen, dass bei fünf Toilettengängen pro Schicht bei den Frauen 0,2m³ und bei den Männern 0,3 m³ Abwasser anfallen. Dies lässt sich damit begründen, dass durch die Installation von Pissoirs für die Männer pro Person geringere Abwassermengen anfallen. Neben den Toilettenabwässern gelangen auch Duschabwässer in die Mehrkammergrube. Hier wird konstruiert, dass bei fünf täglichen Duschen etwa 0,1m³ Abwasser anfallen. Somit ergibt sich für die erste Grube ein täglicher Abwasseranfall von 0,6m³. In die zweite Grube gelangen ausschließlich Toilettenabwässer von fünf weiblichen und fünf männlichen Personen, so dass hier ein täglicher Schmutzwasseranfall von etwa 0,5m³ zu erwarten ist. Insgesamt fallen in den Mehrkammergruben täglich etwa 1,1m³ Schmutzwasser ($Q_{H,am}$) an. Für die Ermittlung der Einwohnergleichwerte der beschriebenen Sozialabwässer können allgemein geltende Richtlinien für gewerbespezifische Abwässer zu Rate gezogen werden. Für das Bundesland Sachsen Anhalt sind dem Bearbeiter keine Angaben bekannt, allerdings wurden einige andere Quellen (siehe [5], [6] sowie [7]) befragt, welche alle die selben Angaben lieferten. Demnach ist für landwirtschaftliche Betriebe ein Einwohnergleichwert für drei Beschäftigten anzusetzen. Für zwölf angeschlossene Personen ergeben sich somit 4 EGW.

1.2.3 Regenwasser

Das Regenwasser einer circa 1ha großen versiegelten Fläche soll ebenfalls behandelt werden. Dabei handelt es sich, wie in Abbildung 1.1 dargestellt um die Dachflächen der Kuhställe, des Melkhauses sowie um Dachflächen der Gebäude zur Jungtierzucht. Des weiteren soll das Regenwasser von befestigten Flächen gesammelt werden. Auf der Internetpräsenz des deutschen Wetterdienstes sind Angaben zu den monatlich anfallenden Niederschlägen der Wetterstation Leipzig-Skeuditz zu finden [8]. Zunächst wurde der Mittelwert der monatlich anfallenden Regenwassermengen eines Jahres im Zeitraum von 1997 bis 2003 bestimmt. Anschließend war dieser Wert durch 30 zu teilen, um die täglich durchschnittlich anfallende Menge an Regenwasser angeben zu können. Über das Jahr verteilt fallen im Zeitraum von 1997 bis 2003 täglich durchschnittlich etwa 1,5mm/m² Regenwasser an. Dies entspricht einem Wert von 0,0015m³ pro Tag. Auf einer 1ha großen versiegelten Fläche fallen demnach

durchschnittlich täglich circa 15m^3 Regenwasser ($Q_{R,d}$) an. Die Berechnung der täglich durchschnittlich anfallenden Abwassermengen können im Anhang nachvollzogen werden.

1.3 Mögliche zukünftige Abwasserentsorgung

Die Gründe, welche die Betriebsleitung der LWG Schmerz zu Überlegungen einer alternativen Abwasserbehandlung bewegten, liegen in dem möglichen Energiegewinn, der sich aus einer entsprechenden Behandlung bzw. Verwertung der Abwässer ergeben kann. So könnte beispielsweise eine energieautarke Energieversorgung durch eine thermische Nutzung oder Vergärung erfolgen. (siehe Abbildung 1.3).

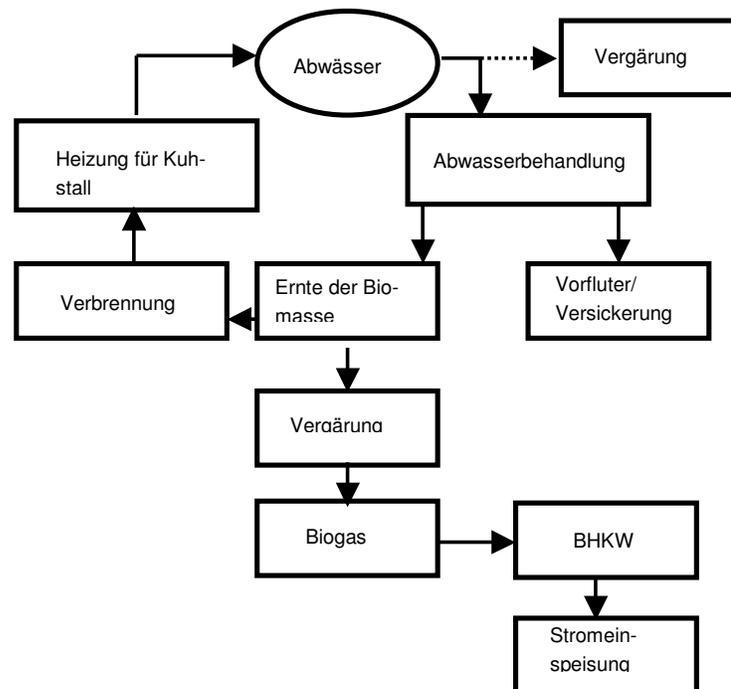


Abbildung 1.3: Schema der möglichen energieautarken Energiegewinnung

Zum einen könnten die Melkhausabwässer zusammen mit den Reststoffen der kommunalen Abwässer des Sozialbereiches in der betriebseigenen Biogasanlage mitvergärt werden und so zu einer zusätzliche Biogasproduktion beitragen. Zum anderen besteht die Möglichkeit mit Hilfe naturnaher Behandlungsverfahren (die Vorstellung der Abwasserbehandlung durch substratlose Pflanzenträgermatten erfolgt in Kapitel 3.1) die dabei produzierte Biomasse energetisch weiter zu verwenden. Dabei werden die Abwässer aus dem Melkhaus- und Sozialbereich sowie die Regenwässer mit Hilfe naturnaher Verfahren gereinigt. Für die Verwertung der Biomasse gibt es anschließend grundsätzlich zwei Möglichkeiten, welche in der Bachelorarbeit aufgegriffen werden sollen. Die Biomasse kann zum einen in der betriebseigenen Biogasanlage vergärt werden. Das dabei entstehende Methan wird in einem Blockheizkraftwerk verbrannt und die dabei entstehende elektrische Energie in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Eine zweite Möglichkeit zur Biomasseverwertung bietet die thermische Nutzung. Nach der Ernte der Pflanzen und entsprechender Trocknung und Zerkleinerung

können diese in Verfeuerungsanlagen verbrannt werden. Somit bietet sich die Möglichkeit die Kuhställe des Betriebes zu erwärmen.

2 Darstellung der möglichen Varianten zur Abwasserbehandlung und Reststoffverwertung

2.1 IST Zustand

Vor der Darstellung der möglichen Varianten zur Abwasserbehandlung und Reststoffverwertung wird zunächst der IST – Zustand in einer Übersicht (Abbildung 2.1) aufgezeigt. Diese Abbildung kann zum Vergleich mit den in den anschließenden Variantenbeschreibungen verwendeten Abbildungen genutzt werden, so dass die Stoffflüsse nachvollzogen werden können.

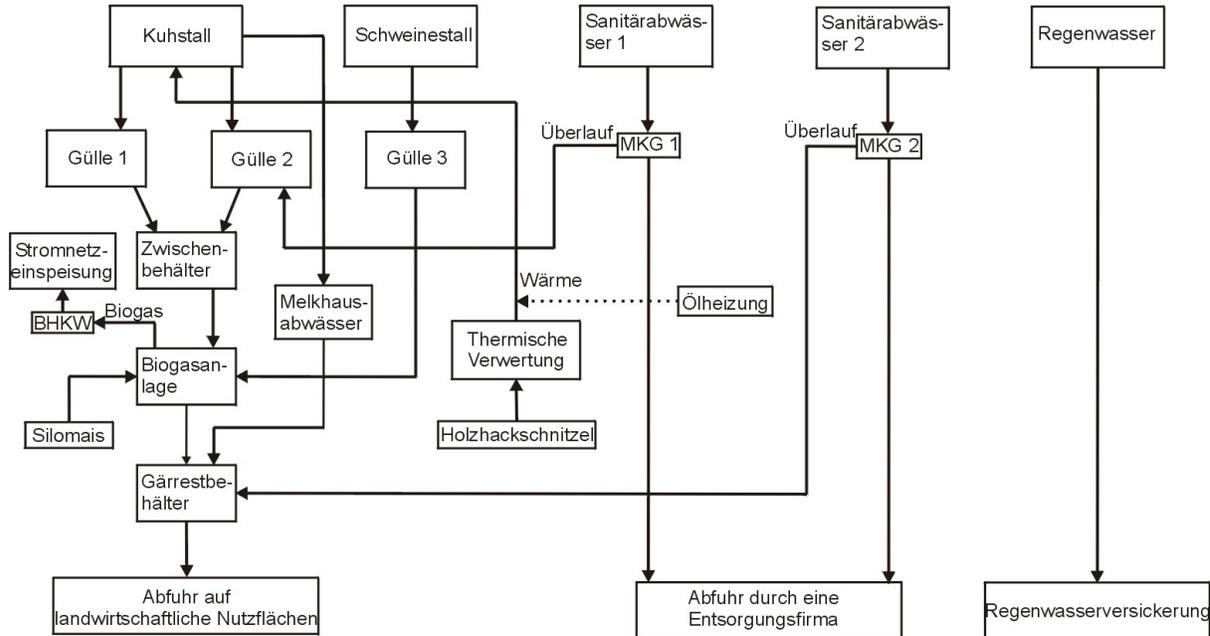


Abbildung 2.1: Fließschema der Abwasser- und Reststoffflüsse der LWG Schmerz.

Die LWG Schmerz besitzt neben der Milchproduktion auch einen Betriebszweig der Schweinemastzucht an einem anderen Standort des Betriebes. Die anfallende Gülle (440 Großvieheinheiten [GV] Rinder und 161 GV Schweine) wird der Biogasanlage zugeführt. Die Schweinegülle wird regelmäßig über mobile Gülletanks von dem externen Standort der Biogasanlage zugeführt, die Rindergülle in einem Güllebehälter auf dem Betriebsgelände zwischengelagert. Neben den anfallenden Wirtschaftsdüngern gelangen ebenfalls Maissilage und der Überlauf einer Mehrkammergrube für Sanitärabwässer (über einen Zwischenbehälter der Gülle) in die Vergärungsanlage. Das Methan (CH_4) des bei der Vergärung entstehenden Biogases wird in einem Verbrennungsmotor verbrannt, welcher einen Generator antreibt, so dass elektrische Energie in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann.

Zusammen mit dem Gärprodukt der Biogasanlage gelangen die Melkhausabwässer der Milchproduktion sowie der Überlauf einer weiteren Mehrkammergrube für Sanitärabwässer in einen Gärrestbehälter. In regelmäßigen Abständen wird der Inhalt dieses Behälters auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgetragen.

Der Inhalt der Mehrkammergruben wird von einer speziellen Entsorgungsfirma abgefahren und sachgemäß entsorgt.

Niederschläge, welche auf die befestigten Flächen des Betriebsgeländes fallen, werden in Regenwasserkanälen gesammelt und in einen Regenwasserteich zur Versickerung (und Verdunstung) geleitet. Der Regenwasserteich befindet sich auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche des Betriebsgeländes auf der gegenüberliegenden Seite des Betriebsgeländes.

Die Erwärmung der Kuhställe erfolgt durch eine Feuerungsanlage zur Verbrennung von Hackschnitzeln. Falls die dadurch bereitgestellte Energie nicht ausreichend ist bzw. nicht genügend Hackschnitzel vorrätig sind, kann im Notfall eine Ölheizung zusätzliche Wärmeenergie für die Kuhställe bereitstellen.

2.2 Variante 1: Biomassengewinnung aus dem anfallenden Regenwasser

Bei dieser Variante bleibt das vorherrschende Abwasserbeseitigungskonzept weitestgehend bestehen. Die anfallenden Niederschläge der befestigten Flächen und einem Großteil der auf dem Betriebsgelände zu findenden Dachflächen werden weiterhin in den Regenwasserkanälen gesammelt und dem Regenwasserteich auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche gegenüber der LWG Schmerz zugeführt. Dem Regenwasserteich wird zur Biomassenproduktion ein System bestehend aus bepflanzten Trägermatten (System Dernbach – Vorstellung im folgenden Kapitel 3) zur naturnahen Regenwasserbehandlung nachgeschaltet. Entsprechend dem System Dernbach fungiert der Regenwasserteich als Wasserspeicher. Das bedeutet, die Pflanzenträgermatten werden kontinuierlich mit Regenwasser aus dem Speicher beschickt. Das Regenwasser, welches nicht von den Pflanzen aufgenommen wurde, wird dem Wasserspeicher zurückgeführt. Das System Dernbach muss ständig mit Regenwasser beschickt werden, da die Biomasse auf den Pflanzenträgermatten nicht austrocknen darf. Aus diesem Grund muss der Teich nach unten abgedichtet werden, damit das Regenwasser nicht wie bisher versickert. Laut den Aussagen Dernbachs können sämtliche anfallende Regenwassermengen verdunstet werden. Nach den Vorstellungen des Bearbeiters, müsste diese Aussage besonders in den Wintermonaten genauestens geprüft werden, da aufgrund der niedrigen Lufttemperaturen geringere Verdunstungsraten zu erwarten sind. Möglicherweise müsste ein zusätzlicher Abfluss von den System Dernbach in einen Vorfluter oder auf die landwirtschaftliche Nutzfläche geschaffen werden, falls ein bestimmter Wasserstand in dem Regenwasserspeicher erreicht ist.

Die anfallenden Sanitärabwässer werden wie bisher in den beiden Mehrkammergruben gesammelt. Die Überläufe dieser Gruben gelangen in den Gärrestbehälter bzw. in einen der Güllebehälter, die Klärschlämme sind einmal jährlich von einer entsprechenden Dienstleistungsfirma abzufahren und ordnungsgemäß zu entsorgen. Auch die Behandlung der Melkhausabwässer bleibt gleich. Wie in der Einleitung beschrieben, gelangen sie in den Gärrest-

behälter, um zu gegebenen Zeitpunkten mit den Reststoffen der Biogasanlage zur Düngung auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgetragen zu werden. Um den Regenwasserzufluss und damit den Biomasseertrag zu erhöhen, bietet sich die Möglichkeit einen weiteren Regenwasserkanal auf dem Betriebsgelände zu verlegen. In Abbildung 2.2 ist ein Ausschnitt der Lageskizze des Betriebsgeländes aus Abbildung 1.1 zu sehen.

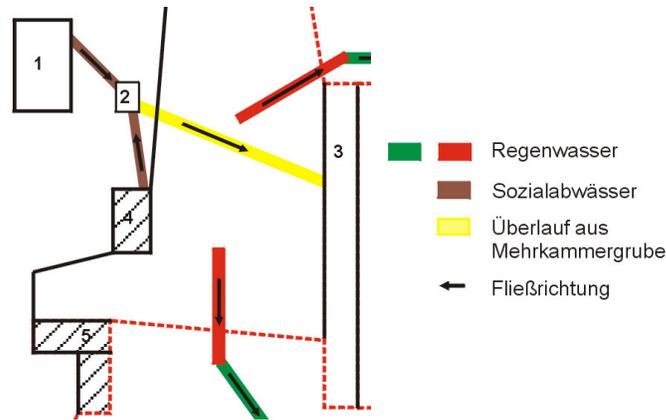


Abbildung 2.2: Teil des Betriebsgeländes nach Variante 1 mit den neu verlegten Regenwasserkanälen (1-Bürogebäude; 2-Mehrkammergrube; 3-Gärrestbehälter; 4 WC- und Duschräume; 5-Werkstatt).

Mit diesen zusätzlichen Kanälen könnten weitere Regenwassermengen aufgefangen werden. Mit ihnen besteht die Möglichkeit anfallende Niederschläge auf der noch nicht angeschlossenen versiegelten Fläche sowie das Regenwasser der Dachflächen der WC- und Duschräume sowie der Werkstatt zu sammeln. Falls die Abwässer aus dem unmittelbaren Bereich der Werkstatt aufgefangen werden, besteht die Gefahr, dass behandlungsbedürftiges Regenwasser in den Regenwasserkanal gelangt. In diesem Fall wäre der Regenwasserversickerungsteich nicht mehr zulässig. Der Teich müsste entsprechend abgedichtet werden, so dass ein Eindringen von verschmutztem Regenwasser in den Untergrund ausgeschlossen wird.

Die nachstehende Abbildung 2.3 zeigt im Wesentlichen das Fließschema der Abbildung 2.1. Im rechten Bereich der Abbildung ist eine Variation der Regenwasserbeseitigung zu sehen. Dem Regenwasserteich ist das System Dernbach nachgeschaltet. Der Abfluss dieses Systems wird wiederum dem Regenwasserteich zugeführt, so dass ein ständiger Wasserkreislauf hergestellt ist. Die Repositionspflanzen auf den Pflanzenträgermatten können zu gegebenen Zeitpunkt geerntet und zur energetischen Nutzung entweder verbrannt oder vergärt werden.

Falls der Wasserstand im Regenwasserteich eine bestimmte Marke überschritten hat, sollte dem Teich kein weiterer Abfluss des System Dernbach zugeführt werden. Stattdessen kann Regenwasser in einen Vorfluter eingeleitet werden.

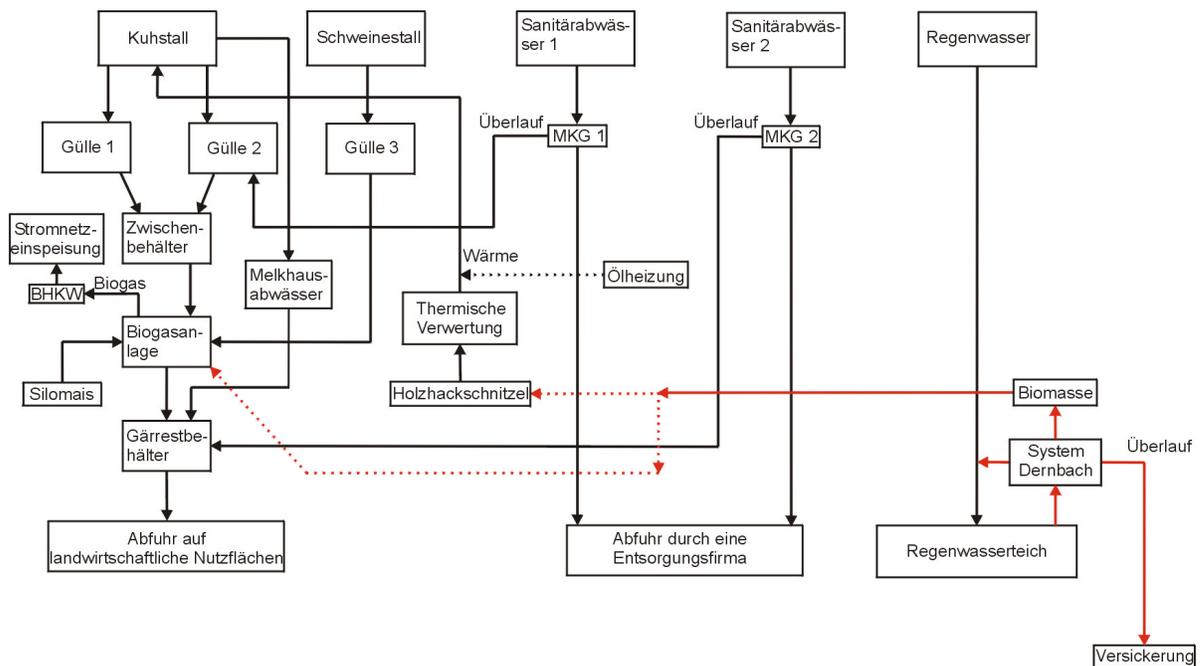


Abbildung 2.3: Fließschema der Abwasser- und Reststoffströme entsprechend Variante 1.

Die in der oberen Abbildung farbig dargestellten Abwasser- und Stoffströme zeigen die Veränderungen gegenüber dem IST Zustand. Es ist zu erkennen, dass keine gravierenden Änderungen vorgenommen werden müssten. Lediglich das System Dernbach wird dem vorhandenen Regenwasserteich nachgeschaltet

Rechtliche Randbedingungen

Das anfallende Regenwasser auf den versiegelten Flächen sowie den angeschlossenen Dachflächen ist ohne die Verlegung des zusätzlichen Regenwasserkanals für den Bereich der Werkstatt nicht behandlungsbedürftig. Entsprechend § 75 Absatz 1 des WG LSA [9] ist es jedem erlaubt Grund-, Quell- sowie Niederschlagswasser in ein oberirdisches oder unterirdisches Gewässer einzuleiten. Dies gilt nur, wenn das einzuleitende Wasser dauerhaft nicht geeignet ist schädliche Veränderungen herbeizuführen, die die Wassereigenschaften negativ beeinflussen würden. Bei nicht behandlungsbedürftigen Regenwasser ist davon auszugehen, dass die genannten Anforderungen erfüllt werden. In § 150 Absatz 4 des WG LSA wird sogar empfohlen Niederschlagswasser in geeigneten Fällen zu versickern. Neben dem nicht behandlungsbedürftigen Regenwasser ist zu untersuchen, ob auf den, zukünftig eventuell angeschlossenen, Flächen Regenwasser anfällt, welches behandlungsbedürftig ist. Trifft dies zu, müsste der Regenwasserauffangteich nach unten sowie nach den Seiten abgedichtet werden, da das behandlungsbedürftige Regenwasser nicht ohne weiteres versickert werden darf. Im nächsten Schritt muss untersucht werden, welche Belastungen dieses Regenwasser hat und mit welchen Belastungen, nach einer Behandlung im System Dernbach sowie durch die Funktion des Wasserspeichers als Absetzteich, zu rechnen ist, um abzuschätzen, ob es anschließend versickert oder in den Vorfluter geleitet werden kann.

Die folgenden Ausführungen zur Ausbringung von Sanitärabwässern auf landwirtschaftliche Nutzflächen sind einem Vortrag von WICHMANN [10] entnommen. Die Aufbringung der Sa-

nitärabwässer (vergärt oder unvergärt) aus dem Gärrestbehälter ist grundsätzlich erlaubt. Die in §7a des WHG [11] definierten Anforderungen an die Abwasserbehandlung beziehen sich auf Abwasser, welches in Gewässer eingeleitet wird oder eingeleitet werden soll. Eine Einleitung in das Grundwasser liegt bei Ausbringung des Gärrückstandes auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen nicht vor. Im §2 Absatz 2 des Abwasserabgabengesetzes (AbwAG[12]) heißt es: *„...das Verbringen in den Untergrund gilt als Einleiten in ein Gewässer, ausgenommen hiervon ist das Verbringen im Rahmen landbaulicher Bodenbehandlung“*.

Bei der Ausbringung des Gärrückstandes und den darin enthaltenen Sanitärabwässern sind vor allem düngerechtliche Vorschriften zu beachten, insbesondere die Düngeverordnung [13]. In §1 der Düngeverordnung wird als sachlicher Geltungsbereich die Anwendung von Düngemitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen definiert. An dieser Stelle wird keinerlei Einschränkung oder Ausnahme getroffen, so dass davon ausgegangen wird, dass sie Sanitärabwässer auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgebracht werden dürfen. Außerdem werden in der Düngeverordnung Parameter wie zeitliche Ausbringungsbeschränkungen, Bedarfsermittlungen, Höchstmengenbegrenzungen oder Ausbringungstechnik festgelegt. Bei der Einhaltung dieser Grundsätze, steht einer Ausbringung von Sanitärabwässern auf landwirtschaftliche Nutzflächen nichts entgegen.

Neben der Aufbringung ist die Vergärung von Sanitärabwasser in Biogasanlagen, welche nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) Biomasse zur Energiegewinnung nutzen, nicht gestattet. Die Biomasseverordnung [14] (BiomasseV) regelt vorrangig *„...für den Anwendungsbereich des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, welche Stoffe als Biomasse gelten,...“* (§ 1 Satz 1 der BiomasseV) und demnach für die Erzeugung von elektrischer Energie genutzt werden dürfen. Die Vergärungsanlage der LWG Schmerz ist nach BiomasseV eine Anlage zur Erzeugung von Strom aus Biomasse. In der BiomasseV werden die Stoffe festgelegt, welche nicht als Biomasse gelten. Laut § 3 Absatz 6 trifft dies auf Klärschlämme im Sinne der Klärschlammverordnung [15] (AbfKlärV) zu. § 2 Absatz 2 der Klärschlammverordnung regelt folgenden Sachverhalt: *„Klärschlamm..der bei der Behandlung von Abwasser in Abwasserbehandlungsanlagen einschließlich zugehöriger Anlagen zur weitergehenden Abwasserreinigung anfallende Schlamm,... In Kleinkläranlagen anfallender Schlamm gilt als Klärschlamm im Sinne dieser Verordnung.“*

Im Anhang 2 der Bioabfallverordnung sind weitere Festlegungen zur geltenden Biomasse zu finden. Demnach ist festzustellen, dass die Klärschlämme kommunalen Abwassers nicht als Bioabfälle im Sinne dieser Verordnung gelten und deswegen nicht in Vergärungsanlagen zur Erzeugung von Strom behandelt werden dürfen.

Darüber hinaus ist es, entsprechend der Biomasseverordnung gestattet die geernteten Repositionspflanzen des System Dernbach mit zu vergären. Laut § 2 der BiomasseV gelten u.a. Pflanzen und Pflanzenbestandteile, aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen hergestellte Energieträger sowie Bioabfälle im Sinne von § 2 Nr. 1 der Bioabfallverordnung als Biomasse. Dies bedeutet, dass die geerntete Biomasse des naturnahen Behandlungskonzeptes in der Vergärungsanlage behandelt werden darf.

2.3 Variante 2: Biomassegewinnung aus dem anfallenden Regenwasser, Vergärung der Sanitär- und Melkhausabwässer sowie der Klärschlämme der MKG

In dieser Variante ändert sich nichts grundlegendes bezüglich der Biomassenproduktion in dem naturnahen Behandlungssystem. Es soll stattdessen eine weitere Möglichkeit der Verteilung der anfallenden Abwasser- und Reststoffströme der LWG Schmerz aufgezeigt werden. Für diese Variante ist es vorgesehen, die abgesetzten Klärschlämme aus den Mehrkammergruben (MKG) der Sanitärabwässer nicht von einer Entsorgungsfirma abfahren zu lassen. Mit Hilfe mobiler Gülletanks könnten die Klärschlämme auch in der Biogasanlage mitvergärt werden. Durch diese zusätzlichen organischen Input-Materialien ist ein erhöhter Gasertrag zu erwarten. Dadurch kann durch den Verbrennungsmotor des BHKW mehr Methan verbrannt werden, so dass der angeschlossene Generator mehr elektrische Energie bereitstellen kann, welche wiederum in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Darüber hinaus entfallen die Entsorgungskosten für die Klärschlämme aus den Mehrkammergruben. Die Abbildung 2.4 zeigt das entsprechende Fließschema für die Variante zwei.

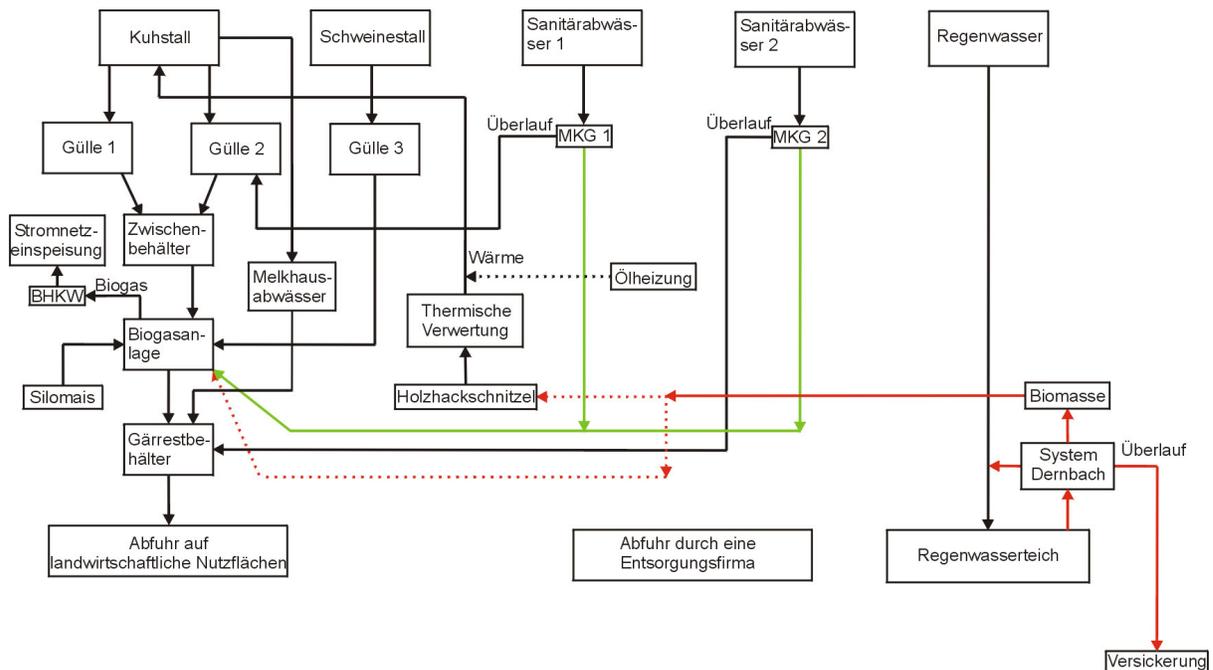


Abbildung 2.4: Fließschema der Abwasser- und Reststoffströme entsprechend Variante 2.

Rechtliche Randbedingungen

Hinsichtlich der rechtlichen Situation gelten ähnliche Bedingungen wie bei Variante 1. Die Klärschlämme sowie die Sanitär- und Melkhausabwässer dürfen entsprechend dem WHG, dem AbwAG sowie der Düngeverordnung grundsätzlich mitvergärt und anschließend auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgebracht werden. Allerdings ist entsprechend der Biomasseverordnung sowie der Klärschlammverordnung eine Vergärung zur Energiegewinnung (Vergleich Rechtliche Randbedingungen zu Variante 1) nicht gestattet.

2.4 Variante 3: Biomassegewinnung aus dem anfallenden Regenwasser sowie den Melkhaus- und Sozialabwässern

In der Variante drei werden die Melkhaus- und Sozialabwässer zusammen mit den Niederschlagsabwässern in einem Mischwasserkanal gesammelt. Im Vergleich zu reinem Regenwasser darf dieses Abwassergemisch nicht einfach versickert werden. Der Regenwasserteich muss in jedem Fall so abgedichtet sein, dass ein Eindringen des Inhalts dieses Teiches in den Untergrund oder die Seiten vermieden wird. Außerdem ist das System Dernbach ursprünglich eine Variante zur Biomassenproduktion aus reinem Regenwasser (Vergleich Kapitel 3). Es erfolgten bisher keine Untersuchungen zu der Abwasserabbaubarkeit dieses Verfahrens. Es ist davon auszugehen, dass der bei den biologischen Abbauprozessen entstehende Überschussschlamm in oder auf den Pflanzenträgermatten haften bleibt. Daher bietet sich eine vorhergehende biologische Behandlung in einem Abwasserteich an.

Die Anordnung eines Abwasserteiches vor dem System Dernbach ist auch im Hinblick auf Konzentrationen der anfallenden Abwässer zu berücksichtigen. Die Melkhausabwässer weisen eine erheblich größere C_{BSB} - und $C_{P_{ges}}$ - Belastung als häusliche Abwässer auf. Sie nehmen etwa 4 bzw. 8 mal höherer Konzentrationen an (siehe Abschnitt 1.2.1 Charakterisierung der Abwässer aus der Milchproduktion). Bei einer Mischung der gesamten Abwässer (Niederschlags-, Melkhaus- sowie Sozialabwässer) ist zu erkennen, dass die gesamte BSB_5 - Konzentration im Vergleich zu den Konzentrationen der Melkhaus- und Sozialabwässer geringer ausfällt. Ähnlich wie die C_{BSB} - Belastung vermindert sich durch die Vermischung der Melkhaus- und Sozialabwässern mit den anfallenden Niederschlägen auch die Phosphatkonzentration.

In den folgenden Ausführungen werden Berechnungen aufgezeigt, welche die Ermittlung der BSB_5 - Mischbelastung der anfallenden Abwässer verdeutlicht. Diese ergibt sich, wenn die durchschnittlich angenommene Regenwassermenge mit den Melkhaus- und Sozialabwässern gemischt werden. Es müssen zunächst die BSB_5 - Frachten der Abwasserteilströme durch Multiplikation der jeweiligen Konzentration C_{BSB} mit der täglich anfallenden jeweiligen Abwassermenge Q_{ges} ermittelt werden. Anschließend sind die unterschiedlichen Abwasserfrachten zu addieren und durch die Gesamtabwassermenge zu dividieren, um die Mischkonzentration zu ermitteln.

täglichen Abwassermengen:

Die täglich anfallende Abwassermengen Q_{ges} setzen sich aus dem Schmutzwasser $Q_{S,d}$ sowie dem täglich anfallenden Regenwasser $Q_{R,d}$ zusammen. Das Schmutzwasser wiederum besteht aus dem täglichen betrieblichen Schmutzwasser $Q_{G,d}$ (im vorliegenden Fall aus den Melkhausabwässern) sowie aus den täglich anfallenden Sozialabwässern $Q_{H,d}$.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ges}} &= Q_{\text{S,d}} + Q_{\text{R,d}} \\
 Q_{\text{S,d}} &= Q_{\text{G,d}} + Q_{\text{H,d}} \\
 Q_{\text{S,d}} &= 2,2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 1,1 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 3,3 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \\
 Q_{\text{ges}} &= 3,3 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 15 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \sim 18 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}
 \end{aligned}
 \tag{Gleichung 2.1}$$

Die Ermittlung der Abwassermengen wurde bereits im Abschnitt 1.2 vorgestellt.

Abwasserfrachten:

Die Abwasserfrachten ergeben sich aus der Multiplikation der jeweiligen Abwasserbelastung (auch als Abwasserkonzentration bezeichnet) mit der jeweiligen Abwassermenge. Die BSB₅-Konzentration der Melkhausabwässer beträgt wie in Tabelle 1.3, Seite 10, nachvollzogen werden kann: $C_{\text{BSBM}} = 1.400 \text{ mg/l}$. Für die Sozialabwässern wird ein Wert von $C_{\text{BSBS}} = 500 \text{ mg/l}$ angenommen. Eine Herabsetzung der BSB₅-Konzentration der Sozialabwässer in den Mehrkammergruben um circa 25% kann als realistisch betrachtet werden. Die BSB₅-Konzentration von Regenwasser (C_{BSBR}) wird mit 1 mg/l [16] angesetzt. Diese Annahmen gilt nur für den Fall, wenn das anfallende Regenwasser nicht mit Schadstoffen belastet ist. Die Gesamtabwasserfracht F_{gesBSB} ergibt sich wie folgt.

$$\begin{aligned}
 F_{\text{gesBSB}} &= C_{\text{BSBM}} \cdot Q_{\text{G,d}} + C_{\text{BSBS}} \cdot Q_{\text{H,d}} + C_{\text{BSBR}} \cdot Q_{\text{R,d}} \\
 F_{\text{gesBSB}} &= 1.400 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 2,2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 500 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 0,75 \cdot 1,1 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 15 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \\
 F_{\text{gesBSB}} &\sim 3.500 \frac{\text{g}}{\text{d}}
 \end{aligned}
 \tag{Gleichung 2.2}$$

Demnach beträgt die durchschnittliche tägliche BSB₅-Fracht etwa 3.500g. Für einen Einwohner (EW) wird eine tägliche BSB₅ Fracht von 60g angenommen (entsprechend den einwohnerspezifischen Frachten nach ATV A 262 [17]). Dies bedeutet, dass die BSB₅ Frachten der Abwässer der LWG - Schmerz Anschlusswerten von etwa 60 Einwohnern entsprechen. Für die Mischbelastung BSB_w des täglich anfallenden Trockenwetterabfluss und der durchschnittlichen Regenwassermenge, wird die in Gleichung 2.2 ermittelte BSB₅ – Fracht F_{ges} durch die gesamte Abwassermenge Q_{ges} geteilt:

$$\text{BSB}_w = \frac{F_{\text{ges}}}{Q_{\text{ges}}} = \frac{3.500 \frac{\text{g}}{\text{d}}}{18 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \sim 200 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \sim 200 \frac{\text{mg}}{\text{l}}
 \tag{Gleichung 2.3}$$

Die nachstehende Tabelle zeigt einen Vergleich typischer Werte häuslichen Abwassers [17] mit den Konzentrationen der Melkhausabwässer im Rohzustand sowie der Belastung im Mischzustand. In der darauffolgenden Abbildung ist die Zunahme der Belastungen bei ausbleibenden Regenereignissen dargestellt.

Parameter	Melkhausabwässer (roh)	Mischzustand	häusliches Abwasser
C_{BSB} in [mg/l]	1.400	200	150-500
$C_{P_{ges}}$ in [mg/l]	~100	13	5-15

Tabelle 2.1: Vergleich der Belastung der Melkhausabwässer mit den Konzentrationen, die sich nach Vermischung einstellen und den Werten häuslichen Abwassers (nach [19]).

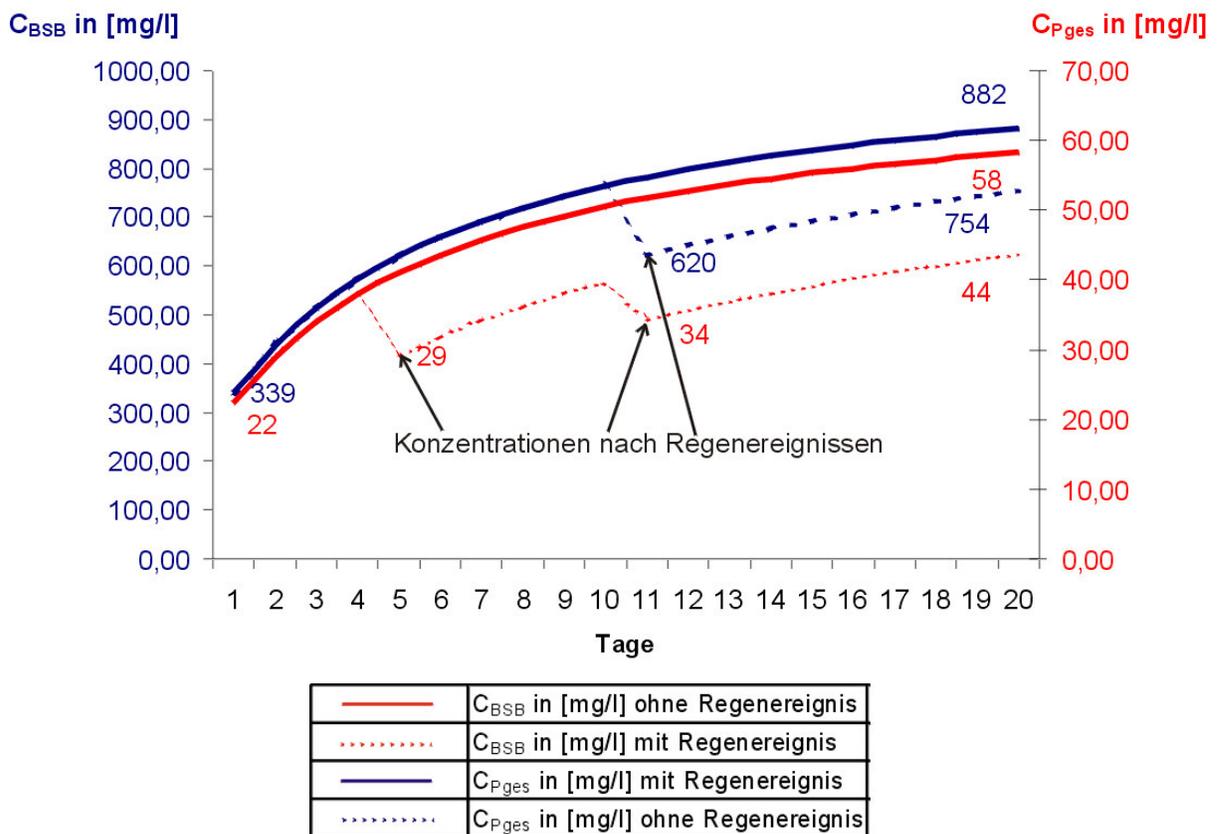


Abbildung 2.5: Zunahme der BSB_5 und Phosphatkonzentration bei ausbleibenden Regenereignissen.

Für die Ermittlung der BSB_5 und Phosphorkonzentrationen wurde die durchschnittlich anfallende Regenwassermenge angenommen. Daher können die Belastungen im Mischzustand, wie sie in Tabelle 2.2 zu sehen sind, nur als Richtwerte gelten. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass täglich die gleiche Menge an Regenwasser anfällt und sich die berechneten Konzentrationsrückgänge einstellen. Stattdessen wird es Trocken- und Feuchtperioden geben, welche für ständig schwankenden Konzentrationsunterschiede sorgen. Schon nach einem Tag mit ausbleibendem Regenereignis und der zuvor angenommenen Verdünnung von $2,2\text{m}^3$ Melkhausabwasser und $1,1\text{m}^3$ Sozialabwasser mit 15m^3 Regenwasser (ent-

zutreffen, kann somit die Biogasausbeute erhöht- oder mehr Wärmeenergie bereitgestellt werden.

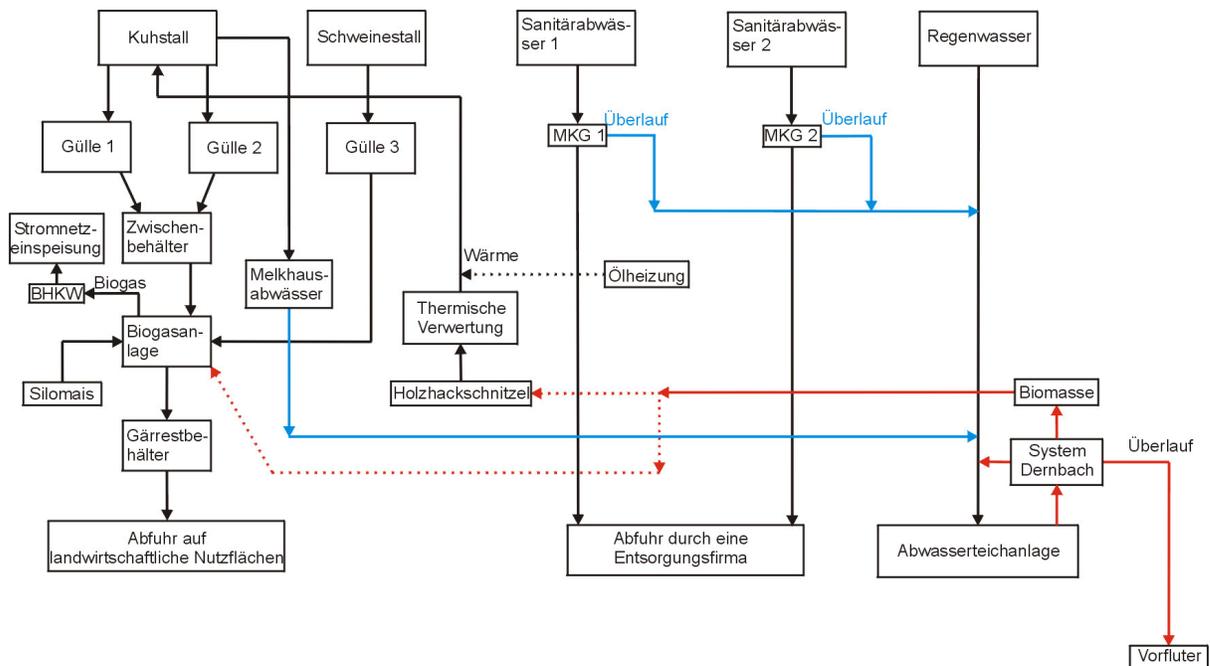


Abbildung 2.7: Fließschema der Abwasser- und Reststoffströme entsprechend Variante 3.

Im Folgenden wird eine Abwasserteichanlage entsprechend den Vorgaben der ATV–DVWK–A 201 bemessen. Grundsätzlich muss eine unbelüftete Abwasserteichanlage (wie sie im konkreten Fall vorgesehen wird) aus einem Absetzteich sowie aus mindestens zwei gleich großen unbelüfteten Abwasserteichen bestehen. Der vorgeschaltete Absetzteich dient der Abscheidung der im Rohabwasser enthaltenen absetzbaren Stoffe. Die Sanitärabwässer werden im Wesentlichen durch die Mehrkammergruben von Schmutzstoffen und Fäkaltschlämmen befreit. Es wird davon ausgegangen, dass der Anteil an absetzbaren Stoffen in den Melkhausabwässern geringer ist, so dass die darin enthaltenen Feststoffe auch in den unbelüfteten Abwasserteichen abgesetzt werden können. Die erforderliche Fläche der Abwasserteiche wird allgemein durch die angeschlossenen Einwohnergleichwerte ermittelt. Entsprechend den Angaben in Abschnitt 1.2.1 und 1.2.2 ergeben sich für die anfallenden Melkhausabwässer 47 EGW und für die anfallenden Sozialabwässer, bei 22 Beschäftigten im landwirtschaftlichen Bereich 7 EGW (Überläufe beider Mehrkammergruben). Insgesamt ist die unbelüftete Abwasserteichanlage für 54 EGW zu bemessen. Falls neben den Schmutzwässern auch Regenwasser in dem Teichanlage behandelt werden soll, sind die Abwasserteiche mit 15 m² je angeschlossenen EGW zu dimensionieren.

Die erforderlicher Fläche A_{erf} der Klärteiche beträgt demnach:

$$A_{\text{erf}} = 15 \frac{\text{m}^2}{\text{EGW}} \cdot 54 \text{EGW}$$

$$A_{\text{erf}} \sim 800 \text{m}^2$$

Gleichung 2.4

Laut dem genannten Regelwerk ist die erforderliche Teichfläche auf mindestens zwei Teiche aufzuteilen. Jeder Teich hat damit ein oberflächiges Ausmaß von etwa 400m². Das Verhältnis von Länge zu Breite an der Oberfläche soll 3:1 betragen. Demnach sind die Teiche jeweils etwa 34m lang und 12m breit.

Dieser Abwasserteichanlage wird das System Dernbach nachgeschaltet. Es ist davon auszugehen, dass die Konzentrationen der gereinigten Abwässer den Anforderungen für die Vorflutereinleitung genügen. Demnach kann das Pflanzenträgermattensystem mit gering gehaltenen Konzentration beschickt werden und somit der Nachbehandlung des Abwassers dienen. Der Durchfluss dieser Anlage wird wiederum der Abwasserteichanlage zugeleitet. Wie schon erwähnt kann, wenn ein bestimmter Pegel in den Abwasserteichen erreicht ist, der Durchfluss des System Dernbach in den Vorfluter eingeleitet werden.

Rechtliche Randbedingungen

Die anfallenden Melkhaus- und Sozialabwässer werden nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik in einer unbelüfteten Abwasserteichanlage zusammen mit Regenwasser (unter entsprechender Aufschlagung) behandelt. Außerdem erfolgt eine Nachbehandlung im System Dernbach, wo dem Abwasser weitere Nährstoffe entzogen werden können.

Ein Teil der Sanitärabwässer wird nicht, wie bisher, zur Vergärung mit in die Biogasanlage geleitet, so dass kein Verstoß gegen die Biomasseverordnung eintritt.

Die anfallenden Klärschlämme werden von einer Dienstleistungsfirma fachgerecht entsorgt. Somit gibt es hinsichtlich der rechtlichen Randbedingungen keinerlei Einschränkungen.

2.5 Variante 4: Biomassegewinnung aus dem anfallenden Regenwasser, separate Abwasserbehandlung der Melkhaus- und Sozialabwässer

Für Variante vier wird dem vorhandenen Regenwasserteich, wie bei Variante eins und zwei, das System Dernbach nachgeschaltet. Anders als bei Variante drei gelangt für die vorliegende Möglichkeit kein Mischwasser in den Auffangteich. Die Melkhausabwässer sowie die Überläufe der Mehrkammergruben für die Sozialabwässer werden getrennt gesammelt und einem separaten Pflanzenbeet behandelt. Der Ablauf des bewachsenen Bodenfilters kann zum einen direkt in den Vorfluter geleitet werden, zum anderen besteht die Möglichkeit dieses gereinigte Abwasser in den Regenwasserteich zu leiten. Von dort aus gelangt es wiederum auf die Pflanzenträgermatten des System Dernbach.

Auch die Biomasse von bewachsenen Bodenfiltern kann zur weiteren energetischen Verwertung genutzt werden. Laut WISSING [3] soll die Biomasse zwar in den Wintermonaten zur Wärmeisolierung auf den Beeten verbleiben. Allerdings wird vorgeschlagen, in Zersetzung übergehendes Pflanzenmaterial im Frühjahr von den bewachsenen Bodenfiltern zu räumen, um die jungen Pflanzen in ihrem Wachstum nicht einzuschränken. Die so gewonnen Biomasse kann wiederum entweder vergärt oder thermisch verwertet werden. Die folgende Abbildung veranschaulicht die Abwasser- und Reststoffflüsse für Variante vier.

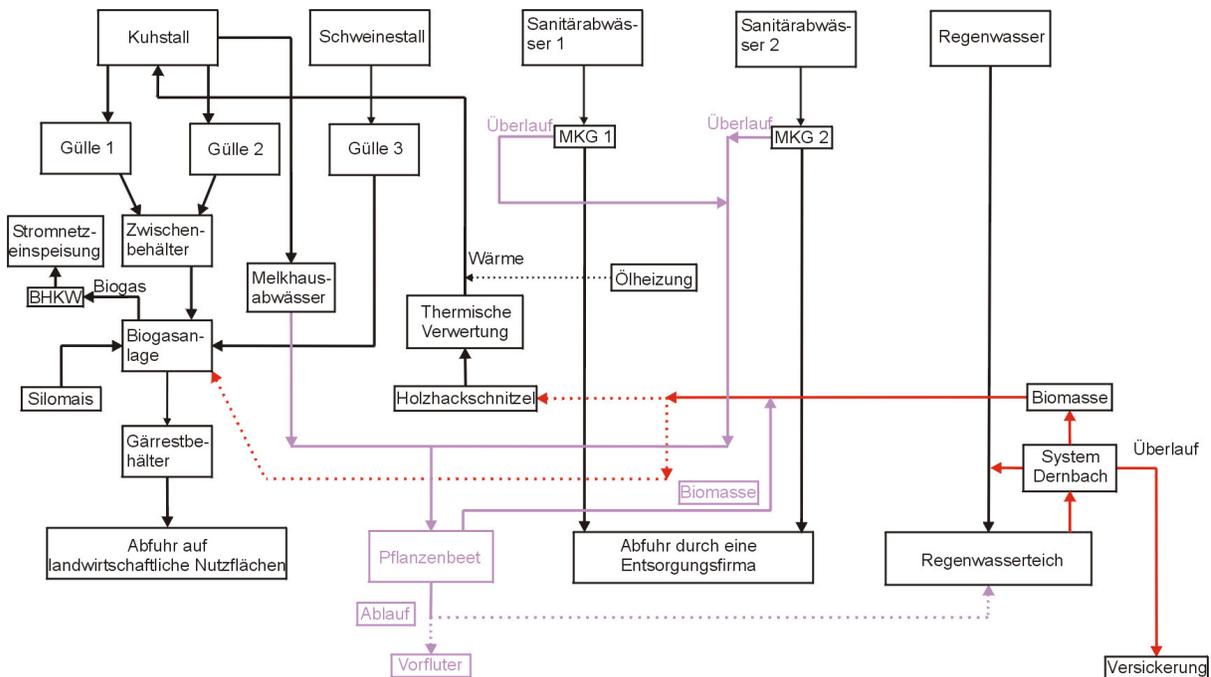


Abbildung 2.8: Fließschema der Abwasser- und Reststoffströme entsprechend Variante 4.

Rechtliche Randbedingungen

Für Variante vier wird davon ausgegangen, dass die Vorklärung in den Mehrkammergruben der Sozialabwässer ausreichend für die Beschickung eines Pflanzenbeetes ist. Ebenso können die Melkhausabwässer aufgrund der geringen Anteile an absetzbaren Stoffen auf das Pflanzenbeet geleitet werden. Die Bemessung des Pflanzenbeetes erfolgt nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechend der ATV-A-262 [17]. Hier wird die Beetgröße entsprechend der CSB - Konzentration des Abwassers bemessen. Außerdem gibt es Bestimmungen hinsichtlich der maximalen täglichen Mengenbeschickung an Abwasser. Werden diese Forderungen eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass der Ablauf die geforderten Parameter bezüglich der Einleitung in Gewässer einhält. Somit kann über den Regenwasserteich eine Nachbehandlung des Abflusses aus dem bewachsenen Bodenfilter durch das System Dernbach mit einer zusätzlichen Biomassenproduktion erfolgen. Der Ablauf des Pflanzenbeetes kann auch direkt in einen Vorfluter eingeleitet werden.

2.6 Variante 5: Aufbringung der Sozialabwässer sowie der Melkhausabwässer auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen

Wie bereits erwähnt, ist es technisch zwar realisierbar, vom Gesetzgeber allerdings nicht erlaubt die Sozialabwässer in der Biogasanlage zur Energiegewinnung zu vergären. Daher liegt es nahe den einen Überlauf der Mehrkammergrube der Sanitärabwässer 1 zusammen mit den Melkhausabwässern sowie den anderen Sozialabwässern in den Gärrestbehälter zu leiten (siehe Abbildung 2.9).

Die restlichen Abwasserteilströme gleichen der Variante eins.

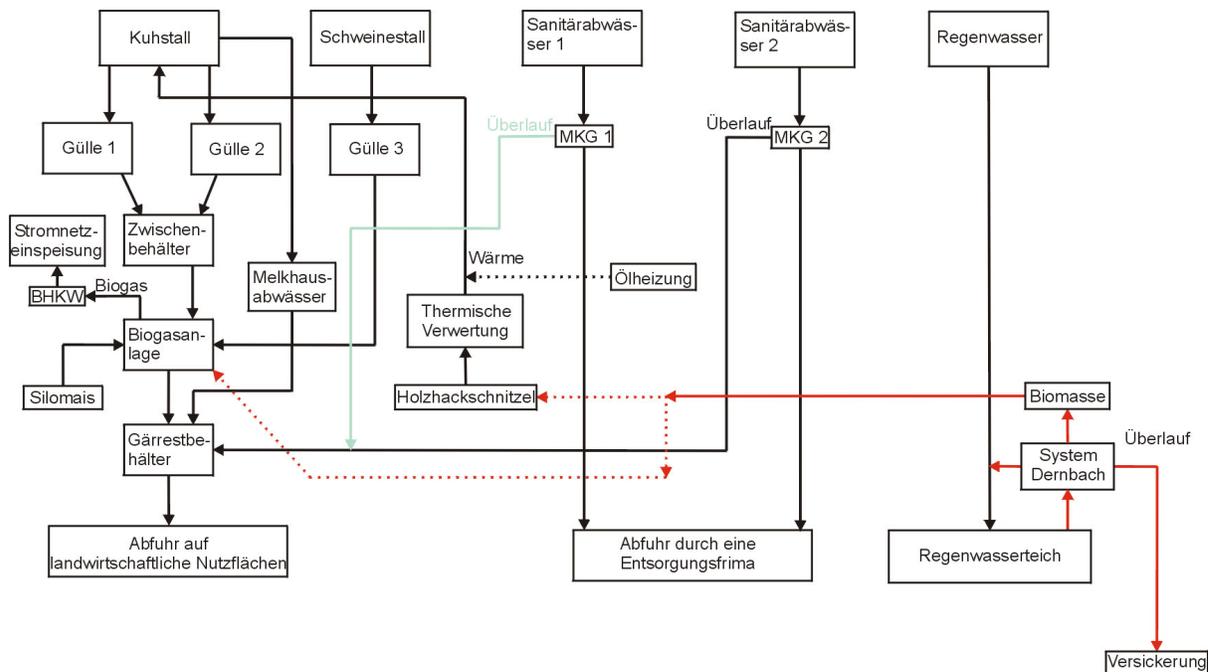


Abbildung 2.9: Fließschema der Abwasser- und Reststoffströme entsprechend Variante 5.

Rechtliche Randbedingungen

Wenn die Sanitärabwässer 1 ebenfalls direkt in den Gärrestbehälter geleitet, liegt kein Verstoß gegen die Biomasseverordnung vor. Darüber hinaus verstößt eine Ausbringung des Gärrestes zusammen mit den vorgeklärten Sozial- und Melkhausabwässern nicht gegen die Düngeverordnung.

2.7 Variante 6: Vergärung der Melkhaus- und Sozialabwässer sowie der Regenwässer

Im Vergleich zu Variante zwei wird die Biogasanlage neben den Sanitärabwässern 1 und 2 sowie den Melkhausabwässern auch mit dem anfallenden Regenwasser beschickt. Die Abbildung 2.10 zeigt ein Fließschema dieser Variante sechs.

Für eine Einleitung der Niederschläge in die Biogasanlage müssten die vorhandenen Regenwasserkanäle neu verlegt und –dimensioniert werden. Hierfür ist es erforderlich Freispiegelleitungen hinsichtlich Gefälle und Rohrquerschnitt neu zu bemessen. Dies ist mit einer veränderten Fließrichtung der Regenwässer aufgrund der unterschiedlichen örtlichen Lage der Biogasanlage im Vergleich zu dem Regenwasserversickerungsteich zu begründen.

In dem unteren Fließschema ist erkennbar, dass das Regenwasser nicht zur Biomassenproduktion genutzt wird. Der Versickerungsteich auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche neben dem Betriebsgelände der LWG Schmerz kann somit trockengelegt und als landwirtschaftliche Nutzfläche genutzt werden.

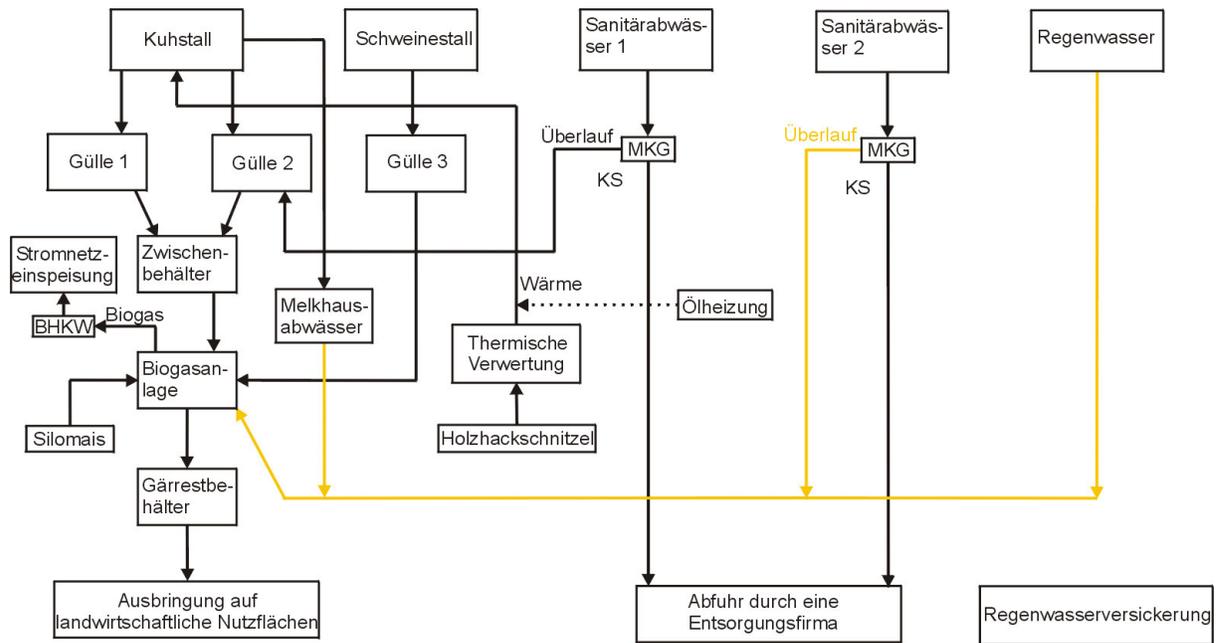


Abbildung 2.10: Fließschema der Abwasser- und Reststoffströme entsprechend Variante 6.

Durch den zusätzliche Eintrag der Sanitärabwässer 2 vergrößert sich der organische Input der Biogasanlage. Es ist zu vermuten, dass mehr Biogas anfällt, welches (nach entsprechender Reinigung verbrannt und verstromt werden kann).

Die Regenwässer sollten allerdings aus folgendem Grund nicht in die Biogasanlage gelangen. Die organische Belastung dieser Abwässer ist im Vergleich zu den restlichen Inputmaterialien relativ gering. Das bedeutet die für die Vergärungsprozesse notwendigen Mikroorganismen haben ein vergleichsweise geringeres Nährstoffangebot, da die Konzentration der Fermenterhalte herabgesetzt wird. Folglich wird weniger Biomasse umgesetzt und es kommt zu einer geringeren Biogasproduktion.

Rechtliche Randbedingungen

Bezüglich der Vergärung der Sanitär- und Melkhausabwässer gelten die gleichen Bedingungen, wie sie für Variante eins und zwei bereits aufgeführt wurden. Die genannten Abwasserströme dürfen aufgrund der Biomasseverordnung nicht mitvergärt werden. Entsprechend dem Gesetzesblatt dürfen Anlagen zur Energiegewinnung aus Biomasse ausschließlich mit Biomasse, wie sie in der Biomasseverordnung definiert ist, beschickt werden. Da Abwässer wie die im vorliegenden Fall anfallenden Sanitär- und Melkhausabwässer nicht als Biomasse aufgeführt werden, ist auch deren Vergärung nicht gestattet.

2.8 Variante 7: Abwasserbehandlung der Sozial- und Melkhausabwässer zusammen mit dem Regenwasser, Aufbringung der anfallenden Klärschlämme auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen

Variante sieben gleicht, bezüglich der Abwasserbehandlung, im Wesentlichen der Variante drei. Das bedeutet die Melkhaus- und Sozialabwässer werden zusammen mit den Niederschlägen der versiegelten Fläche des Betriebsgeländes der LWG Schmerz in eine Abwasserteichanlage geleitet.

Die Entsorgung der Klärschlämme (KS) der Mehrkammergruben (MKG), welche zur Abscheidung der Feststoffe der Sanitärabwässer dienen, erfolgt jedoch auf eine andere Weise. Es besteht zum einen die Möglichkeit die Klärschlämme entweder direkt auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen der LWG Schmerz aufzutragen. Zum anderen können die Klärschlämme in dem Behälter des Gärsubstrates zwischengelagert werden und zu gegebenen Zeitpunkten zusammen mit dem Gärreststoff auf die landwirtschaftlichen Flächen aufgetragen werden. Somit kann ein zusätzlicher Dünger zu Ertragssteigerungen beitragen. Die Abbildung 2.11 veranschaulicht die Abwasser- und Reststoffströme der LWG Schmerz, wie sie für Variante sieben zutreffen.

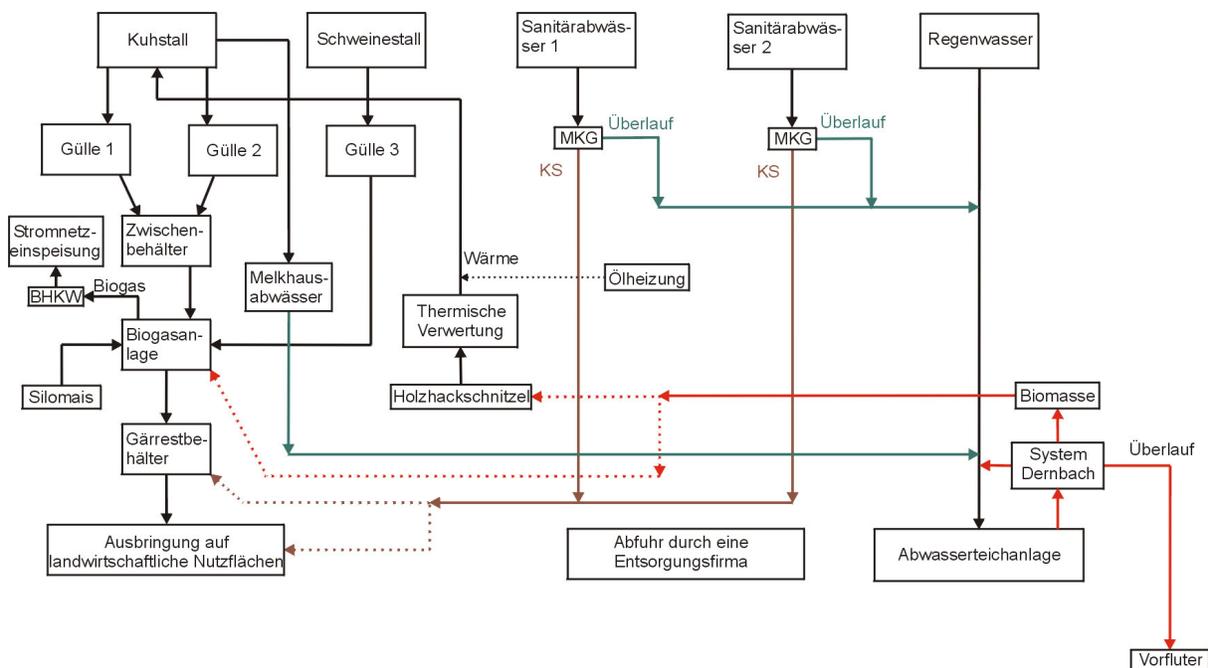


Abbildung 2.11: Fließschema der Abwasser- und Reststoffströme entsprechend Variante 7.

Rechtliche Randbedingungen

Wird eine Abfuhr von Klärschlämmen auf landwirtschaftliche Nutzflächen in Erwägung gezogen, sind die Bestimmungen der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) maßgebend. Diese regelt den Anwendungsbereich in §1 wie folgt: "Diese Verordnung hat zu beachten, wer 1. Abwasserbehandlungsanlagen betreibt und Klärschlamm auf landwirtschaftlich...genutzte Böden...abgeben [und] 2. Klärschlamm auf landwirtschaftlich...genutzte Böden aufbringen will."

In Sinne der AbfKlärV gilt der von häuslichen Schmutzwasser abgetrennter Schlamm, welche in Kleinkläranlagen (Zufluss weniger als 8m³ pro Tag) gesammelt wurde, als Klärschlamm. In der Klärschlammverordnung werden Ausbringverbote, Beschränkungen, Schadstoff-Grenzwerte sowie Nachweispflichten u.a. Festlegungen getroffen.

2.9 Zusammenfassung

Wie bereits in Kapitel 1.3 beschrieben, bietet sich für die LWG Schmerz die Möglichkeit die anfallenden Abwässer zur Energiegewinnung zu nutzen. Zunächst ist zu überlegen, ob die anfallenden Abwässer vergärt oder in Abwasserteichen oder Pflanzenbeeten behandelt werden sollen. Aufgrund der Abwasserströme können mehrere Varianten aufgestellt werden, die hinsichtlich rechtlicher Rahmenbedingungen sowie Wirtschaftlichkeit zu untersuchen sind. Für die gezielte Biomassenproduktion aus der Abwasserbehandlung bieten sich mehrere Möglichkeiten:

1. Das vorhandene Abwasserbeseitigungskonzept bleibt weitestgehend bestehen, dem vorhanden Regenwasserteich wird eine naturnahes Verfahren (System Dernbach) zur Biomassenproduktion nachgeschaltet. Der Abfluss dieser Anlage gelangt entweder erneut in den Regenwasserteich oder in den Vorfluter (Varianten 1; 2; 4 und 5).
2. Neben dem Regenwasser fließen die anfallenden Melkhaus- sowie vorgeklärte Sozialabwässer in eine Abwasserteichanlage. Der Abfluss dieser Teichanlage wird über die Pflanzenträgermatten des System Dernbach geleitet, welches der Biomassenproduktion dient. Der Überlauf des System Dernbach gelangt in die Abwasserteichanlage bzw. in den Vorfluter (Varianten 3 und 7).
3. Die Melkhaus- und Sozialabwässer werden, getrennt von dem Regenwasser, in einem Pflanzenbeet behandelt. Die Biomasse des Pflanzenbeetes kann im Frühjahr von dem Beet entfernt werden. Das Regenwasser gelangt, wie bei Variante 1 in den Regenwasserteich und wird über das System Dernbach geleitet. Der Ablauf des Pflanzenbeetes gelangt entweder direkt in den Vorfluter oder in den Regenwasserteich (Variante 4).

Für die Biomasseverwertung, wie sie für die Varianten 1 bis 5 sowie für Variante 7 angewendet werden kann, bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

1. Die Repositionspflanzen des System Dernbach sowie (für Variante 4) des Pflanzenbeetes werden thermisch in der vorhandenen Holzhackschnitzelheizung verwertet. Die dabei entstehende Wärme wird zur Heizung der Kuhställe verwendet.
2. Die geerntete Biomasse kann in der betriebseigenen Biogasanlage zusammen mit den Wirtschaftsdüngern (Rinder- und Schweinegülle) sowie dem Kosubstrat Maissilage behandelt werden. Das Methan (CH₄) des bei der Vergärung entstehenden Biogases wird in einem Gasmotor verbrannt, welcher einen Generator antreibt, so dass elektrischer Strom in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann.

Für die Behandlung bzw. Verwertung der Sozial- und Melkhausabwässer können fünf Varianten festgestellt werden:

1. Der IST Zustand bleibt erhalten, das bedeutet, ein Teil der Überläufe aus den Mehrkammergruben der Sozialabwässer (Sozialabwässer 1) gelangt zusammen mit den Melkhausabwässern in den Gärrestbehälter. Der zweite Abwasserstrom (Sozialabwässer 2) wird in einen Güllezwischenbehälter geleitet, von wo aus diese Abwässer in die Biogasanlage fließen (IST Zustand und Varianten 1 und 2).
2. Die Sozialabwässer 1 sowie die Melkhausabwässer gelangen nicht in den Gärrestbehälter sondern zusammen mit den Sozialabwässern 2 in die Biogasanlage (Variante 6).
3. Für die gezielte Biomassenproduktion können die Melkhausabwässern zusammen mit beiden Sozialabwasserströmen in die Abwasserteichanlage geleitet werden, welcher das System Dernbach nachgeschaltet ist (Varianten 3 und 7).
4. Eine zweite Behandlungsmöglichkeit besteht darin, die Melkhaus- und Sozialabwässer in einem bewachsen Bodenfilter zu klären (Variante 4).
5. Außer den aufgeführten Varianten können die Melkhaus- und Sozialabwässer auf die landwirtschaftliche Nutzfläche, nach vorheriger Einleitung in den Gärrestbehälter, aufgebracht werden (Variante 5).

Die anfallenden Niederschläge auf dem Betriebsgelände der LWG Schmerz können entweder versickert, zur Biomassenproduktion behandelt oder in der Biogasanlage mitvergärt werden.

1. Das anfallenden Regenwasser wird in den, bereits verlegten Regenwasserkanälen gesammelt und in den Versickerungsteich geleitet. Diesem Teich wird das System Dernbach zur Biomassenproduktion nachgeschaltet (Varianten 1, 2, 4 und 5)
2. Das Regenwasser kann zusätzlich mit den anfallenden Melkhaus- und Sozialabwässern in einer Abwasserteichanlage geklärt und anschließend über das System Dernbach geleitet werden (Varianten 3 und 7)
3. Außer den vorangegangenen Punkten, besteht die Möglichkeit die Niederschläge zusammen mit den Melkhaus- und Sozialabwässern in der Biogasanlage zu vergären (Variante 6).

Für die Verwertung des Klärschlammes der Mehrkammergruben (MKG) der Sozialabwässer bieten sich ebenfalls drei Möglichkeiten:

1. Der Klärschlamm aus den MKG wird abgepumpt durch mobile Gülletanks entweder im Rohzustand oder im Gemisch mit dem Gärsubstrat der Biogasanlage auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen der LWG Schmerz aufgebracht (Variante 7).
2. Des weiteren kann der Klärschlamm zusammen mit den Wirtschaftsdüngern, der Maissilage und gegebenenfalls mit dem Melkhaus- und Sozialabwässern in der betriebseigenen Biogasanlage mitvergärt werden (Variante 2).
3. Die dritte Möglichkeit besteht darin, den IST - Zustand beizubehalten und die Klärschlämme wie bisher von einer Entsorgungsfirma einmal pro Jahr abfahren- und sachgemäß entsorgen zu lassen (IST Zustand, Varianten 1 und 3 bis 6).

Für die zu beachtenden gesetzlichen Rahmenbedingungen lassen sich folgende Sachverhalte zusammenfassen:

1. Eine Mitvergärung der Melkhaus- und Sozialabwässer sowie der Klärschlämme aus den Mehrkammergruben in der Biogasanlage ist aufgrund der Bestimmungen der Biomasseverordnung sowie der Klärschlammverordnung nicht gestattet. Es ist daher darauf zu achten eine Variante zu wählen, in der diese Forderungen eingehalten werden.
2. Das anfallende Regenwasser darf ebenfalls nicht mitvergärt werden. Darüber hinaus erscheint es unwirtschaftlich die Biogasanlage mit Regenwasser zu beschicken, weil dadurch eine Verdünnung der organischen Fracht erreicht wird, was sich negativ auf die Biogasproduktion auswirkt.

Werden diese Forderungen eingehalten, bleiben die Varianten 3, 4, 5 und 7 als Alternative zur Abwasser- und Reststoffverwertung, welche näher in Betracht gezogen werden müssen. Wie in der Einleitung bereits erwähnt, besteht das vorrangige Ziel des Betriebesdarin, durch die Behandlung der betriebseigenen Abwässer möglichst viel Biomasse zu gewinnen, welche anschließend energetisch verwertet werden soll. Es gilt herauszufinden, bei welcher Variante der Biomassezuwachs am größten ist. Anschließend ist abzuschätzen wie stark sich die Biomassenproduktionen und die entsprechenden Energiegewinne der einzelnen Varianten von einander unterscheiden. Dabei ist es am sinnvollsten, den bei den einzelnen Varianten erreichbaren Energiegewinn (durch Verwertung der Biomasse) den dafür notwendigen Investitions- oder Betriebskosten gegenüberzustellen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist abzuschätzen, nach welchem Zeitraum aus der gewonnenen Biomasse (der jeweiligen Variante) soviel Energie gewonnen wurde, dass die Investitions- bzw. Betriebskosten mindestens ausgeglichen werden können. Anschließend kann eine Vorzugsvariante ermittelt werden.

3 Beschreibung der naturnahen Abwasserbehandlung

Das naturnahe Verfahren, in dem die Sanitär- und Melkhausabwässer sowie das Regenwasser der LWG Schmerz behandelt werden soll, ist in der Literatur bisher als multifunktionale Dachvegetation bekannt. Diese Art Gründächer werden hauptsächlich in dicht besiedelten Gebieten eingesetzt, wo ein hoher Versiegelungsgrad eine Versickerung der anfallenden Niederschläge zunehmend erschwert. Für die Wasseraufnahme mit anschließender Verdunstung der Niederschläge eignen sich am günstigsten Repositionspflanzen. Repositionspflanzen besitzen weitverzweigte Wurzeln, welche bis zu einem Meter lang werden können. Diese Wurzeln dienen als Besiedlungsoberfläche für Mikroorganismen, welche dem umströmenden Wasser organische, mineralische als auch toxische Stoffe entziehen [19]. Die Dachfläche ist vor der Aufbringung der Pflanzen zu isolieren und abzudichten. Anschließend werden die vorkultivierten Repositionspflanzen auf Pflanzenträgermatten, welche aus Kunststoff bestehen, aufgebracht. Da die Pflanzen Trockenperioden relativ schlecht überstehen, ist sicherzustellen, dass sie ständig oder in regelmäßigen Abständen von Wasser umgeben sind. Dies ist zum einen durch eingestautes Wasser als auch durch regelmäßig beschicktes Wasser aus einem Speicherbehälter realisierbar. Die Repositionspflanzen können auf den

erdlosen Trägermatten weiterwachsen und dem umgebenen Wasser Nährstoffe entziehen, wodurch dieses gereinigt wird. Die so entstehende Biomasse kann regelmäßig geerntet und weiterverwendet werden [20]. Diese Methode, welche vorwiegend zur Regenwasserbehandlung genutzt wird, kann sich auch zur gezielten Abwasserreinigung, zur Uferbefestigung stehender Gewässer, zur Prozesswasserkühlung, zur Begrünung von Uferzonen und zur Umwandlung von Gülle in Biomasse eignen [21].

Für die Realisierung der gezielten Biomassenproduktion durch eine naturnahen Abwassernachbehandlung eignet sich das im Folgenden vorzustellende System Dernbach. Erfinder dieser Methode ist Dipl. Ing. Bernhard Dernbach, welcher in Mülheim an der Ruhr ein Ingenieurbüro für Umweltplanung besitzt. Nach den Vorstellungen Dernbachs können die anfallenden Abwässer nach entsprechender Vorbehandlung, in welcher Schmutz- und Schwebstoffe abgesetzt werden, zur Biomasseentwicklung beitragen. Momentan liegen Dernbach noch keine Untersuchungsergebnisse für die Behandlung derartiger Abwässer vor, da auch das System Dernbach bisher vorrangig zur Dachbegrünung eingesetzt wurde. Es liegt daher im Interesse der LWG Schmerz sowie des Ingenieurbüros Dernbach zunächst eine Pilotanlage zu installieren. Hier sollen erste Untersuchungen zur möglichen Biomasseproduktion verschiedener Pflanzen bei der Beschickung mit verschiedenen Konzentrationen der Abwässer erfolgen.

3.1 Vorstellung des System Dernbach

Wie die bereits erwähnten Systeme der multifunktionalen Dachvegetation dient das System Dernbach vorrangig zur Begrünung von Dachflächen. In den Darlegungen Dernbachs wird dessen Erfindung auch als Wasserdach bezeichnet [22]. Die folgenden Ausführungen zur Beschreibung des System Dernbach sowie die Abbildung 3.1 auf der folgenden Seite sind der Patentschrift DE 196 30 830 C2 [23] entnommen.

Im weitesten Sinne besteht die Erfindung, wie in Abbildung 3.1 dargestellt, aus einer untersten wasserundurchlässigen Schicht, auf der eine Durchwurzelungsbarriere angebracht ist. Vorkultivierte Repositionspflanzen werden auf darüber liegenden Pflanzenträgermatten angepflanzt, in der sich ihre Wurzeln verankern können. Die Bepflanzung erfolgt weitestgehend mit Sumpfpflanzen, wie Schilf, Carexarten, Binsen, Blutweiderich, Froschlöffel, Gauklerblume u.ä.. Vorrangig Niederschlagswasser gelangt über ein Rohrverteilungssystem auf die Matten, wodurch die Pflanzen mit Nährstoffen aus dem Regenwasser versorgt werden. Im Unterschied zu den im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Dachbegrünungssystemen besitzt das System Dernbach keine künstliche, sondern eine natürliche Halteschicht für die Repositionspflanzen. Die Halteschicht besteht aus verrottbaren Pflanzenfasern, vorzugsweise aus cellulosischen Fasern, insbesondere Kokosfasern, Sisalfasern sowie Zellwollfasern. Des weiteren liegen die Matten lose auf der Durchwurzelungsbarriere auf. Dadurch können die Pflanzenträgermatten zur Ernte der Biomasse abgezogen und zusammen mit den Pflanzen weiter verwertet werden. Ein weitere Unterschied zu den bisherigen substratlosen Regenwasserbehandlungsmethoden besteht in der Methode mit welcher die Wurzeln mit dem Wasser in Kontakt treten. Während bei den herkömmlichen Systemen die Wurzeln frei im

Wasser hängen, welches sich in einem Behälter auf bis zu 20 cm angestaut wird, umgibt bei dem System Dernbach lediglich ein ständiger Wasserfilm den Wurzelbereich. Über Pumpvorgänge und Verteilerrohre gelangt das zu reinigende Wasser aus dem Wasserspeicher auf die Pflanzenträgermatten. Dort rieselt es in geringer Geschwindigkeit über das leicht geneigte Behandlungssystem. Wasser, welches nicht von den Pflanzen aufgenommen wurde, gelangt über Auffangrohre zurück in den Wasserspeicher. Damit wird ein Wasseranstau im Wurzelraum der Pflanzen vermieden. Laut den Angaben in der genannten Patentschrift dient bei den bisher bekannt gewordenen substratlosen Gründächer lediglich das Eigenwicht der Pflanzenträgermatten als Sturmsicherung (siehe Abbildungen 3.1 und 3.2 Seite 35).

Beim System Dernbach werden eigens angefertigte Hohlkörper, befüllt mit Sand, Wasser o.ä., auf die verrottbaren Pflanzenträgermatten gesetzt. Die Hohlkörper können somit auch als Wasserspeicher genutzt werden. Am 20.09.2004 wurde dem Bearbeiter in einem Telefongespräch mit Herrn Dernbach mitgeteilt, dass im System Dernbach prinzipiell Abwasser gereinigt werden kann. Laut den Einschätzungen des Erfinders besteht die Möglichkeit nicht nur Regenwasser sondern, im konkreten Fall die Sozial- und Melkhausabwässer, zur Biomasseproduktion bei gleichzeitiger Reinigung zu nutzen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn von den genannten Abwässern in diversen Vorbehandlungsschritten Feststoffe abgetrennt werden. Feststoffe sind zu entfernen, da sie sonst mit großer Wahrscheinlichkeit zu Verstopfungen und Kolmationen auf den Pflanzenträgermatten führen. Die Abtrennung kann zum einen in Mehrkammergruben, als auch in Absetzteichen, welche den Wasserspeichern vorgeschaltet werden, erfolgen.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung, vermutlich um bereits angesprochene Kolmationen zu vermeiden, wird in der Patentschrift der Einsatz von schwimmenden Pflanzeninseln erwähnt. Diese könnten in dem Wasserspeicher sowie in dem vorgeschaltetem Absetzteich zu einer zusätzlichen Reinigung der Abwässer beitragen. Die schwimmenden Pflanzeninseln, wie sie für den Wasserspeicher Verwendung finden könnten, werden im Folgenden kurz vorgestellt (Fortsetzung Seite 36).

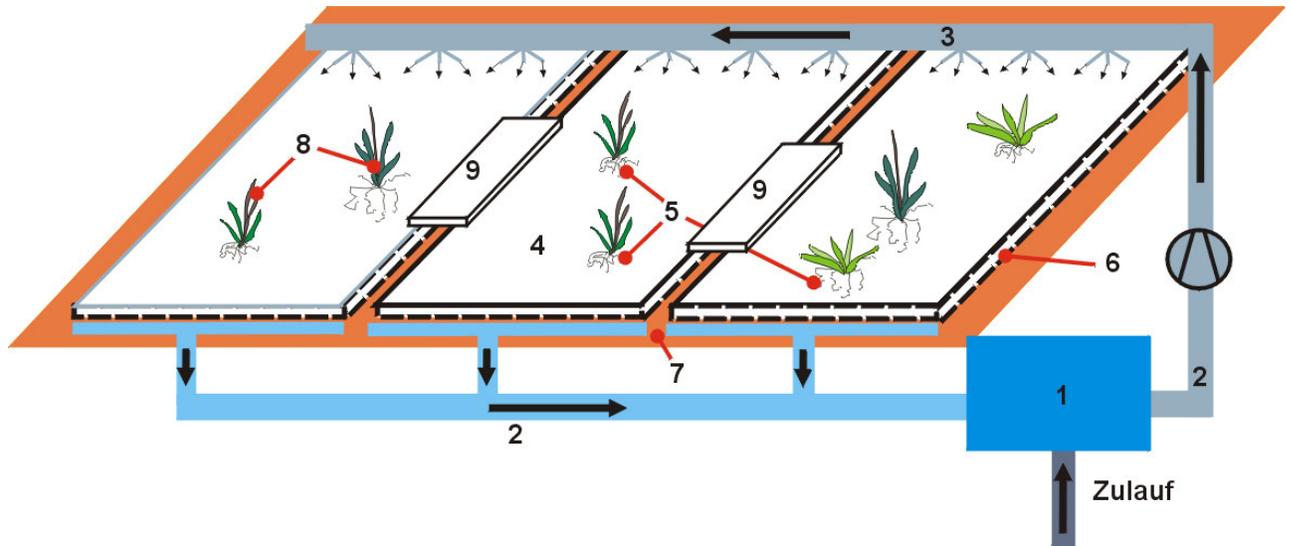


Abbildung 3.1: System Dernbach, Ansicht A (nach der Patentschrift DE 196 30 830 C2 [23]).

1	Wasserspeicher	2	Zulauf- bzw. Ablaufleitungen	3	Verteilungsleitung
4	Halteschicht	5	Wurzeln der Repositionspflanzen	6	Durchwurzelungsbarriere
7	Abdichtung	8	Repositionspflanzen	9	Sturmsicherung

Tabelle 3.1 Legende für die Ansichten A und B des System Dernbach

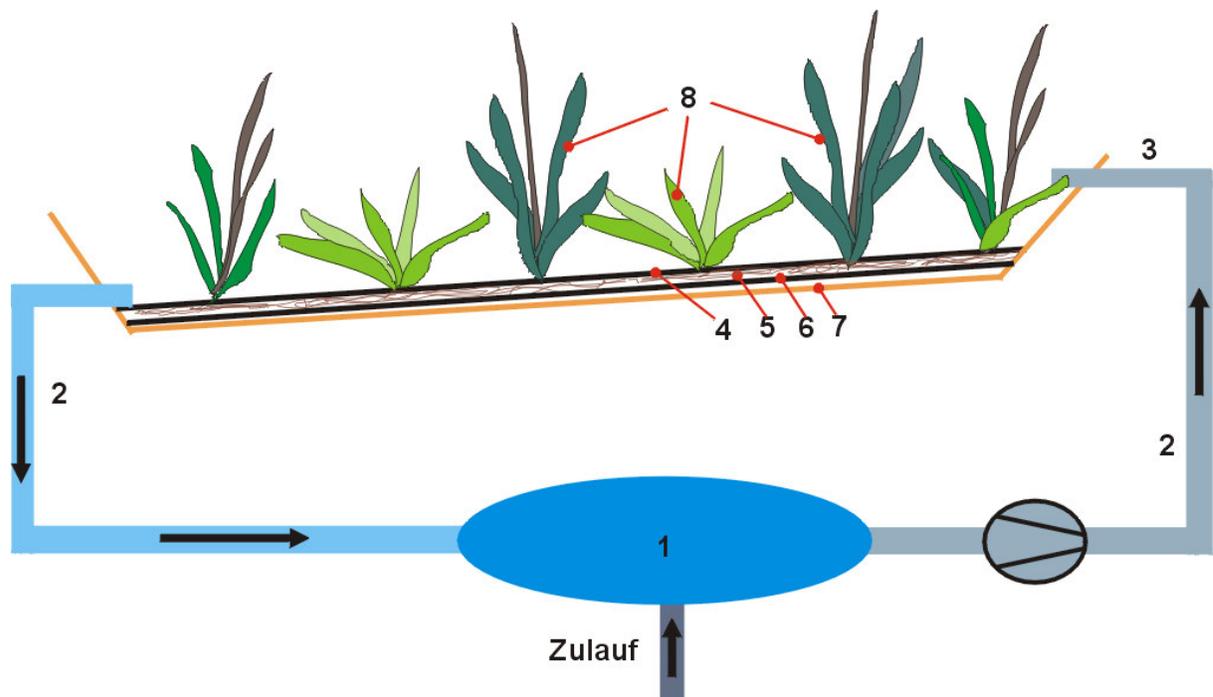


Abbildung 3.2: System Dernbach, Ansicht B.

3.1.1 Zusätzliche Biomassenproduktion durch Schwimmende Pflanzeninseln

In natürlicher Form sind schwimmenden Pflanzeninseln in Deltas von Flüssen vorzufinden. Durch die dort herrschenden geringen Strömungsgeschwindigkeiten können Rhizomstücke von Röhrichtpflanzen, Schilfstängel und weiteres Treibgut vom Wind zusammengeschoben und verkeilt werden. Anschließend siedeln sich weitere Pflanzen auf diesem Treibgut an und das gesamte Gebilde kann sich durch weiteres Biomassewachstum verfestigen. Diese lebenden Inseln können auch künstlich hergestellt werden, damit sind sie, je nach Bauweise, in verschiedenen Bereichen anwendbar. Sie können flächendeckend für die gesamte Wasseroberfläche eingesetzt werden, vorzugsweise zur Abwasserreinigung aber auch zur Umwandlung von Gülle in Biomasse [21]. Weiterhin werden sie auch auf Teilen der Wasseroberfläche zur:

- Schaffung und Erhaltung von Biotopen (insbesondere in Bergbaufolgelandschaften),
- Uferbefestigung sowie
- zur Begrünung steiler Böschungen eingesetzt.

Der Grundgedanke von künstlich hergestellten schwimmenden Pflanzeninseln besteht darin die Pflanzen durch Trägermaterialien auf dem Wasser schwimmen zu lassen, während sich die Wurzeln frei im Wasser entfalten können. Die Umwandlungsvorgänge zum Nährstoffabbau finden bevorzugt in den Wurzelbereichen der Pflanzen statt, da dort die Lebensbedingungen für die Mikroorganismen optimal sind.

Am sinnvollsten erscheint es nicht eine Pflanze als Monokultur zu verwenden, sondern beispielsweise Schilf in Verbindung mit Seggen und Binsen zur Reinigung der Abwässer einzusetzen. Schilf hat den Vorteil, dass es nach dem Anfangsstadium die Eigenschaften der Auftriebskörper übernehmen kann sowie den Seggen und Binsen als Substrat dient. Dabei muss darauf geachtet werden, dass Schilf als Monokultur sehr dominant ist und deswegen regelmäßig gemäht werden muss, damit sich die restlichen Pflanzen optimal entwickeln können [24]. In bestimmten Abständen kann die sich entwickelte Biomasse geerntet und zur thermischen Nutzung o.ä. weiter verwendet werden. Neben den Pflanzenteilen ist es sinnvoll auch die Wurzeln, vor allem da sie einen höheren Brennwert haben, für die thermische Nutzung einzusetzen.

3.1.2 Vergleich des System Dernbach mit dem ATV Regelwerk A 262 (Entwurf 2004)

Im § 171 (Aufgaben und Befugnisse der Wasserbehörden) des WG LSA ist festgelegt, dass *„es den Wasserbehörden [obliegt], das Wasserhaushaltsgesetz und dieses Gesetz [(WG LSA)] sowie die auf Grund dieser Gesetze erlassenen Verordnungen zu vollziehen und Gefahren für Gewässer abzuwehren. Zur Wahrnehmung dieser Aufgaben treffen sie nach pflichtgemäßem Ermessen die erforderlichen Anordnungen einschließlich der Maßnahmen nach dem allgemeinen Recht der Gefahrenabwehr.“* (§ 171 WG LSA Satz 1). § 170 definiert die Zuständigkeitsbereiche der obersten, obern sowie unteren Wasserbehörden. Demnach sind für Landkreise und kreisfreie Städte die unteren Wasserbehörden zuständig. Die untere Wasserbehörde des Landkreises Bitterfeld gibt für die Planung einer naturnahe Abwassernachbehandlung durch substratlose Pflanzenträgermatten keine direkten Anforderungen vor. Stattdessen soll das ATV Regelwerk A 262 vom Juli 1998, welches als

Grundlage zur Bemessung von Pflanzenbeten dient, herangezogen werden. Des weiteren wurde von den anwesenden Vertretern der Wasserbehörde auf einen Entwurf des ATV A 262 vom Mai 2004 verwiesen [17]. Es wird im Folgenden geprüft ob die in dem Arbeitsblatt festgelegten Richtlinien auf das System Dernbach angewendet werden können.

Das ATV A 262 umfasst Grundlagen hinsichtlich Bemessung, Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfilter für die biologische Behandlung kommunalen Abwassers.

Der Geltungsbereich des ATV A 262 ist in mehrere Stufen unterteilt. Dieses Regelwerk ist ausgelegt für Kleinkläranlagen mit einem maximalen häuslichem Abwasserzufluss von 8m^3 pro Tag und einem Anschlusswert von etwa 50 EW. Des weiteren gilt das ATV A 262 für kleine Kläranlagen im Trennsystem mit einem Anschlusswert zwischen 50 EW und 1.000 EW. Weiterhin heißt es in der Entwurfsdarstellung des ATV – DVWK – A 262: *„Bodenfilter in kleinen Kläranlagen im Mischsystem sind nicht Gegenstand dieses Arbeitsblattes.“*

Neben den vorgegebenen Bemessungsgrundlagen für Pflanzenbeete bezüglich den einwohnerspezifischen Frachten, sind ebenfalls Bemessungsansätze für den Fremdwasserzufluss in dem Regelwerk zu finden. Als Fremdwasser gilt Wasser aus: diffusen Quellen (z.B. Dränagewasser), Bächen, Wasserhaltungen auf Baustellen sowie Wasser welches als Grund- oder Sickerwasser aufgrund von Undichtigkeiten der Abwasserrohre in die Kanalisation gerät [25]. Dränageleitungen, Bäche sowie Wasserhaltungen aus Baustellen sind bei dem Einzugsgebiet der Abwasserleitungen der LWG Schmerz nicht zu erwarten. Demzufolge kann mögliches Fremdwasser lediglich aus einströmenden Grund- oder Sickerwasser hervorgehen. Im ATV Regelwerk wird angenommen, dass es sich bei dem Abwasserbehandlungssystem um ein Trennsystem handelt. Das bedeutet die anfallenden Niederschläge werden entweder separat gesammelt oder versickern am Ort des Entstehens. In dem zu installierenden Abwasserbeseitigungskonzept soll in einem Mischsystem das Regenwasser zusammen mit den restlichen Abwassermengen abgeleitet werden. Daher ist davon auszugehen, dass der Fremdwasserzufluss aufgrund von Sickerwasser relativ gering ist und das Eindringen von Grundwasser in das Kanalnetz ebenfalls als gering eingeschätzt werden kann. Der Fremdwasserzufluss kann auch aus dem Grund vernachlässigt werden, da die Entfernungen zu der Abwasserbehandlungsanlage relativ gering ist und nicht mehrere verschiedene Grundstücke an die kleine Kläranlage angeschlossen sind.

Der Charakterisierung der Abwasserteilströme ist zu entnehmen, dass die zu behandelnden Abwässer aus einer Mischung von Melkhaus-, WC- und Duschabwässern sowie Regenwasser bestehen.

Das für die Biomasseproduktion einzusetzende System Dernbach wird entweder zur Nachbehandlung der Mischabwässer eingesetzt (Varianten 3 und 7) oder dem Regenwasserteich nachgeschaltet (Varianten 4 und 5). Demzufolge erfolgt in diesem System keine Abwasserbehandlung entsprechend den Vorgaben der ATV A 262. Es wird angenommen, dass die Ablaufkonzentration einer vorgeschalteter Abwasserteichanlage sowie des Pflanzenbeetes so gering ist, wie sie für die Einleitung in Gewässer gefordert wird.

Dabei ist die Belastung der Melkhausabwässer im Vergleich zu den häuslichen Abwässern sehr viel höher und die täglich durchschnittlich anfallende Regenwassermenge entspricht ebenfalls nicht den Vorgaben von 8m^3 pro Tag. Die täglich anfallende Schmutzwassermenge (Melkhaus- und Sozialabwässer) ist weitestgehend konstant. Jedoch insbesondere bei den

Regenwassermengen handelt es sich um stark variierende Zuflussmengen. Länger anhaltende Regen- bzw. Trockenperioden sorgen für einen stark schwankenden Regenwasserzufluss. Dennoch ist die Beschickung der Anlage mit maximal 8m³ pro Tag durchführbar. Der Regenwasserteich bzw. die Abwasserteichanlage, denen das System nachgeschaltet wird, kann Regenspülstöße auffangen. Außerdem ist die Abwasserbeschickung durch ein entsprechendes Wasserreservoir gesichert. Der tägliche Zufluss kann durch entsprechende Pumpeinrichtungen geregelt werden.

Neben dem Geltungsbereich werden einige Begriffe in dem genannten Arbeitsblatt erläutert, dazu zählt unter anderem die Definition des bepflanzten Bodenfilters. Zu bepflanzten Bodenfilter werden mit Röhricht bewachsene sandig-kiesige Bodenkörper gezählt, die der Reinigung des von Grob- und Schmutzstoffen befreitem oder biologisch vorbehandeltem Abwasser dienen. Die Bodenkörper können horizontal oder vertikal durchströmt werden. Die wesentlichen Abbauprozesse beruhen auf den Aktivitäten der Mikroorganismen, welche sich auf dem Wurzelgeflecht der Pflanzen oder in der Kiesschicht selbst ansiedeln. Anhand dieser Begriffsdefinition ist zu erkennen, dass das Arbeitsblatt A 262 für das System Dernbach nicht in jedem Detail als Bemessungsgrundlage Verwendung finden kann. Das ATV A 262 ist für die Bemessung, den Betrieb sowie den Bau von bepflanzten Bodenfiltern erstellt worden. Die in der LWG Schmerz einzusetzende Anlage zur Abwasserbehandlung entspricht keineswegs einem bewachsenem Bodenfilter, wie in der obigen Begriffsdefinition erwähnt. Vielmehr strömt das zu behandelnde Abwasser über einen Wurzelteppich ohne in einer Kiesschicht zu versickern.

Planung und Bau von Pflanzenbeeten

1. Hinsichtlich der Lage von Pflanzenbeeten sollte, aufgrund möglicher Geruchsbelästigungen, ein Mindestabstand zu Wohngebäuden von 15 bis 20m eingehalten werden. Der derzeitige Regenwasserauffangteich befindet sich in einer Entfernung von etwa 300m zu den nächsten bewohnten Gebieten. Damit sind die Anforderungen hinsichtlich der Mindestabstände zu Wohngebieten eingehalten.

2. Als Grundvoraussetzung für den reibungslosen Betrieb von Pflanzenbeeten wird in dem Regelwerk angegeben, dass die Anlage lediglich mit vorbehandeltem (d.h. entschlammten sowie von Grob- und Schwimmstoffen befreitem Abwasser) zu beschicken ist. Als Folge einer unsachgemäßen Vorbehandlung werden Geruchs- und Ungezieferbelästigung sowie Auflandungen im Zulaufbereich angegeben. Die Vorbehandlung erfolgt für das Mischsystem in der Abwasserteichanlage. Zur Zeit werden die Feststoffe der Abwässer aus dem Sozialbereich in Ein- bzw. Mehrkammergruben abgesetzt und die Überläufe der Gruben in den Gärrestbehälter sowie einen Güllebehälter geleitet (siehe Abbildung 1.1). Zukünftig könnten diese Überläufe als vorbehandelte Abwässer in den Abwasserteich geleitet werden, damit ist ein Absetzteich nicht notwendig. Den Melkhausabwässern können die Feststoffe in den Abwasserteichen entfernt werden. Wenn nur das Regenwasser in den Regenteich gelangt, können sich in diesem absetzbare Stoffe am Boden ablagern.

3. Pflanzenbeete müssen nach unten und an den Seiten abgedichtet sein. Falls die natürlich vorkommende Bodenschicht bei einer Mindestdicke von 60 cm nicht einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \leq 10^{-8}$ m/s aufweist, ist eine künstliche Dichtungsbahn in Form von Folie, einer Betonwanne oder einer Tonschicht zu installieren. Es wird angenommen, dass die vorkommende Bodenschicht auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche gegenüber des Betriebsgeländes aufgrund der sandigen Bodenstruktur den geforderten Durchlässigkeitswert überschreitet. Das vorgestellte System Dernbach ist, wie bereits erwähnt ursprünglich eine Methode Regenwasser auf Dachflächen zu behandeln. Folglich ist davon auszugehen, dass das System so konzipiert ist, überschüssiges Wasser abzuleiten und nicht in die Dachfläche eindringen zu lassen. Eine zusätzliche Abdichtung unter zu der im System Dernbach angestrebten Variante ist nicht notwendig. Allerdings sind Maßnahmen für eine Abdichtung nach außen zu installieren. Es erscheint sinnvoll die Pflanzenträgermatten in eine Betonwanne zu legen, denn so wird auch verhindert, dass abfließendes Wasser der landwirtschaftlichen Nutzfläche über die Anlage strömt.

4. Für die Bemessung der Beetfläche müssen sowohl abbaukinetische als hydraulische Nachweise erbracht werden. Die in beiden Fällen ermittelten Flächen sind zu vergleichen und die größere der beiden für die Auslegung des Beetes zu verwenden. Zu den abbaukinetischen Bedingungen zählen ein Mindestfläche von 20m², eine C_{CSB} - Flächenbelastung von maximal 16g pro m² und Tag sowie eine gesamte Bodenfilterfläche von mindestens 5m² je Einwohner. Die größte nach den Vorgaben ermittelte Fläche wird für weitere Berechnungen genutzt. Die tägliche Flächenbeschickung darf einen Maximalwert von 40l pro m² nicht überschreiten. Die letzt genannte Bemessung dient dazu sicherzustellen, dass die Fließgeschwindigkeit des Wassers so gering ist, dass das Abwasser ausreichend versickern kann. Bei Pflanzenbeeten muss sichergestellt sein, dass das Abwasser nicht nur über die Beetfläche hinwegfließt, sondern in den Bodenfilter sickert, wo die Abbauvorgänge der Mikroorganismen stattfinden. Die abbaukinetische Bemessung sichert, eine ausreichende Reinigungsleistung.

Die Hydraulische Bemessung erfolgt nach folgender Formel: $A = 2 \cdot \frac{Q_{T,d,aM} \cdot L}{k_f \cdot \Delta H}$

Nach der hydraulischen Bemessung ist sichergestellt, dass das Pflanzenbeet die ankommende Abwassermenge aufnehmen kann. Erfolgt die Flächenermittlung eines Pflanzenbeetes nach dem Vergleich des abbaukinetischen Ansatzes mit dem hydraulischen Ansatz, ist nach ATV A 262 davon auszugehen, dass das Abwasser ausreichend gereinigt und das Beet organisch nicht überlastet wird. Diese grundsätzlichen Bemessungsansätze sind auf das System Dernbach nur schwer zu übertragen. Dies lässt sich dadurch begründen, dass die Pflanzenträgermatten mehrmals überströmt werden und somit den Pflanzen bzw. den auf den Pflanzenwurzeln befindlichen Mikroorganismen häufiger die Möglichkeit gegeben wird die Abwasserinhaltsstoffe aufzunehmen. Des weiteren ist es nicht notwendig das Abwasser in den Bodenfilter einsickern zu lassen, da es im Sinne von Pflanzenbeeten keinen Bodenfilter gibt. Allerdings fanden derzeit noch keinerlei Untersuchungen zu den Abbauvorgängen die-

ses neuartigen Systems statt. Es müssten daher in einem Pilotprojekt Untersuchungen zur Bemessung einer solchen Anlagen erfolgen.

5. Pflanzenbeete sind nach der vorliegenden Richtlinie mit einer ebenen horizontalen Oberfläche zu versehen. Diese Vorgaben aus dem Regelwerk dienen dazu ein zu rasches Abfließen zu verhindern und ausreichende Versickerung zu gewährleisten. In diesem Punkt können die Anforderungen des ATV A 262 nicht eingehalten werden. Das System Dernbach ist so ausgelegt, dass ein Wasserfilm selbstständig über die Pflanzenträgermatten fließt. Überschüssiges Wasser wird am Ende der Matten aufgefangen und in den Wasserspeicher geleitet. Für das freie Fließen ist eine Neigung der Pflanzenträgermatten unablässig.

6. Die Zulaufleitungen sind so zu gestalten, dass sowohl das Abwasser gleichmäßig über den gesamten Beetquerschnitt beschickt werden kann, als auch ein überstaufreier Einlauf gewährleistet ist. Die Zu- und Ablaufleitungen sind so zu konzipieren, dass sie leicht gereinigt werden können sowie Abwasseruntersuchungen problemlos durchführbar sind. In dem erwähnten Telefongespräch vom 20.09.2004 gibt Dernbach an, dass eine Ableitung der gereinigten Abwässer in einen Vorfluter nicht nötig ist. Durch die Rezirkulation der Abwässer werden sämtliche Wassermengen über die Pflanzen verdunstet. In Versuchen muss zunächst nachgewiesen werden, ob diese Aussagen auch für gereinigte Schmutzwässer zutreffen. Des weiteren ist zu hinterfragen, wie sich jahreszeitliche Temperaturschwankungen auf die Verdunstungsleistungen auswirken. Eine gleichmäßige Verteilung wird durch die Verteilungsleitungen erreicht, ein Überstau kann durch die Neigung der Pflanzenträgermatten vermieden werden.

7. Für die Bepflanzung sind in dem ATV Regelwerk Angaben zu den Pflanzenarten sowie zu den optimalen Bepflanzungszeiten zu finden. Vorwiegend sollten Schilf (*Phragmites*), Schwertlilie (*Iris*), Rohrkolben) oder Binse (*Juncus*) eingesetzt werden. Für Schilf sind nähere Angaben zu finden u.a. wird eine Bepflanzung vorzugsweise im Frühjahr empfohlen. Auch nach Dernbachs Angaben eignen sich insbesondere Schilf und Seggen zur Biomasseproduktion bzw. zur Abwasserreinigung.

8. Pflanzenbeete sind, insbesondere zur Sicherung des Winterbetriebes unmittelbar nach Einbau mit einem Freibord von 20cm bis 30cm zu versehen. Weiterhin muss darauf geachtet werden, dass sämtliche Rohrleitungen frostsicher verlegt sind oder gegen Frosteinwirkungen geschützt werden. Zur Sicherung des Winterbetriebes können laut Dernbachs Aussagen vom 20.09.2004 Rohrbegleitheizungen in den Verteilungsrohren und Zulaufleitungen eingesetzt werden. Wie bei Teichanlagen könnte zu Beginn der Frostperiode die Pflanzenträgermatten überstaut werden, um die Bildung einer stabilen Eisdecke zu fördern. Wenn der Wasserstand wieder abgelassen wird, bildet sich unter der Eisdecke eine isolierende Luftblase [3]. Des weiteren handelt es sich bei dem System Dernbach um ein fließendes Gewässer, in dem die Frostgefahr im Vergleich zu Pflanzenbeete, als geringer einzustufen ist. Bei bewachsenen Bodenfiltern sickert das Wasser nur langsam in den Boden, wodurch bei geringen Temperaturen schnell Frosteinwirkung festzustellen ist. Das Sys-

tem Dernbach ist so konzipiert, dass das Wasser über den Pflanzenträgermatten ständig in Bewegung ist, wodurch eine Gefahr des Gefrierens erschwert wird.

9. Fazit

In einer Begriffsdefinition der ATV A 262 werden Pflanzenbeete als mit Sumpfpflanzen bewachsene sandig-kiesige Bodenkörper bezeichnet. Der Bodenkörper kann entweder horizontal als auch vertikal von dem zu reinigenden Abwasser durchströmt werden. Die Abwasserreinigung erfolgt größtenteils durch die im Boden angesiedelten Mikroorganismen. Das für die Nachreinigung der Abwässer der LWG Schmerz angedachte Behandlungssystem kann nach dieser Definition nicht als Pflanzenbeet bezeichnet werden, da hier ein Verfahren ohne Bodenkörper angewendet wird. Momentan liegen keine gesetzlichen Regelwerke für substratlose Abwassernachbehandlungsverfahren vor. Aus diesem Grund sollen, laut den Angaben der unteren Wasserbehörde, für die Dimensionierung des System Dernbachs zunächst die Vorschriften für horizontal durchflossene Pflanzenbeete aus dem ATV Regelwerk A 262 eingehalten werden. Eine Genehmigung dieser Anlage behält sich die untere Wasserbehörde bei größeren Abweichungen der vorgegebenen Parameter vor. Stattdessen wird für die Genehmigung neuartigen Verfahren die obere Wasserbehörde eingeschaltet, welche über weitere Schritte zu entscheiden hat.

Die in dem Regelwerk angegebenen Vorgaben zu den unmittelbaren Einwirkungen der Behandlungsanlage auf die umgebene Umwelt sind problemlos einzuhalten. Dies betrifft vor allem den, zwecks Eindämmung von Geruchsbelästigungen geforderten Mindestabstand zu Wohngebieten. Weiterhin ist eine Versickerung nicht behandelter Abwässer in den Untergrund durch entsprechende Einrichtungen an dem System Dernbach selbst, sowie durch die Installation einer Betonwand realisierbar. Die Einhaltung der gesetzlich geforderten Maßnahmen zur Betriebsstabilität hinsichtlich Frostschutz sowie einer Vorbehandlung der Abwässer liegen im Sinne der Erfindung. Eine Verzicht auf eine Grobreinigung der anfallenden Abwässer führt mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei dem substratlosen System zu Verstopfungen und letztendlich zu verminderten Reinigungsleistungen. Maßnahmen gegen Frosteinwirkung im Winter werden mit Rohrbegleitheizungen realisiert. Die Beschickung der Anlage mit dem geforderten Maximalwert von 40l pro m² und Tag ist ein Wert welcher bei Pflanzenbeeten unbedingt eingehalten werden muss. Auch die Bemessungsgrundlage für die Beetfläche vom 5m² je Einwohner und die in dem neuen Entwurf des ATV A 262 angegebene maximale C_{CSB} – Flächenbelastung hat sich anhand zahlreicher Forschungen für Pflanzenbeete bewährt. Diese Bemessungsansätze müssen nicht für substratlose Behandlungssysteme gelten. Laut Aussagen Dernbachs ist für die Bemessung seines Systems zur Abwasserbehandlung ein Grundwert von 2m² je Einwohner ausreichend. Dies begründet er mit der Tatsache, dass das zu reinigende Wasser aufgrund der fehlenden Filterschicht einen geringeren Weg zurücklegen muss und des weiteren mehrmals über die Pflanzenträgermatten gepumpt wird. Aussagen zu einer hydraulischen Bemessungen des System Dernbachs liegen nicht vor.

Allgemein ist festzustellen, dass vor allem hinsichtlich einer Bemessung des System Dernbach aufgrund der fehlenden praktischen Erfahrungen keine fundierten Aussagen getroffen werden können. Zunächst müssen Untersuchungen in Pilotanlagen durchgeführt werden. Bei

der genauen Untersuchung der Abbauvorgänge ist so, bei genauen Kenntnisstand der zufließenden Nährstoff- und Wassermenge, eine entsprechende Biomasseproduktion abschätzbar.

3.2 Vorflutersituation/ Versickerung

Die Abbildung 3.3 zeigt einen Ausschnitt einer Wanderkarte [26] für den Naturpark Dübener Heide im Maßstab 1:50.000. Zu sehen sind Teile des Landkreises Bitterfeldes mit den Gemeinden Schmerz (OT Gossa), Gossa, Schlaitz, Plodda sowie Krina. Vom Bearbeiter wurden des weiteren das Betriebsgelände der LWG Schmerz, die angrenzenden Kreisstraße, der vorhandene Regenwasserteich sowie die Mündung des Vorfluters gekennzeichnet. Als Vorfluter für die behandelten Abwässer eignet sich der Schmerzgraben. Dieser begrenzt nördlich die Ackerfläche, auf der die Abwasserbehandlungsanlage errichtet werden soll.



Abbildung 3.3 Kartenausschnitt der Dübener Heide [26] mit: 1-Betriebsgelände LWG Schmerz; 2- Kreisstraße K 2036; 3-Schmerzgraben; 4-vorhandener Regenwasserteich (nicht maßstabsgerecht);5-Mündungsstelle des Schmerzgraben in den Mühlbach.

Die Abbildungen 3.4 und 3.5 zeigen die angrenzende landwirtschaftliche Nutzfläche mit dem vorhandenen Regenwasserteich und einen Bereich des Betriebsgelände der LWG Schmerz. Zwischen dem Betriebsgelände und dem landwirtschaftlich genutzten Boden befindet sich die Kreisstraße K 2036, welche zusammen mit dem Schmerzgraben die Ackerfläche im Norden und Süden abgrenzt (siehe Abbildung 3.4). Der Schmerzgraben oder Schmerzbach, welcher als möglicher Vorfluter in Betracht gezogen wird, verläuft wie in Bild 3.5 zu sehen von Osten nach Westen. Die Quelle des Schmerzbaches liegt nur wenige Kilometer östlich der LWG Schmerz, nahe der Gemeinde Krina in einem Feuchtgebiet. Circa 2 Kilometer hinter der Ortschaft Gossa mündet der Schmerzbach in den Mühlbach (Quelle als Lausebach ebenfalls in der Nähe von Krina), welcher wiederum in nord-westlicher Richtung in die Mulde (ein Zufluss der Elbe) fließt ([27], [28]).



Abbildung 3.4: Blick auf das Betriebsgelände der LWG Schmerz aus westlicher Richtung

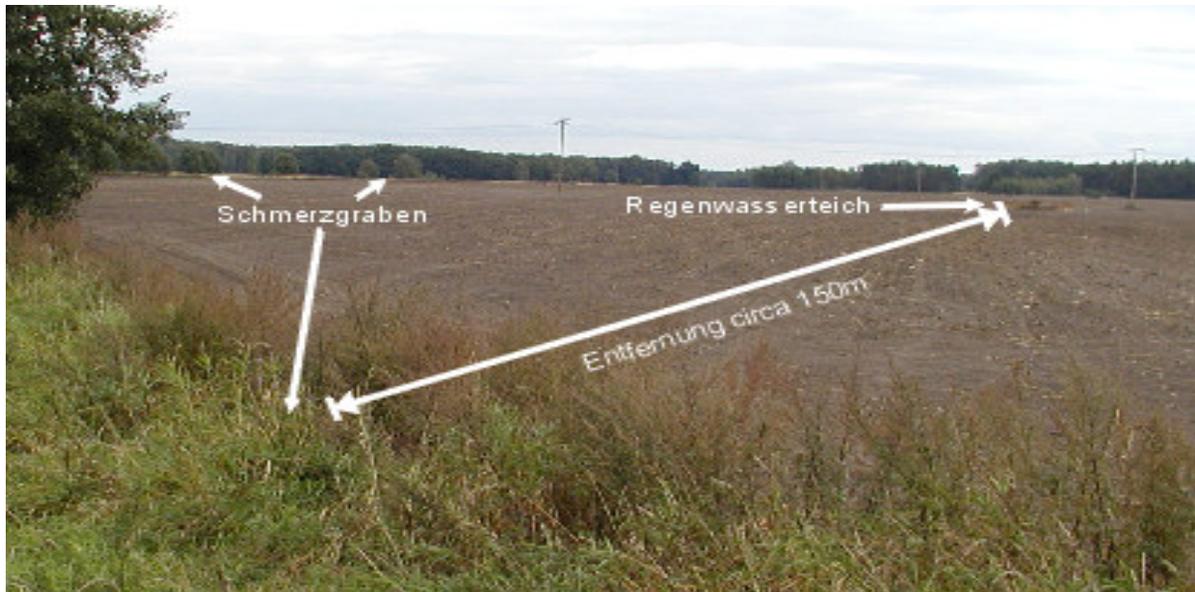


Abbildung 3.5: Blick auf den Regenwasserteich und den Vorfluter Schmerzgraben aus nordwestlicher Richtung

3.2.1 Anforderungen an die Einleitung

Die Grenzkonzentrationen der gereinigten Abwässer für die Einleitung in einen Vorfluter sind der Abwasserverordnung (AbwV) [29] zu entnehmen. Die AbwV „bestimmt die Anforderungen, die bei der Erteilung einer Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser in Gewässer...mindestens festzusetzen sind.“ [29]. Unter dem § 3 werden die allgemeinen Anforderungen festgelegt. Demnach dürfen die Abwässer für eine gemeinsame Behandlung vermischt werden, wenn die Verminderung der Schadstofffracht der einzelnen Parameter dennoch eingehalten werden. Im vorliegenden Beispiel bedeutet dies: Durch die Vermischung der Melkhaus- und Sozialabwässer mit dem Regenwasser stellt sich eine Mischkonzentration ein, welche geringer ist als die Belastung der Melkhaus- und Sozialabwässer im Rohzustand ist. Dennoch müssen für die Einleitung der behandelten Abwässer die Anforderungen für die Abwässer ohne Niederschlagswasser eingehalten werden. In den Anhängen der AbwV wird der Anwendungsbereich der verschiedenen Abwässer sowie deren jeweiligen Grenzwerte für das Einleiten in Oberflächengewässer geregelt. Im Anhang 1 sind die Anforderungen für häusliches und kommunales Abwasser zu finden. Laut dem angegebenen An-

wendungsbereich gilt Anhang 1 für Abwasser, welches „im Wesentlichen aus Haushaltungen oder ähnlichen Einrichtungen...[stammt], die anderen als den genannten Zwecken dienen, sofern es häuslichem Abwasser entspricht,“ [29].

Im zweiten Punkt des Anwendungsbereiches des AbwV steht, dass der Anhang 1 auch für Abwasser aus Anlagen gilt, welche landwirtschaftlichen Zwecken dienen. Des weiteren muss die Bedingung erfüllt sein, dass eine Reinigung „...mittels biologischer Verfahren mit gleichem Erfolg wie bei häuslichem Abwasser verringert werden kann“ [29].

Werden die Mischabwässer in eine, nach den allgemein anerkannte Regeln der Technik bemessene Abwasserteichanlage geleitet, ist davon auszugehen, dass die in der AbwV angegebenen CSB und BSB₅ Grenzwerte (siehe Tabelle 3.2) eingehalten werden.

CSB [mg/l]	BSB ₅ [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	N _{ges} [mg/l]	P _{ges} [mg/l]
150	40	-	-	-

Tabelle 3.2: Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle in das Gewässer nach AbwV Anhang 1 Größenklasse 1 [29].

Die Größenklasse 1 darf laut Anhang 1 der AbwV keine täglichen BSB₅ - Frachten von 60kg überschreiten. Es wird angenommen, dass auch länger anhaltende Regenereignisse nicht zu einer Überschreitung dieses Wertes führen. Aus diesem Grund werden nur Grenzwerte der Größenklasse 1 in Betracht gezogen.

Wie der Tabelle 3.2 zu entnehmen ist, sind keine Grenzwerte für die Einleitung von Phosphor angegeben. In den vorangegangenen Absätzen wurde bereits beschrieben, dass die Phosphorkonzentrationen der Melkhausabwässer in erheblichen Maßen über den Werten für häusliches Abwassers liegen. Es ist bisher nicht geklärt, in welchen Größenordnungen der Phosphorgehalt des Abwassers durch die Abwasserteichanlage bzw. durch das Pflanzenbeet mit anschließender Nachbehandlung durch das System Dernbach reduziert werden kann. Die Reduzierung des Phosphorgehaltes wurde jedoch bereits für bewachsene Bodenfilter untersucht. Der Phosphor wird entweder in die Biomasse der Pflanzen eingebaut oder im Bodenfilter gebunden. BÖRNER [30] schätzt die Phosphatbindung durch die oberirdischen Pflanzenteile eines Bodenfilters circa auf 3-6 g je m² und Jahr. Dieser Wert entspricht damit einer Jahresbelastung von weniger als 3%. Demzufolge wird der größte Phosphoranteil des zu reinigenden Abwassers im Bodenfilter gebunden. Da es bei dem System Dernbach keinen Bodenfilter gibt, wird ein Großteil der Phosphatfracht wahrscheinlich durch die Anlage fließen und nicht gebunden werden. Aufgrund dieser Annahme muss geschlussfolgert werden, dass die hauptsächliche Phosphorelimination in der Abwasserteichanlage bzw. in dem Pflanzenbeet zu erfolgen hat. Die folgenden Abbildungen zeigen den als Vorfluter in Betracht zu ziehenden Schmerzraben. Teil A der Abbildung 3.6 zeigt den Bach in unmittelbarer Nähe der möglichen Einleitung. Im Teil B ist der Bach im weiteren Verlauf zu sehen.



Abbildung 3.6: Schmerzgraben / Schmerzbach A in der Nähe der möglichen Einleitstelle; B weiter stromabwärts.

Es wurde bereits erwähnt (siehe Kapitel 3.1.2 Seite 36), dass die untere Wasserbehörde des Landkreises Bitterfeld für die Genehmigung der Anlage zuständig ist. Dazu gehören auch sämtliche Untersuchungen zu der Vorflutersituation. Dem Bearbeiter wurde nach telefonischer Auskunft am 29.10.2004 bestätigt, dass sich der Schmerzbach prinzipiell zur Einleitung gereinigten Abwassers eignet, da die Grundvoraussetzung der ständigen Wasserführung erfüllt ist. Im Anhang 1 der AbwV sind keine einzuhaltenden Grenzwerte für Phosphor und Stickstoff angegeben. Wie in Abbildung 3.6 zu sehen ist, könnte eine hohe Phosphorbelastung, wie sie durch die gereinigten Abwässer entstehen könnte schnell die Eigenschaften des Gewässers beeinflussen. Da das Gewässer relativ klein ist, führt eine zu große Nährstofffracht schnell zu einem Nährstoffüberangebot. Das Gewässer droht zu eutrophieren.

Neben dem Phosphor sorgen Stickstoffverbindungen wie Nitrat und Ammoniak ebenfalls zu Eutrophierung von Gewässern. Die Gesamtbelastung der Stickstoffverbindungen C_{TKN} der Melkhausabwässer beträgt etwa 130mg/l. Im Mischzustand des Regenwassers, zusammen mit den Melkhaus- und Sozialabwässern, stellt sich eine TKN – Konzentrationen von etwa 20 mg/l und bei ausbleibenden Regenereignissen von circa 50 mg/l ein. Für die Berechnungen der TKN Konzentrationen wurden die gleichen Algorithmen und Randbedingungen, wie bei der Ermittlung der C_{BSB} und $C_{P_{ges}}$ Werte (siehe Kapitel 2.4 Seite 20) angewendet bzw. vorgegeben. Wird die C_{TKN} – Konzentration im häuslichen Abwasser mit 55 mg/l angenommen, ist das Mischwasser hinsichtlich der Stickstoffbelastung auf dem gleichen Level wie häusliches Abwasser einzustufen. Wenn die Abwasserteichanlage den allgemein anerkannten Regeln der Technik dimensioniert wurde, kann angenommen werden, dass die Stickstoffelimination auf ein erhebliches Maß reduziert wird. So dass die Gefahr der Eutrophierungsgefahr für den Schmerzbach aufgrund hoher Stickstoffbelastungen stark herabgesetzt wird. Des weiteren besteht die Möglichkeit der Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen im nachgeschalteten System Dernbach.

3.2.2 Anforderungen an die Versickerung

Neben der Variante die gereinigten Abwässer in den Schmerzbach einzuleiten, besteht außerdem die Möglichkeit der Versickerung auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Nach Befragung der unteren Wasserbehörde des Landkreises Wittenberg (Nachbarkreis des Landkreises Bitterfeld) am 01.11.2004 kann die Versickerung gereinigten Abwassers jedoch nur in Ausnahmefällen genehmigt werden. Entsprechend dem Wassergesetz des Bundeslandes Sachsen Anhalt darf eine Erlaubnis zur Versickerung nur erteilt werden, falls die zuständige rechtliche Instanz des Abwasserverursachers in naher Zukunft keinen Anschluss des selbigen an ein Kanalnetz vorschreibt. Die Anforderungen an gereinigtes Abwasser, welches versickert werden darf, sind identisch zu den Einleitebedingungen häuslichen Abwassers der Größenklasse 1, wie sie in Tabelle 3.2 auf Seite 44 zu sehen sind. Demnach liegen die maximalen Konzentrationen für den CSB - Wert bei 150mg/l und für BSB₅ bei 40mg/l, für Phosphor und Stickstoff gibt es keine einzuhaltenden Grenzwertbelastungen. Die untere Wasserbehörde des Landkreises Bitterfeld verweist auf mögliche technische Einrichtungen zur Versickerung biologisch behandelten Abwassers auf die DIN 4261 Teil 1 [31]. Entsprechend DIN 4261 Teil 1 muss der Boden in der Lage sein die zu versickernde Wassermenge dauerhaft aufzunehmen und Restbelastungen des Abwassers weiter zu reduzieren. Demzufolge ist vor dem Bau von Versickerungsanlagen die Eignung des Untergrundes zu testen. Dazu ist eine bodenkundliche Begutachtung durchzuführen um die Wasserdurchlässigkeit im gesättigten Zustand sowie die Bodenprofile festzustellen. In der DIN 4261 Teil 1 werden zwei Verfahren zur Verbringung biologisch behandelten Abwassers in den Untergrund beschrieben. Es handelt sich hierbei um Sickergraben und Sickergrube. Diese beiden Versickerungsanlagen können durch ihren jeweiligen oberirdischen Flächenbedarf unterschieden werden. Während Sickergräben breitflächig eingebaut werden, sind Sickergruben tiefer in den Boden eingelassen. Nach Empfehlungen der unteren Wasserbehörde des Landkreises Bitterfelds sollte gereinigtes Abwasser nicht versickert, sondern nach Möglichkeit in einen Vorfluter eingeleitet werden. Auch dem Bearbeiter erscheint diese Variante sinnvoller als eine Versickerung anzustreben. Die Anforderungen für die Versickerung liegen auf dem gleichen Niveau, wie für die Einleitung des gereinigten Wassers in einen Vorfluter. Allerdings muss für eine Versickerung eine zusätzliche Anlage errichtet werden, wodurch im Vergleich zur Einleitung höhere Kosten entstehen können.

3.3 Zusammenfassung

Das vorgestellte System Dernbach dient ursprünglich der Dachbegrünung mit Hilfe von Repositionsplanzen auf natürlichen Trägermatten. Im System Dernbach wird nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser zirkuliert. Dabei erfolgt eine Verbesserung des Kleinklimas durch CO₂- Bindung und O₂ Freisetzung bei gleichzeitiger Kühlung der begrünten Gebäude in den Sommermonaten. Nach der Überzeugung des Erfinders Dernbach kann die multifunktionale Dachvegetation auch zur Behandlung von Abwässern bei gleichzeitiger gezielter Biomasseproduktion Verwendung finden. Die Biomassenproduktion zielt auf eine anschließende thermische Nutzung oder eine energetische Verwertung in Biogasanlagen ab. Derzei-

tig liegen allerdings noch keine wissenschaftlichen Untersuchungen hinsichtlich Bemessungsansatz, Pflanzenverträglichkeit, Schlammproduktion oder Biomassezuwachs vor. Es liegt daher in dem Interesse des Erfinders in einer Pilotanlage erste Erfahrungen hinsichtlich der erwähnten Grundsätze zu sammeln. Die Anlage gehört noch nicht zu den anerkannten Regeln der Technik, daher wird von der unteren Wasserbehörde das ATV Regelwerk A 262 angegeben, welches die Bemessung, den Bau und den Betrieb von bewachsenen Bodenfiltern festlegt. Für die Bemessung des System Dernbach soll nach der Behörde dieses Regelwerk als Grundlage dienen. Bewachsene Bodenfilter bestehen grob skizziert aus eine Mischung aus Sand und Kies, welche einige Zentimeter dick ist, mit darauf gepflanzten Repositionspflanzen. Das zu reinigenden Abwasser soll langsam durch den Filterboden sickern. Dabei werden die Abwasserinhaltsstoffe von den Mikroorganismen in dem Boden aufgenommen, während außerdem Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse stattfinden. Bei geringen Phosphorkonzentrationen im Abwasser verbleibt ein Großteil der im Zufluss vorhandenen Phosphormengen im Filterboden. Beim System Dernbach werden die Wurzeln der Repositionspflanzen, welche sich auf Pflanzenträgermatten aus natürlichen Materialien befinden, lediglich von einem Wasserfilm umspült. Es existiert kein Bodenfilter. Aus diesem Grund ist schwer abzuschätzen, inwieweit Abwasserinhaltsstoffe im System Dernbach abgebaut werden können. Diese Überlegungen haben unmittelbaren Einfluss auf die Vorfluterbeurteilung. Der Schmerzbach oder Schmerzgraben, ist ein Gewässer welches aufgrund seiner geringen Größe sehr sensibel auf ein übergroßes Nährstoffangebot reagieren könnte. Bei längeren Trockenperioden können sich vor allem hohe Phosphorkonzentrationen im Zufluss des Abwasserbehandlungssystems einstellen. Wenn diese hohen Konzentrationen nicht wirksam aufgenommen oder allgemein im Abwasserbehandlungssystem zurückgehalten werden können, besteht die Wahrscheinlichkeit, einer (zumindest lokalen) Eutrophierung des Schmerzbaches. Deswegen ist es nicht ausreichend allein das System Dernbach zur Abwasserbehandlung einzusetzen. Es bieten sich Abwasserteichanlagen (siehe Variante drei Seite 20 und Variante sieben Seite 29) vor allem auch deswegen an, weil in ihnen (zumindest in Abwasserteichanlagen) die auftretenden Spülstöße bei Regenereignissen aufgefangen werden können.

4 Pflanzenarten

Neben den Bemessungsansätzen ist es auch wichtig herauszufinden, welche Pflanzenarten die größte Biomassenproduktion bei den gegebenen organischen Belastungen aufweisen. Neben der Biomassenproduktion wird den Pflanzen die zweite wichtige Aufgabe der Abwasserreinigung (vor allem hinsichtlich der Phosphoraufnahme) zu teil. Es gilt herauszufinden, bei welchen Organismen die Abwasserkonzentration am besten herabgesetzt wird.

Die Abwasserkonzentrationen, mit denen das System Dernbach beschickt wird, kann bei der Behandlung der Mischabwässer für die CSB und BSB₅ – Werte für die Varianten drei, vier und sieben als gleich angenommen werden.

Allerdings können die Zulaufwerte auf die Pflanzenträgermatten hinsichtlich der Phosphat- und Stickstoffkonzentrationen bei den Abwasserbehandlungsalternativen variieren. Daher

müsste in einer Pilotanlage herausgefunden werden, welche Pflanzenart die größte Menge an Stickstoff oder Phosphor aufnehmen und direkt in Biomasse umwandeln kann. Im Folgenden werden die einzelnen Pflanzenarten kurz vorgestellt, welche sich für den Einsatz auf den Pflanzenträgermatten genutzt werden können.

4.1 Schilfrohr (*Phragmites australis*)

Schilf wird in bewachsenen Bodenfiltern schon seit einiger Zeit als Repositionspflanze eingesetzt. Es gilt neben der Eigenschaft hohe Belastungen vertragen zu können als guter Nährstoffverwerter [3]. Auch die ATV Regelwerk A 262 [17] empfiehlt diese Pflanze, da sie stark rhizombildend und tiefwurzelnd ist. Das Wurzelsystem der Schilfpflanze wächst zwar in horizontaler als auch in vertikaler Richtung, dennoch kann das Tiefenwachstum aufgrund der Durchwurzelungsbarriere aufgehalten werden. Die Pflanze wächst, entsprechend Dernbachs Angaben vom 20.09.2004, entlang der Wasserfließrichtung, um seine Ausläufer entsprechend dem Nährstoffangebot auszurichten. Außerdem ist der Halm des Schilfs aufgrund seiner stabilen Bauweise besonders gut gegen Umwelteinflüsse, wie Wind geschützt. Des Weiteren sind die Blätter und Blattscheiden drehbar, wodurch sich die Wirkung der Windreibung verringern lässt (Vaarma und Kerner aus [24]). Darüber hinaus weist Schilf einen vergleichsweise hohen Heizwert H_U von etwa 20 bis 25 MJ je kg auf [3] bei sehr geringen Wassergehalten. Diese Heizwertangaben entsprechen Werten, die etwa doppelt so hoch sind, wie die der Braunkohle. Dieser Aspekt ist vor allem im Hinblick auf die thermische Verwertung der Biomasse beachtenswert.

4.2 Binsen und Seggen (*Carex* und *Juncus*)

Neben Schilf gehören auch Binsen und Seggen zu den typischen Repositionspflanzen von bewachsenen Bodenfiltern. Diese Pflanzenarten wurden auch vorwiegend in den multifunktionalen Dachbegrünungssystemen eingesetzt [20] und werden auch für das System Dernbach in der entsprechenden Patentschrift bzw. vom Erfinder selbst (Telefongespräch am 20.09.2004) empfohlen. Sie können, ebenso wie Schilf zeitweilige bis ständige Überflutung ihres Standortes vertragen. Sie sind in der Lage die Nährstoffe direkt aus dem Wasser aufzunehmen. Ein Nachteil der Binsen und Seggen ist ihr geringes Durchsetzungsvermögen gegenüber dem Schilf [24]. Bezüglich der Verwertungsalternativen der Biomasse sind dem Bearbeiter keine Angaben zu Heizwerten oder Biogaserträgen dieser Gräser bekannt. Es wird daher angenommen, dass die Heizwerte unter denen von Schilf liegen, da die holzartigen Bestandteile geringer sind.

4.3 Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*)

Das Chinaschilf wird schon seit geraumer Zeit als Energiepflanze vor allem zur thermischen Nutzung angebaut. Es gehört nicht zu den klassischen Repositionspflanzen, welche zur Abwasserreinigung eingesetzt werden, dennoch soll es in die Betrachtung aufgrund des hohen

Heizwertes und der damit verbundenen potentiellen thermischen Nutzung einbezogen werden. Es gedeiht auf den meisten Böden, soweit diese nicht zu Staunässe neigen [32]. Der Heizwert von Chinaschilf liegt nach Angaben der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe bei dem halben Wert von Steinkohle [33] und somit etwa bei 13 bis 16 MJ je kg. Der Vorteil von Miscanthus gegenüber Schilf besteht darin, dass der Heizwert auch durch die oberirdisch angesiedelte Biomasse erreicht werden kann. Das bedeutet eine komplette Entfernung der Pflanzenträgermatten, wie bei Schilf ist nicht notwendig. Die Pflanzen müssten auch nicht neu gesetzt werden, da junge Triebe bei dem Chinaschilf aus dem Rhizom hervorgehen [32]. Das System Dernbach stellt aufgrund der ständigen Wasserzufuhr für Miscanthus einen ungünstigen Standort dar. Daher muss untersucht werden, ob eine intermittierende Beschickung der Anlage zu dem gewünschten Biomassezuwachs führen kann. Des Weiteren ist nicht geklärt, inwieweit das Chinaschilf die Nährstofffracht des zu reinigenden Abwassers auf die geforderten Einleitbedingungen reduzieren kann.

4.4 Zusammenfassung

Die Ermittlung der optimalen Pflanzenart ist von großer Bedeutung zur Abschätzung der Biomassenproduktion und damit zum möglichen Energiegewinn. Außerdem ist zu ermitteln, welche Pflanzen die meisten Nährstoffe aufnehmen kann und damit am optimalsten zur zusätzlichen Abwasserreinigung beitragen kann.

Das Schilfrohr wird heutzutage größtenteils zur Bepflanzung bewachsener Bodenfilter eingesetzt, was vermuten lässt, dass es zu den Pflanzen gehört, welche zu guten Reinigungsleistungen im Abwasser beitragen. Außerdem weißt bei entsprechender Trocknung einen hohen Heizwert, wodurch eine thermische Nutzung anzustreben ist.

Die Binsen und Seggen werden, ebenso wie das Schilfrohr, in vielen bewachsenen Bodenfiltern eingesetzt. Obwohl keine Angaben zu den Heizwerten dieser Pflanzenarten vorliegen, kann angenommen werden, dass sie unter denen von Schilf liegen, da weniger hölzernen Bestandteile (geringe Ligningehalte) vorliegen. Im Gegensatz dazu ist eine Vergärung in der Biogasanlage zu überlegen, da v.a. hohe Ligningehalte zu geringen Gasausbeuten führen.

Das Chinaschilf weißt, wie das Schilfrohr relativ hohe Heizwerte auf, wodurch sich ein Einsatz zur thermischen Nutzung anbietet. Allerdings bevorzugt Chinaschilf keine staunassen Böden. Durch den ständigen Wasserfilm des System Dernbach könnten Ertragseinbußen die Folge sein. Daher bleibt zu überlegen, ob eine intermittierende Beschickung der Anlage ein Wachstum des Chinaschilfs ermöglichen würde.

5 Verwertungsalternativen der gewonnenen Biomasse

Auf dem Betriebsgelände der LWG Schmerz bietet sich grundsätzlich die Möglichkeit einer thermischen Verwertung als auch eine Energiegewinnung durch Vergärung der Biomasse.

5.1 Thermische Nutzung

Zunächst werden einige feuerungstechnische Eigenschaften biogener Festbrennstoffen nach KALTSCHMITT und REINHARDT [34] aufgezählt und anschließend Verfahren zur thermischen Nutzung der Energieträger aufgezeigt.

5.1.1 Feuerungstechnische Eigenschaften

Die feuerungstechnischen Eigenschaften bestimmen im wesentlichen die Auslegung der Feuerung sowie den Verbrennungsvorgang.

Wassergehalt

Der Wassergehalt erntefrischer Biomasse kann erheblichen Schwankungen in Abhängigkeit der Kulturart, dem Erntezeitpunkt sowie den Witterungsbedingungen zwischen 10 und 75 % betragen. Der Wassergehalt hat einen direkten Einfluss auf den Heizwert der zu verwertenden Biomasse (je größer der Wassergehalt, desto geringer der Heizwert). Demzufolge ist die Verbrennungsqualität von den Schwankungen des Wassergehaltes abhängig.

Flüchtige Bestandteile

Der Anteil an flüchtigen Bestandteilen liegt mit ca. 75 bis 85% deutlich höher als bei fossilen Brennstoffen. Aus diesem Grund müssen die Feuerungsräume relativ groß dimensioniert werden, da die flüchtigen Bestandteile eine schnelle Zündung bewirken und daher eine langflammige Verbrennung notwendig ist.

Ascheanalyse und Ascheschmelzverhalten

Halmgüter weisen einen Aschegehalt von 3 bis 8 Gew. -% auf und liegt damit im Bereich von Steinkohle. Die Temperatur bei der die Ascheweichung auftritt begrenzt die Feuerraumtemperatur. Bei Halmgütern liegt der Schmelzbereich der Asche bei ca. 1.000 °C. Aus diesem Grund sollte bei der Verbrennung von Halmgütern die Feuerraumwandung sowie die Verbrennungsroste mit Wasser gekühlt werden.

Heizwert

Im allgemeinen liegt der Heizwert von Halmgütern (insbesondere für *Phragmites australis* [3] und *Miscanthus sinensis* [33]) unterhalb den Werten für Steinkohle, ist aber mit den Werten für Braunkohle zu vergleichen. Die Energiedichte innerhalb der biogenen Energieträger ist hingegen großen Schwankungen unterworfen. Dies resultiert aus den verschiedenen Materialdichten der Biomasse und den unterschiedlichen Schüttdichten (z.B. Hackschnitzel oder

Pellets). Durch die geringere Energiedichte müssen für die Biomassefestbrennstoffe im Vergleich zu fossilen Energieträgern zum einen größere Lagerräume und zum anderen größere Feuerungseinrichtungen dimensioniert werden, wenn die gleiche Wärmeleistung erreicht werden soll.

5.1.2 Systematik der Feuerung

Die nachfolgend aufgeführten Angaben zur thermischen Nutzung von Biomasse sind den Quellen [35] und [35] (siehe Quellenverzeichnis Seite 74) entnommen. Die Feuerungsanlagen zur Verbrennung biogener Feststoffe unterscheiden sich im Aufbau kaum von Anlagen zur Kohleverbrennung. Es wird bei der Brennstoffbeschickung zwischen handbeschickten und automatisch beschickten Feuerungen unterschieden.

Handbeschickte Anlagen sind manuelle beschickte Anlagen, die hauptsächlich in kleineren Maßstäben zum häuslichen Gebrauch eingesetzt werden. Für handbeschickte Anlagen sind insbesondere Stückgüter, v.a. Stückholz als Brennstoff relevant. Es wird unterschieden zwischen Zimmeröfen, Kaminöfen, Kachelöfen und Heizungsherde zur Mehrzwecknutzung. Handbeschickte Anlagen können auch als Zentralheizungen zur Brauch- und Heizungswassererwärmung eingesetzt werden. Neben den vorgestellten handbeschickten Feuerungsanlagen werden automatisch beschickte Feuerungsanlagen neben dem haushaltigen Einsatz auch in Kraftwerken zur überregionalen Stromerzeugung eingesetzt.

Anlagen für Feinhackschnitzel und Sägemehl können in Kleinanlagen mit einem Leistungsbereich bis 1 MW und in Anlagen mit einem Leistungsbereich von 0,3 bis 5 MW eingeteilt werden. Die erstgenannten Anlagen werden hauptsächlich in einzelnen Gebäuden eingesetzt. Während für Betriebe mit hohem Wärmebedarf und mit der Verfügbarkeit von Holzabfällen aus der Produktion Anlagen mit höherem Leistungsbereich in Frage kommen. Diese Anlagen zur Verbrennung von Grobhackschnitzeln und Holzscheiten werden in Durchbrandkessel, Oberbrandkessel und Unterbrandkessel bzw. Unterschubfeuerung eingeteilt. Die Unterscheidungsmerkmale sind hier: die Zuführung der Primärluft sowie einige Regelmechanismen. Die LWG Schmerz verfügt bereits über eine Hackschnitzelanlage, mit der die betriebseigenen Kuhställe beheizt werden. In den folgenden Ausführungen wird eine Zentralheizung zur Heizungswassererwärmung vorgestellt, wie sie in ähnlicher Form in der LWG Schmerz Anwendung findet.

Der Brennstoff muss für den Einsatz in Zentralheizungen als Schüttgut vorliegen. Gegenwärtig existieren einige Systeme mit aufgelösten Ballen oder Pellets, die als Brennstoff eingesetzt werden. Ein Vorteil der zu Pellets verarbeiteten Brennstoffe ist die relativ hohe Energiedichte. Im Gegensatz zu der Biomasse im gehäckselten Zustand zeichnen sie sich weiterhin durch eine bessere Dosierbarkeit und einem günstigerem Abbrandverhalten aus. Im allgemeinen treten bei der Verbrennung von halmgutartiger Biomasse erhebliche technische Probleme aufgrund des hohen Aschegehaltes, der Korrosionsgefahr sowie der sehr raschen Entflammung auf. Im Folgenden wird die Unterschubfeuerung beispielhaft für diesen Anlagentyp nach JONAS & GÖRTLER 1995 (entnommen aus [33]) beschrieben. Im unteren Leistungsbereich werden Unterschubfeuerungen für die Verbrennung von Feinhackschnitzeln angeboten (LGA 1995/, /BRUSCHE 1983 entnommen aus: [33]). Für einen optimalen

Verbrennungsprozess ist es notwendig die Hackschnitzel auf Wassergehalte von etwa 30% vorzutrocknen. Des Weiteren sollten die Feinhackschnitzel eine Kantenlänge von 1-3cm aufweisen um Funktionsstörungen in der Zuführung und Dosierung zu vermeiden. Neben den genannten Bedingungen ist weiterhin darauf zu achten unterschiedliche Brennstoffqualitäten zu vermeiden. Unterschiedliche Brennstoffeigenschaften führen aufgrund der geringen Mengen an zudosiertem Brennstoff zu stark schwankenden Verbrennungsbedingungen und somit zu erhöhten Emissionen. Die geerntete Biomasse wird nach erfolgter Trocknung über eine Dosierschnecke aus dem Lager ausgetragen und der Brennraummulde von unten zugeführt. Die Biomasse wird in Unterschubfeuerungen von oben nach unten verbrannt. Im oberen Bereich erfolgt die Zündung des Brennstoffes, so dass das nachrückende Brenngut aufgrund der Wärmerückstrahlung vorgetrocknet wird. Die entstehenden Pyrolysegase werden durch Primärluft von unten durch das Brenngut an die Oberfläche gedrückt. Die Sekundärluft, welche oberhalb der Brennmulde zugeführt wird sorgt für eine Verbrennung der Pyrolysegase in der nachfolgenden Brennkammer. Durch den nachströmenden Brennstoff wird die entstehende Asche automatisch in eine Auffangrinne geleitet, so dass sie abgeleitet werden kann. Die Beschickung von Unterschubfeuerungen erfolgt entweder in Abhängigkeit des Wärmebedarfs oder anhand der Regelgrößen Feuertemperatur bzw. CO_2 -Gehalt im Rauchgas. Auch wenn kein Wärmebedarf besteht, wird die Feuerung durch die Brennstoffförderung und die Luftzufuhr aufrechtgehalten. Somit kann bei konstanter Brennstoffqualität und den geringen Glut- und Brennstoffmengen im Feuerraum eine schadstoffarme Verbrennung erfolgen.

5.2 Kofermentation

Unter Kofermentation wird allgemein die Vergärung von Wirtschaftsdünger (wie z.B. Rinder oder Schweinegülle) mit organischen Abfällen verstanden (Monochargen) verstanden. Das in dem, bei der Vergärung entstehende, Biogas enthaltene Methan (CH_4) wird entweder in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verbrannt und durch einen Generator in elektrische Energie umgewandelt oder an einer Gasfackel abgebrannt. Für die Nutzung in einem BHKW muss das Biogas zuvor entschwefelt, d.h. von Schwefelwasserstoff (H_2S) befreit werden. In der betriebseigenen Biogasanlage der LWG Schmerz erfolgt neben der Vergärung der betriebseigenen Rinder- und Schweinegülle bereits die Kovergärung von Maissilage. Die Vergärung zusätzlicher organischer Substanzen ist vor allem deswegen sinnvoll, da die Nährstoffe nahezu erhalten bleiben und das C/N – Verhältnis optimiert wird [35]. Außerdem bleibt die humusbildende Wirkung des Düngers weitestgehend erhalten, da die Humusbildner während der Gärprozesse nach PERL [35] kaum abgebaut werden. Die folgenden Ausführungen zur Kofermentation sind der Quelle [36] (siehe Seite 74) entnommen. Kofermentationsanlagen bestehen nach TRÖSCH und WEILAND aus zwei getrennten Zuleitungssträngen für die zu vergärende organische Substanz. Die unterschiedlichen Konsistenzen und die in Kosubstraten möglicherweise enthaltenden Störstoffe bedingen einer speziellen Aufbereitungstechnik der Kosubstrate (z.B. Zerkleinerung, Sortierung oder Metallabscheidung). Nach OECHSNER und GOSCH eignen sich für die Kofermentation landwirtschaftliche Stoffe, die gezielt für eine

derartige Verwendung produziert werden. Dazu zählen z.B. Gras- oder Maissilage, Energiepflanzen sowie, wie beispielsweise bei der LWG Schmerz Schilfrohr. Hinsichtlich der Inhaltsstoffe der Co-Substrate ist zu beachten, dass der Gehalt an Pflanzennährstoffen (Gesamtstickstoff, Phosphat und Kalium) eine direkte Auswirkung auf die Verwendung des ausgefaulten Substrates als Dünger hat. Die genannten Inhaltsstoffe aber auch von den Pflanzen aufgenommene Schwermetalle werden während der Gärprozesse nicht abgebaut, so dass der Nährstoffgehalt während der Düngungsplanung zu berücksichtigen ist. Des Weiteren enthält vor allem halmgutartige Biomasse wie Schilfrohr geringe Mengen an schwer abbaubaren organischen Substanzen, wie z.B. Lignin. Aus diesem Grund ist eine Zugabe dieser Materialien nur in geringem Maße zu empfehlen, da von ihnen geringe Gasausbeuten, bei einer zusätzlichen Belastung des Faulraums zu erwarten sind.

5.3 Zusammenfassung

Grundsätzlich gibt es für die LWG Schmerz zwei Varianten die geerntete Biomasse zu verwerten. Zum einen kann die Biomasse des System Dernbach zusammen mit anderen Hackschnitzeln thermisch verwertet werden. Zum anderen bietet sich die Möglichkeit der Vergärung als Kosubstrat in der betriebseigenen Biogasanlage.

Die feuerungstechnischen Eigenschaften der Biomasse werden vor allem durch den Wassergehalt beeinflusst. Je größer der Wassergehalt, desto geringer ist der Heizwert und desto ungünstiger sind demzufolge die Verbrennungsleistungen. Der Wassergehalt der geernteten Biomasse ist jedoch stark abhängig von dem Erntezeitpunkt [32]. Bei Chinaschilf kann er zwischen 15 und 45% schwanken. Auch der Aschegehalt, welcher die feuerungstechnischen Eigenschaften beeinflusst, ist von dem Erntezeitpunkt abhängig. Es wird angenommen, dass ähnliche Angaben bezüglich der Abhängigkeit des Wasser- und Aschegehaltes vom Erntezeitpunkt auch für das Schilfrohr und die übrigen Repositionspflanzen gelten. Für einen optimalen Verbrennungsprozess sollten die Brennstoffe auf Wassergehalte von etwa 30% ausgetrocknet werden. Demzufolge muss untersucht werden, ob eine Trockenlagerung der Biomasse dem eigentlichen Brennvorgang vorgeschaltet werden muss oder ob die gewünschten Wassergehalte, wie angegeben durch entsprechende Erntezeitpunkte gewährleistet werden können.

Bei der Kovergärung der gewonnen Biomasse ist vor allem darauf zu achten, dass die strukturbildenden Inhaltsstoffe der halmgutartigen Biomasse nur schwer vergärt werden können, bzw. den Fermenterinhalt zusätzlich belasten. Außerdem werden die von den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffe, wie Stickstoff oder Phosphor durch den Gärprozess nicht abgebaut, sondern verbleiben im Gärsubstrat. Neben den Pflanzennährstoffen gelangen auch von der Biomasse gegebenenfalls aufgenommene Schwermetalle in das Gärsubstrat. Aus diesen genannten Gründen ist eine Aufbringung des Gärrestes zur Düngung besonders zu beachten.

6 Dimensionierung der neu zu verlegenden Abwasserkanäle und Nachrechnung der vorhandenen Biogasanlage

Im folgenden Kapitel werden die neu zu verlegenden Mischabwasserrohre dimensioniert. Des weiteren erfolgt eine Überschlagsrechnung zur Auslegung des Wasserspeichers mit Hilfe der Ansätze zur Bemessung von Regenrückhalteräumen. Außerdem wird ermittelt ob die vorhandene Biogasanlage die Kapazität besitzt die produzierte Biomasse aufzunehmen und zu vergären.

6.1 Dimensionierung der neu zu verlegenden Abwasserkanäle

Die nachstehenden Ausführungen sind auf der Grundlage der Seminarunterlagen zur Abwasserleitung des Lehrstuhls Siedlungswasserwirtschaft erarbeitet worden [37]. Es handelt sich hierbei um zwei Mischwasserkanäle und einen Schmutzwasserkanal. Abbildung 6.1 zeigt einen Ausschnitt des Betriebsgeländes der LWG Schmerz, auf dem die für die alternative Abwasserbehandlung zu verlegenden Kanäle abgebildet sind.

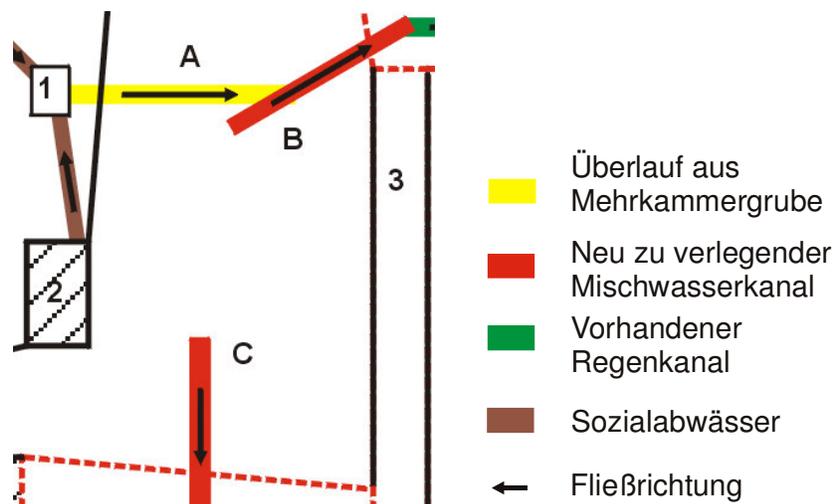


Abbildung 6.1: Ausschnitt des Betriebsgeländes: 1-Mehrkammergrube; 2-Dusch- und WC – Räume; 3-Gärrestbehälter.

Bei der Dimensionierung der Abwasserkanäle ist darauf zu achten, sowohl den maximalen Trockenwetterabflusses $Q_{T,h,max}$ als auch die maximal abzuleitende Regenwassermenge $Q_{R,max}$ zu berücksichtigen. Der Gesamtabfluss im Mischwasserkanal $Q_{ges,max}$ berechnet sich folgendermaßen:

$$Q_{ges,max} = Q_{H,h,max} + Q_{R,max} \quad \text{Gleichung 6.1}$$

Der stündlich maximal anfallende Trockenwetterabfluss ist im konkreten Fall den entsprechenden häuslichen Abwassermengen gleichzusetzen. Der Fremdwasserzufluss wird aufgrund der geringen Rohrlänge vernachlässigt, der gewerbliche Abwasseranfall kann ebenfalls vernachlässigt werden. Somit ist $Q_{ges,max}$ im vorliegenden Fall folgendermaßen charakterisiert.

$$Q_{\text{ges,max}} = Q_{\text{T,h,max}} + Q_{\text{R,max}}$$

Gleichung 6.2

Der maximale stündliche Abfluss des häuslichen Schmutzwassers kann bei fehlenden Messdaten durch den Wert $x_{Q_{\text{max}}}$ abgeschätzt werden. Dieser Divisor wird im vorliegenden Fall, entsprechend Abbildung 6.2, mit $x_{Q_{\text{max}}} = 8$ angenommen:

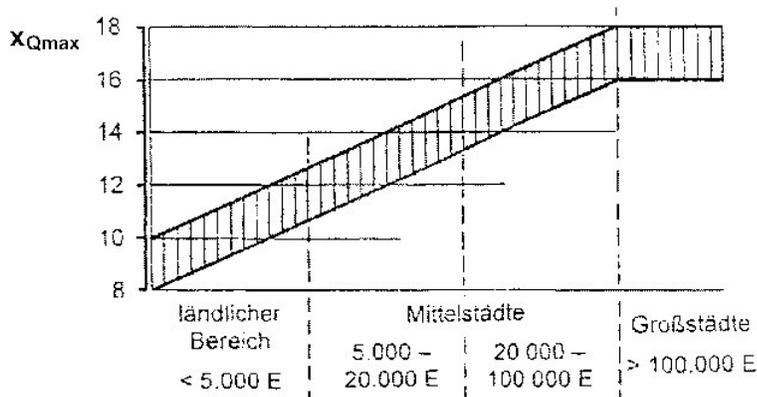


Abbildung 6.2: $x_{Q_{\text{max}}}$ zur Ermittlung der maximal stündlichen Schmutzwassermenge (im vorliegenden Fall für die maximal stündliche häusliche Schmutzwassermenge) [37].

Somit ist der stündliche häusliche Schmutzwasserabfluss $Q_{\text{H,h,max}}$ wie folgt aus dem mittleren Jahresanfall des häuslichen Schmutzwassers $Q_{\text{H,a,M}}$, welcher von der Einwohnerzahl EZ sowie dem spezifischen Schmutzwasseranfall $w_{\text{s,d}}$ abhängig ist, zu berechnen:

$$Q_{\text{H,h,max}} = \frac{24 \cdot Q_{\text{H,a,M}}}{x_{Q_{\text{max}}}} \quad \text{mit} \quad Q_{\text{H,a,M}} = \frac{\text{EZ} \cdot w_{\text{s,d}}}{86.400} \quad \text{Gleichung 6.3}$$

Zur Ermittlung von $Q_{\text{H,a,M}}$ wird für den spezifischen Schmutzwasseranfall $w_{\text{s,d}}$ der spezifische Trinkwasserverbrauch gleichgesetzt. Dieser Wert liegt dem Bearbeiter nicht vor. Daher kann ein weiterer Algorithmus zur Ermittlung von $Q_{\text{H,h,max}}$ angewendet werden. Es gibt Angaben, mit denen für spezielle Betriebe die Einwohnergleichwerte je Beschäftigte abgeschätzt werden können (Bemessungsgrundlage für Einwohnergleichwerte). Demnach ist für landwirtschaftliche Betriebe ein Einwohnergleichwert für drei Beschäftigten anzusetzen. Mit Hilfe des maximalen Schmutzwasserabflusses $q_{\text{H,max}} = 0,004 \text{ l/(s} \cdot \text{EGW)}$ kann der maximale stündliche Schmutzwasseranfall abgeschätzt werden. Für zwölf Beschäftigte (Mehrkammergrubenabfluss im Kanal A) ergeben sich vier Einwohnergleichwerte, so dass $Q_{\text{H,h,max}}$ folgenden Wert annimmt:

$$Q_{\text{H,h,max}} = q_{\text{H,max}} \cdot \text{EGW} = 0,004 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{EGW}} \cdot 4 \text{EGW} = 0,016 \frac{\text{l}}{\text{s}} \quad \text{Gleichung 6.4}$$

Für den zweiten Ablauf aus der Mehrkammergrube (siehe Abbildung 2.6 Seite 23) ergibt sich bei zehn angeschlossenen Personen, entsprechend der maximalen Schmutzwasserabflussspende, ein $Q_{\text{H,h,max}}$ von etwa 0,01 l/s.

Für den maximalen Gesamtabfluss $Q_{ges,max}$ wird anschließend der maximale Regenabfluss ermittelt. Der maximale Regenabfluss kann mit folgender Formel aus der kanalisierten Fläche $A_{E,k}$, dem Spitzenabflussbeiwert ψ_S sowie der Regenspende nach KOSTRA nach dem KOSTRA – Verfahren ermittelt werden.

$$Q_{R,max} = r_{(D,n)} \cdot \psi_S \cdot A_{E,k} \quad \text{Gleichung 6.5}$$

Für die Regenspenden wurde der Hochwert 46 und der Tiefwert 56 des KOSTRA Atlases für den Bereich Schmerz angenommen. Die genauen Daten der Regenspende für verschiedenen Zeiträume und Häufigkeiten der Niederschläge sind dem Anhang zu entnehmen.

Entsprechend der DIN EN 752 wird die Häufigkeit des Bemessungsregens angegeben, die für die Anwendung des Fließzeitverhaltens gilt. Für ländliche Gebiete tritt die Überflutungshäufigkeit, entsprechend der genannten Norm, einmal in zehn Jahren auf, so dass die Häufigkeit des Bemessungsregens mit $n = 1$ gewählt wird. Für die Dauerstufe D gilt entsprechend dem ATV – Regelwerk – A 118 von 1999, bei einer mittleren Geländeneigung unter 1% sowie einem Befestigungsgrad über 50% eine maßgebende kürzeste Regendauer von $D = 10\text{min}$. Somit ist die Regenspende $r_{(10;1)}$ maßgebend. Der Spitzenabflussbeiwert ψ_S wird, ebenfalls entsprechend ATV – A 118 von 1999 in Abhängigkeit des mittleren Sohlgefälles, des Befestigungsgrades sowie der Regenspende nach KOSTRA für $D = 15\text{min}$ und $n = 1$ ($\rightarrow r_{(15;1)}$) ermittelt. Der Befestigungsgrad des Betriebsgeländes der LWG Schmerz beträgt 88%. Er wird aus dem Verhältnis der befestigten Fläche zur Gesamtfläche bestimmt. Für einen Befestigungsgrad von 88%, einer Regenspende von $r_{(15;1)} = 105,6 \frac{l}{s \cdot ha}$, einem Befestigungsgrad kleiner 1% ergibt sich ein Spitzenabflussbeiwert von $\psi_S = 0,81$. Die kanalisierte Fläche des Kanals B $A_{E,k,B}$ umfasst den Bereich der Einfahrt des Betriebsgeländes bis zu dem Sanitärgebäude ($A_{E,k,B} \sim 600\text{m}^2$). Somit kann der maximale Regenabfluss berechnet werden.

$$Q_{R,max} = 137,2 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 0,81 \cdot 0,06\text{ha} \sim 6,7 \frac{l}{s} \quad \text{Gleichung 6.6}$$

Der gesamte maximale Abfluss beträgt im Rohrabschnitt, entsprechend Gleichung 6.4 sowie Gleichung 6.6:

$$Q_{ges,max} = 6,7 \frac{l}{s} + 0,016 \frac{l}{s} \sim 6,7 \frac{l}{s} \quad \text{Gleichung 6.7}$$

Für den Kanal C (siehe Abbildung 6.1 Seite 54) ergibt sich bei einer kanalisierten Fläche von etwa 2.000m^2 ein maximaler Gesamtabfluss von $Q_{ges,max} \sim 22\text{l/s}$.

6.1.1 Kanal A - häusliches Schmutzwasser

Der Kanal A (siehe Abbildung 6.1 Seite 54) wird als Hausanschlussleitung eingestuft. Nach den Angaben von HOSANG & BISCHOF von 1998 beträgt das günstigste Sohlgefälle für Hausanschlussleitungen 20 Promille. Entsprechend den Dimensionierungstabellen für Ab-

wasserleitungen des genannten Seminars [37] ergibt sich für einen Rohrbeiwert von $k_b = 0,75$, einem Sohlgefälle von 20 Promille sowie einem $Q_{H,h,max}$ von etwa 0,02 Litern pro Sekunde (siehe Gleichung 6.5) ein Rohrquerschnitt von DN 100. Laut der ATV A 110 (für Grundstücksentwässerung) gelten in diesem Fall keine Mindestfließgeschwindigkeiten, es muss lediglich das Mindestsohlgefälle im Verhältnis von 1:DN eingehalten werden. In diesem Fall beträgt das Mindestsohlgefälle $J_{s,min}$:

$$J_{s,min} = \frac{1}{DN} = \frac{1}{100} = 0,01 = 10 \text{ Promille} \quad \text{Gleichung 6.8}$$

Demnach sind die Forderungen des ATV - A 110 eingehalten.

6.1.2 Kanal B

Bei Kanal B müssen nicht die vorgeschlagenen Mindestrohrquerschnitte für Mischwasserkanäle von DN 300 eingehalten werden. Der Abwasserkanal wird wie eine Hausanschlussleitung bemessen, da das gesamte Abwasser nicht an ein öffentliches Kanalnetz angeschlossen wird. Des weiteren wäre bei einem Rohrquerschnitt von DN 300 das Verhältnis der möglichen Vollfüllung des Rohres zu zur Teilfüllung kleiner als 60 % und daher als unwirtschaftlich einzustufen. $Q_{ges,max}$ des Mischwasserkanals B beträgt etwa 7 l/s (siehe Gleichung 6.7). Bei einem Sohlgefälle von 20 Promille sowie einem k_b Wert von 0,75 ergibt sich wiederum ein Rohrquerschnitt von DN 100. Auch hier wird das Mindestsohlgefälle entsprechend ATV – A 110. eingehalten.

6.1.3 Kanal C

Kanal C hat ein maximalen Regenwetterabfluss von $Q_{ges,max} = Q_{R,max} = 22,37$ l/s. Auch hier wird das günstigste Gefälle von 20 Promille sowie ein Rauigkeitsbeiwert von $k_b = 0,75$ angesetzt. Somit ergibt sich ein Rohrquerschnitt von DN 150. Ebenso wie bei den Kanälen A und B wird auch hier das Mindestgefälle, von, in diesem Fall 7 Promille, eingehalten.

6.2 Nachrechnung der vorhandenen Biogasanlage

Derzeitig gelangt Rindergülle der betriebseigenen Milchkühe sowie Schweinegülle eines anderen Standortes des Betriebes in die vorhandene Biogasanlage der LWG Schmerz. Außerdem wird neben den genannten Wirtschaftsdüngern zur Kofermentation Maissilage verwendet. Die Biogasanlage besteht aus zwei Fermentern (Haupt- und Nachvergärung) mit einer Gesamtkapazität von $V = 2.000\text{m}^3$. Die folgenden Berechnung zeigt die derzeitige Auslastung der Anlage, so dass grob abschätzbar ist, inwieweit zusätzliche Biomasse zur Vergärung aufgenommen werden kann. Die Berechnungsansätze sowie die Gasproduktionen des Input Materials wurden dem Leitfaden zum Bau einer Biogasanlage der Fachhochschule Münster entnommen [38]. Das erforderliche Fermentervolumen V_{erf} wird überschlägig als Produkt des täglichen Gülleanfalls V_G zusammen mit der täglichen Kosubstratmenge V_K und der mittleren Verweilzeit t_m nach folgender Formel bestimmt:

$$V_{\text{erf}} = (V_G + V_K) \cdot t_m$$

Gleichung 6.9

Die tägliche Gülleanfall setzt sich aus 440 Großvieheinheiten (GV) vom Rind und 160 GV vom Mastschwein zusammen. Entsprechend Quelle [38] beträgt der tägliche Gülleanfall bei Milchkühen $V_{G,d,M} = 0,055\text{m}^3$ und bei Schweinen $V_{G,d,S} = 0,0045\text{m}^3$. Die Biogasanlage wird täglich mit einer Silomaismenge von etwa $V_K \sim 10\text{m}^3$ beschickt. Die mittlere Verweilzeit werden Werte zwischen 20 und 40 Tagen angesetzt, allerdings hat sich eine Verweilzeit von etwa 35 Tagen in der Praxis durchgesetzt. Das erforderliche Fermentervolumen V_{erf} berechnet sich folgendermaßen:

$$V_{\text{erf}} = ((440 \cdot V_{G,d,M} + 160 \cdot V_{G,d,S}) + V_K) \cdot t_m$$

$$V_{\text{erf}} = \left((440 \cdot 0,055 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 160 \cdot 0,0045 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}) + 10 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \cdot 35\text{d}$$

Gleichung 6.10

$$V_{\text{erf}} \sim 1.200\text{m}^3$$

Das erforderliche Volumen für die Beschickung der Fermenter mit zusätzliche Kosubstraten kann im Folgenden nur abgeschätzt werden, da keine genauen Angaben für die prognostizierten Biomasseerträge vorliegen. Das erforderliche Volumen der Fermenter zur ausschließlichen Vergärung der Wirtschaftsdünger beträgt etwa 900m^3 . Das bedeutet durch den zusätzlichen Eintrag von Maissilage erfolgt eine Mehrbelastung des Fermentervolumens von 15%. Die Gesamtauslastung mit $V_{\text{erf}} \sim 1.200\text{m}^3$ beträgt 60%. Es wird daher angenommen, dass hinsichtlich der Kapazität der Fermenter die Biomasse aufgenommen werden kann. Aufgrund der nicht bekannten Biomassezuwachsrate, ist nicht möglich auf den möglichen Gasertrag der Biomasse zu schließen. Der zugeführte Silomais liefert bei einem durchschnittlichen Gasertrag von 210m^3 pro Tonne einen täglichen Biogasertrag von etwa 1.600m^3 Biogas (Dichte von Silomais $\sim 0,78 \text{m}^3/\text{t}$). Im Verhältnis zu den Biogaserträgen der Wirtschaftsdünger sind das etwa 70%. KUHN (entnommen aus [36]) gibt für landwirtschaftliche Abfälle (wie Getreidestroh, Maisstroh, Rübenblatt oder Laub) Anhaltswerte für Biogasausbeuten an, welche im Vergleich zu Wirtschaftsdünger circa 40% höher ausfallen. Es kann angenommen werden, dass die Biogasausbeuten für die zu vergärende Biomasse in ähnlicher Weise über der von Wirtschaftsdünger liegt. Demzufolge ist nicht sichergestellt, ob der vorhandene Gasspeicher der Biogasanlage für die Gasproduktion ausreichend ist. Unter Umständen müsste ein zweiter Motor in dem BHKW eingebaut werden um die zusätzlich anfallende Gasmenge zu verbrennen. Außerdem könnte bei Wartungsarbeiten an einen der beiden Motoren die Gasverbrennung aufrechtgehalten werden.

6.3 Zusammenfassung

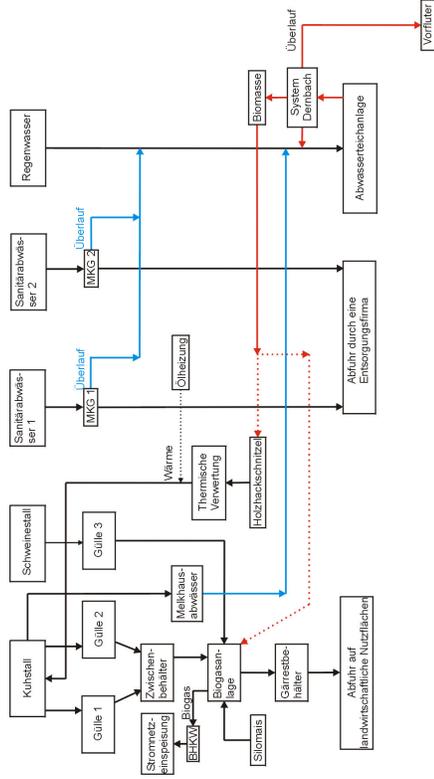
Die Dimensionierung der neu zu verlegenden Abwasserkanäle ist entsprechend den allgemeinen Richtlinien vorgegeben (ATV – A 110). Daher ist eine Auslegung der Abwasserkanäle durchführbar. Die Nachrechnung der Biogasanlage bezüglich der Aufnahmefähigkeit zusätzlicher organischer Reststoffe kann nur bedingt erfolgen. Entsprechend den Anhaltswerten

ten der angegebenen Quelle [38] ist der IST Zustand der Biogasanlage hinsichtlich der Restkapazitäten zu ermitteln. Bei einer derzeitigen Fermenterauslastung von etwa 60% wird angenommen, dass die Repositionspflanzen des naturnahen Abwasserbehandlungssystems in die Vergärungsanlage eingebracht werden können. Allerdings ist die zusätzliche Biogasproduktion völlig ungeklärt. Es müsste in Teilversuchen zunächst festgestellt werden, ob der Gasspeicher der vorhandenen Biogasanlage die Kapazität für zusätzliche Biogasanreicherungen besitzt. Eventuelle müsste ein zweiter Motor in dem BHKW installiert werden um die anfallenden Gaserträge zu verbrennen. Eine Verbrennung der Gaserträge an einer Gasfackel liegt sicher nicht im Interesse der LWG Schmerz, da mit dieser Verwertung kein Energiegewinn erzielt werden kann.

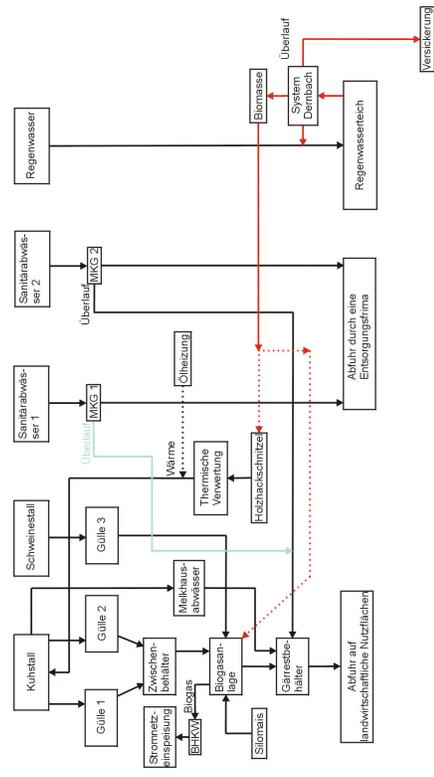
7 Vergleich der Varianten

In der Zusammenfassung des Abschnittes 2 Seite 30 wurden die Varianten 3, 4, 5 und 7 als gesetzlichen mögliche Alternativen gegenüber den restlichen Versionen der Abwasser- und Reststoffentsorgung hervorgehoben. Abbildung 7.1 auf der nächsten Seite veranschaulicht die vier genannten Alternativen, welche in größeren Formaten auf den Seiten 24, 26, 27 sowie 29 zu sehen sind. In den folgenden Ausführungen werden die Varianten hinsichtlich Materialaufwand, Reinigungsleistung, möglichem Biomasseertrag sowie Reststoffentsorgung verglichen.

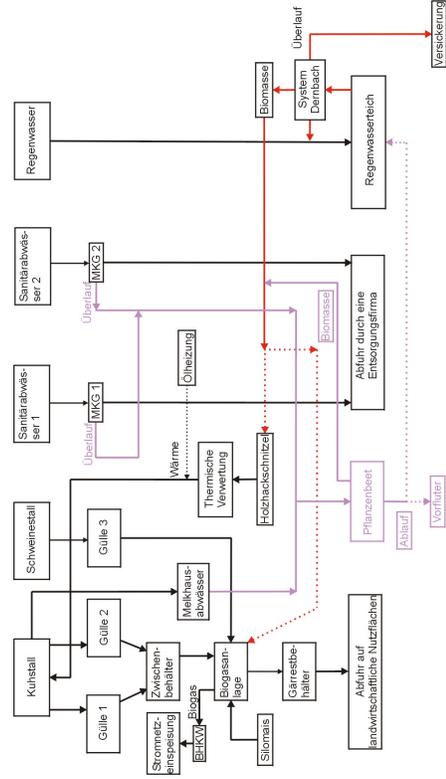
V A R I A N T E 3



V A R I A N T E 5



V A R I A N T E 4



V A R I A N T E 7

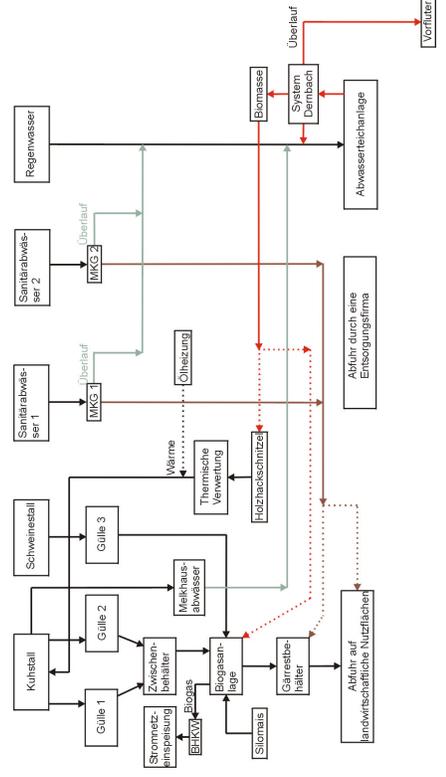


Abbildung 7.1: Darstellung der möglichen Varianten der Abwasser- und Reststoffentsorgung der LWG Schmerz.

7.1 Materialaufwand

Bei Variante 5 ist der Materialaufwand im Vergleich zu allen anderen Varianten am geringsten. Denn nur in diesem Fall wird das System Dernbach bzw. der vorgeschaltete Teich ausschließlich mit Regenwasser beschickt. Da derzeit die anfallenden Niederschläge in einen Versickerungsteich gelangen, muss folglich kein weiterer Kanal für das Regenwasser verlegt werden. Der Teich für das Regenwasser muss soweit abgedichtet sein, dass eine ständige Rezirkulation des Regenwassers über die Pflanzenträgermatten gewährleistet ist, da die Repositionspflanzen ständig mit Wasser versorgt werden müssen, um nicht zu vertrocknen. Des Weiteren ist ein Kanal für den Überlauf der Sozialabwässer 2 zu dem Gärrestbehälter zu verlegen, da Sozialabwässer nicht in der Biogasanlage mitvergärt werden dürfen.

Der größte Materialaufwand ist wahrscheinlich bei der Umsetzung der 4. Variante zu betreiben. Neben einem Pflanzenbeet, welches vorzugsweise ebenfalls auf der naheliegenden landwirtschaftlichen Nutzfläche installiert wird, sind die zuführenden Abwasserleitungen der Melkhaus- und Sozialabwässer zu verlegen. Der Ablauf des Pflanzenbeetes wird entweder in separaten Kanälen dem Vorfluter zugeführt oder in den Abwasserteich geleitet. Der Inhalt des Abwasserteiches gelangt auf die Pflanzenträgermatten des System Dernbach und von dort in den Vorfluter.

Werden die Alternativen 3 und 7 mit einander verglichen, so fällt auf, dass die Anzahl der neu zu verlegenden Kanäle die gleiche ist. In diesen Abwasserrohren sollen die Überläufe der Mehrkammergruben sowie Melkhausabwässer zusammen mit dem Regenwasser in einem Mischwasserkanal in den Abwasserteich geleitet werden. Der Unterschied beider Varianten besteht in der Entsorgung der Klärschlämme sowie der Sozialabwässer. Während sie bei Variante 3 von einer Entsorgungsfirma abgefahren werden, gelang die Klärschlämme bei der 7. Variante entweder direkt oder zusammen mit dem Gärrest zur Düngung auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen.

7.2 Reinigungsleistung

Hinsichtlich der Reinigungsleistung sind nur bedingt Aussagen möglich. In der Beschreibung der Vorflutersituation ist darauf eingegangen worden, dass eine Beschränkung der Phosphat- und Stickstoffkonzentrationen bei der Einleitung zu beachten ist. Die Eliminierung von Phosphor ist bei naturnahen Verfahren ohnehin nur in begrenztem Maße zu praktizieren. In Pflanzenbeeten ist die gezielte Eliminierung in dem bewachsenen Bodenfilter selbst relativ schwierig. Stattdessen werden in der Praxis spezielle Beete mit Gehalt an Eisen und Aluminium den Bodenfiltern nachgeschaltet [39]. Eine Phosphorentfernung in Abwasserteichanlagen ist durch die Zugabe spezieller Fällmittel möglich.

Eventuell sollte zur Eindämmung der Phosphatkonzentrationen ein alternatives Reinigungsmittel als Spülmittel in der automatischen Melkanlage eingesetzt werden.

Die Stickstoffeliminierung ist aufgrund der geringeren Konzentrationen weniger bedenklich. Vor allem im Mischungsverhältnis mit Regenwasser sollte in einem, nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik bemessenen, Abwasserteich eine ausreichende Stickstoffeli-

minierung erfolgen (Varianten 3 und 7). Auch Pflanzenbeete eignen sich zur Stickstoffeliminierung. Durch die gegebenen Bedingungen finden im Bodenfilter Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse statt, so entsteht elementarer Stickstoff, welcher von den Pflanzen aufgenommen werden kann (Variante 4).

Der Abbau der organischen Inhaltsstoffe des Abwassers (BSB_5 sowie CSB) sollte, nachdem die Abwasserbehandlungsanlagen entsprechend den geltenden Richtlinien bemessen worden, problemlos erfolgen.

Abwasserteichanlagen und Pflanzenbete können auch in Kombination zur gemeinsamen Entfernung von Phosphor- und Stickstoff eingesetzt werden. Die "cleaner production germany" gibt auf einer Internetpräsenz [40] ein kombiniertes Verfahren an. Demnach kann zunächst eine Eliminierung der organischen Belastungen im ersten Abwasserteich erfolgen. In dem nachgeschalteten Pflanzenbeet finden dann Nitrifikationsprozesse und Phosphoreliminierungen statt, während in einem anschließenden zweiten Abwasserteich die Denitrifikation erfolgt.

Es ist zu überlegen, ob für den Abbau der organischen Belastungen nicht ein entsprechend dimensioniertes Pflanzenbeet ausreichend ist. Somit könnten, entsprechend Variante 4 der Abbau von CSB und BSB_5 in dem Pflanzenbeet zusammen mit einer Nitrifikation erfolgen. Während anschließend in dem Abwasserteich Denitrifikationsprozesse ablaufen. Zur Phosphatelimination können darüber hinaus Fällmittel in dem Abwasserteich eingesetzt werden. Neben den Reinigungsleistungen in dem Pflanzenbeet und dem Abwasserteich, werden die Konzentrationen zur Charakterisierung der Abwässer (BSB_5 , CSB, TKN, Pges) im System Dernbach wahrscheinlich ebenfalls herabgesetzt. Allerdings liegen dafür keinerlei Untersuchungen vor.

7.3 Biomasseertrag

Der Biomasseertrag bezieht sich hauptsächlich auf das System Dernbach, da dies weitestgehend wegen gezielter Biomassenproduktion eingesetzt werden soll. Entsprechend den Aussagen Dernbachs vom 20.09.2004 ist die Biomassenproduktion der Repositionspflanzen direkt proportional zu dem organischen Input auf die Pflanzenträgermatten. Wenn von dieser Aussage ausgegangen wird, ist bei den Varianten 3, 4 und 7 eine höhere Biomassenproduktion als bei Variante 5 zu erwarten. Der Input besteht bei Varianten 3 und 7 aus den Überläufen beider Mehrkammerausfallgruben sowie den Melkhausabwässern, welche durch die Abwasserteichanlage in ihren organischen Frachten reduziert worden. In Variante 4 gelangen die eben genannten Abwässer in einen bewachsenen Bodenfilter und werden anschließend, hinsichtlich der organischen Fracht, vermutlich die gleichen Werte, wie die in der Abwasserteichanlage behandelten Abwässer annehmen. Diese Aussage lässt sich damit begründen, dass sowohl das Pflanzenbeet als auch die Abwasserteichanlage entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik bemessen sind. Daher wird angenommen, dass die Ablaufwerte beider Verfahren annähernd gleich sind. Die Biomassenertrag wird bei Variante 4 vermutlich geringere Werte als bei den Varianten 3 und 7 annehmen. Die auf dem Pflanzenbeet wachsende Biomasse kann nur oberflächlich geerntet werden. Das

bedeutet, dass gesamte Wurzelsystem, welches, zum Beispiel bei der Schilfpflanze, für hohe Heizwerte sorgt, verbleibt im Bodenfilter und kann nicht zur energetischen Verwertung genutzt werden.

Der Biomasseertrag der Variante 5 ist bei Annahme der gleichen Bedingungen bezüglich der Biomassenproduktion in Abhängigkeit des organischen Inputs geringer.

Im allgemeinen können für die Biomassenproduktion nur die qualitativen Vermutungen angestellt werden. Eine Möglichkeit zur quantitativen Beurteilungsweise gibt es aufgrund fehlender Informationen bezüglich der eingesetzten Pflanzenarten nicht. Um die Biomassenproduktion abschätzen zu können, sind Kenntnisse der Nährstoffaufnahmefähigkeit der einzusetzenden Pflanzenarten, wie sie in Kapitel 4 Seite 47 angegeben werden, notwendig. Um eine Stoffbilanz aufzustellen, muss zum Beispiel bekannt sein, wie viel Stickstoff, Phosphor oder Wasser eine bestimmte Pflanze aufnimmt und in welcher Größenordnung diese aufgenommenen Stoffe in Biomasse umgesetzt werden. Anschließend können bei den bekannten Inputmengen der verschiedenen Abwasserströme die jeweiligen Biomassenproduktionen quantitativ ermittelt werden.

Diese Daten liegen dem Bearbeiter nicht vor. Auf der Quellensuche stieß der Autor lediglich auf Informationen zur Nährstoffaufnahme landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Eine Erforschung der Nährstoffaufnahme der für die Biomassenproduktion einzusetzenden Repositionspflanzen liegen, nach Kenntnisstand des Autors sowie den befragten Quellen, nicht vor.

7.4 Reststoffentsorgung

Die Verwertung der anfallenden Biomasse des System Dernbach bzw. des Pflanzenbeetes kann auf zwei Arten erfolgen. Es bietet sich für alle vier Varianten die Möglichkeit einer thermischen Verwertung in einer Feuerungsanlage für Hackschnitzel, als auch die Vergärung der Biomasse.

Für die Reststoffentsorgung der Klärschlämme der Mehrkammergruben ergeben sich in den Varianten 3,4,5 und 7 zwei Möglichkeiten. Zum einen können die Klärschlämme von einer spezialisierten Firma zur Entleerung von Mehrkammergruben u.ä. abgefahren werden. Zum anderen bietet sich die Möglichkeit die Klärschlämme als Dünger auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufzutragen. Die zweite Variante ist für die LWG Schmerz die ökologisch sinnvollere Alternative. Durch die Klärschlämme werden zusätzliche Dünger auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen getragen, welche zu Ertragssteigerungen führen. Allerdings ist in diesem Fall zu beachten, dass, entsprechend der Klärschlammverordnung, sowohl Bodenuntersuchungen als auch Untersuchungen des Klärschlammes von der LWG Schmerz durchgeführt werden müssen. Demzufolge sind ein möglicher Erntezuwachs durch die Aufbringung des Klärschlammes mit den damit verbundenen Kosten zu vergleichen.

Neben der Entsorgung bzw. Verwertung der Biomasse sowie der Klärschlämme ist bei Variante 4 die Entsorgung des Filterbodens des Pflanzenbeetes zu beachten. In der Kiesschicht des Pflanzenbeetes kommt es im Laufe der Betriebsphase zur Ansammlung des biologischen Überschussschlammes sowie des abgesetzten Phosphors. Es ist nicht genau geklärt nach welchen Zeiträumen der Filterboden geräumt werden muss. In verschiedenen Fachbei-

trägen sind unterschiedliche Angaben hinsichtlich der Funktionstüchtigkeit von Pflanzenkläranlagen zu finden. Allerdings schwanken diese Werte in einem Bereich von 10 bis 15 Jahren. Definitiv wird erwähnt, dass die Laufzeit einer Pflanzenkläranlage endlich ist und damit der Filterboden entsorgt werden muss. Vermutlich wird dieses Material als Sondermüll behandelt und muss auf spezielle Art entsorgt werden.

7.5 Empfehlung einer Vorzugsvariante

Aufgrund der fehlenden Daten zur quantitativen Biomassenproduktion ist es relativ schwierig eine der in Frage kommenden Möglichkeiten zur Abwasserbehandlung als Vorzugsvariante festzulegen. Mit genauen Informationen zur Nährstoffaufnahme könnte daraus die Biomassenproduktion abgeleitet werden. Wenn daraufhin Daten zu den Heizwerten oder Biogasausbeuten der entsprechenden Repositionspflanzen vorlägen, würde die Möglichkeit bestehen den effektiven Energiegewinn einer jeweiligen Variante zu bestimmen. Ist der Energiegewinn bekannt, kann dieser anschließend in einer Kostenvergleichsrechnung mit den Investitions- und Betriebskosten verglichen werden. Somit bestünde die Möglichkeit effektiver Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der einzelnen Varianten. Damit kann anschließend eine eindeutige Aussage zu der am ökonomisch sinnvollsten Lösung für die Biomassenproduktion aus den Abwasserströmen der LWG Schmerz getroffen werden.

Die folgende Übersicht zeigt einen Vergleich der Varianten hinsichtlich der produzierbaren Biomasse sowie der Reinigungsleistung, neben der Klärschlamm Entsorgung bzw. -verwertung und dem Materialaufwand. Wie bereits erwähnt, können diese Angaben nur Vermutungen in qualitativer Art sein. Der Materialaufwand und die dadurch entstehenden Kosten können nur schwer quantitativ abgeschätzt werden. Die Unkosten welche für die zu verlegenden Abwasserleitungen, das Pflanzenbeet oder den Abwasserteich anfallen, sind bestimmbar. Allerdings sind die Kosten für das System Dernbach nicht abzuschätzen, da dem Bearbeiter keine Daten von dem Erfinder Dernbach vorliegen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Materialaufwand für das System in allen Varianten gleich groß ist. Denn das System aus Pflanzenträgermatten wird in jedem Fall dem Abwasser- oder Regenteich nachgeschaltet und mit den gleichen Mengen an Abwasser beschickt. Daher wird unter dem Materialaufwand nicht das für das System Dernbach notwendige Material verstanden. Allerdings könnten die Kosten für die Materialien mit steigender Biomassenproduktion steigen, da die Verwertung der Biomasse zusammen mit den Pflanzenträgermatten erfolgt.

Variante	3	4	5	7
Beurteilungskriterium				
Biomassenproduktion	Hoch	Mittel	Gering	Hoch
Reinigungsleistung	Mittel	Hoch	Gering	Mittel
Klärschlamm Entsorgung/-verwertung	Extern	Extern	Extern	Intern
Materialaufwand	Hoch	Hoch	Gering	Hoch

Tabelle 7.1: Qualitative Beurteilung der Varianten zur Abwasserbehandlung, Reststoffverwertung und Biomassenproduktion.

Die qualitativen Bewertungen sind jeweils wie folgt zu verstehen. Die Wertungen einer Variante für ein Beurteilungskriterium sind jeweils als Vergleich zu den anderen Varianten zu verstehen. Beispielsweise ist die Biomassenproduktion der Variante 4 höher als bei Variante 5, jedoch geringer als bei Variante 3. Des Weiteren stehen die Wertungen lediglich für Annahmen der einzelnen Gesichtspunkte. Dies gilt vor allem für die Biomassenproduktion.

7.6 Zusammenfassung

Im Allgemeinen muss festgestellt werden, dass die gesetzlich erlaubten Varianten zur gezielten Biomassenproduktion aus den Abwasserströmen der LWG Schmerz nicht quantitativ miteinander verglichen werden können, um eine ökonomisch sinnvolle Alternative herauszufinden. Dies lässt sich damit begründen, dass zu viele unbekannte Parameter bezüglich der Biomassenproduktion existieren. Es können daher keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt werden, da durch die fehlenden Angaben zur Biomassenproduktion nicht auf einen dementsprechenden Energiegewinn zu schließen ist.

Neben der Biomassenproduktion ist der mögliche Energiegewinn, selbst wenn die Biomassendaten bekannt sind, nach dem derzeitigen Wissensstand nur bedingt abschätzbar. Es fehlen die für die Repositionspflanzen potentiellen Gaserträge, so dass mit dem entsprechenden Wirkungsgrad des BHKW u.ä. Angaben auf die daraus zu gewinnende elektrische Energie geschlossen werden könnte. Neben den fehlenden Gaserträgen, sind die Heizwerte, zumindest der vorgeschlagenen Grassorten (Schilfrohr und Chinaschilf) bekannt. Zu den restlichen Repositionspflanzen (Binsen und Seggen) liegen jedoch auch keine Angaben vor.

8 Resümee

Die derzeitige Abwasser- und Reststoffentsorgung der LWG Schmerz stellt sich wie folgt dar: Die Abwassersammlung der Mitarbeiter erfolgt in zwei unterschiedlichen Mehrkammergruben, deren Überläufe in einen Gülle- bzw. Gärrestbehälter gelangen. Die Klärschlämme werden einmal jährlich geleert. Die Gülleauffangbehälter dienen zur Speicherung der Fäkalien der Nutztiere, von wo aus die Gülle regelmäßig der betriebseigenen Biogasanlage zugeführt wird. Dem bei der Vergärung entstehenden Biogas sind anschließend Gase wie Kohlendioxid oder Schwefelwasserstoff zu entziehen, so dass Methan in einem Blockheizkraftwerk verbrannt, und der dabei entstehende elektrische Strom in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann. Eine Effektivitätssteigernde Gasproduktion kann durch die zusätzliche Vergärung von Kosubstraten, wie beispielsweise Silomais gewährleistet werden. Das Gärsubstrat aus der Biogasanlage wird in einen Gärrestbehälter geleitet. Neben dem Gärrest gelangen ebenfalls die Abwässer der Milchproduktion aus dem Melkhaus in diesen Auffangbehälter. In regelmäßigen Abständen wird der Inhalt des Gärrestbehälters zur Düngung auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgetragen. Die Niederschläge auf die befestigten Flächen und Dächer können in einem Regenwasserkanal in einen Regenwasserteich, welcher sich auf der gegenüberliegenden Seite des Betriebsgeländes auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche befindet, eingeleitet und dort versickert werden.

Das Ziel der Betriebsführung der LWG Schmerz ist die anfallenden Abwasserströme zur gezielten Biomassenproduktion zu nutzen. Die Biomasse soll anschließend energetisch verwertet werden. Für die gezielte Biomassenproduktion soll ein System, bestehend aus natürlichen Trägermatten, welche mit Repositionspflanzen bestückt sind, eingesetzt werden. Dieses System Dernbach ist ursprünglich eine Variante zur Dachbegrünung. In einem Wasserspeicher wird Niederschlagswasser gesammelt und fließt kontinuierlich über die Pflanzenträgermatten. Die auf den Trägermaterialien befindlichen Pflanzen nehmen über ihr Rhizomensystem Nährstoffe und Wasser auf und setzen diese in Biomasse um. An Beispielen der Abwasserströme der LWG Schmerz soll herausgefunden werden, inwieweit nicht nur Regenwasser sondern auch vorgeklärtes Abwasser zur gezielten Biomassenproduktion eingesetzt werden kann.

Unter der Nutzung vorhandener Abwasseranlagen sowie der örtlichen Gegebenheiten bieten sich mehrere Möglichkeiten der alternativen Abwasser- und Reststoffverwertung. Es wurden in der Bachelorarbeit sieben Varianten vorgestellt, wobei vier Alternativen entsprechend den gesetzlichen Grundlagen realisierbar sind.

Die verschiedenen Varianten zur gezielten Biomassenproduktion unterscheiden sich in den dafür zu verwendenden Abwasserströmen, der Verwertung der anfallenden Reststoffe sowie im Materialeinsatz und der abschätzbaren Reinigungsleistung.

Vom Erfinder des System Dernbach liegen noch keine Erkenntnisse zur technischen Realisierung seines Verfahrens hinsichtlich Bemessung oder Reinigungsleistung zur Abwasserbehandlung vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich bei der direkten Behandlung der vorgeklärten Sozial- und Melkhausabwässer auf den Pflanzenträgermatten biologischer Überschussschlamm ansammelt. Des Weiteren ist nicht geklärt, welche Reinigungsleistung im

System Dernbach hinsichtlich der Phosphor- und Stickstoffelimination zu erwarten sind. Diese Informationen sind allerdings im Hinblick auf die Vorflutersituation von enormer Bedeutung. Die gereinigten Abwässer sollen in den nahegelegenen Schmerzbach eingeleitet werden. Bei einer zu hohen Phosphor- oder Stickstoffbelastung droht dieses Gewässers aufgrund des hohen Nährstoffangebotes zu eutrophieren. Aus diesem Grund sollte das System Dernbach lediglich zur Nachbehandlung gereinigten Abwassers eingesetzt werden.

Für die Vorbehandlung der Sozial- und Melkhausabwässer zusammen mit den anfallenden Niederschlägen (Varianten drei und sieben) bietet sich eine Abwasserteichanlage an, da diese entsprechend den Spülstößen bei auftretenden Niederschlägen bemessen werden können. Für die getrennte Abwasserbehandlung kann nach Meinung des Bearbeiters ein bepflanzter Bodenfilter eingesetzt werden. Das System Dernbach kann mit dem Ablauf dieser Anlage, zusammen mit dem Regenwasser, beschickt werden. Eine weitere Alternative stellt die Möglichkeit ausschließlich die gesammelten Niederschläge zur Biomassenproduktion zu nutzen dar

Nach der Ernte kann die Biomasse zum einen zusammen mit Holzhackschnitzeln thermisch verwertet werden. Die dabei entstehende Wärme dient zur Erwärmung der Kuhställe der LWG Schmerz. Zum anderen besteht die Möglichkeit der Vergärung der Biomasse in der betriebs-eigenen Biogasanlage.

Um eine Variante als Vorzugslösung anzugeben, ist bei den verschiedenen Alternativen der mögliche Energiegewinn mit den bei der jeweiligen Alternative entstehenden Kosten zu vergleichen. Der mögliche Energiegewinn ist direkt von der Biomassenproduktion abhängig. Die produzierbare Biomasse entsprechend des organischen Inputs ist allerdings schwer abzuschätzen, da keine konkreten Angaben zum Wachstum dieser Repositionspflanzen in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Nährstoffe oder Wassermengen bekannt sind. Zu den Biogasausbeute der Repositionspflanzen liegen dem Bearbeiter ebenfalls keine Angaben vor. Lediglich die Heizwerte von Schilfrohr und Chinaschilf sind dem Autor bekannt. Die Kosten der zu verlegenden Abwasserrohre sowie der Behandlungsanlagen sind prinzipiell abschätzbar. Allerdings lieferte Dernbach keine Angaben zu den Kosten seines Systems. Demzufolge ist eine Kostenvergleichsrechnung zur Ermittlung einer wirtschaftlich optimalen Lösung, vor allem aufgrund der fehlenden Angaben zur Biomasseproduktion, nicht durchführbar.

9 Ausblick

Dernbach gab dem Bearbeiter in einer telefonischen Auskunft am 20.09.2004 zu verstehen, dass die Biomassenproduktion umso größer wird, je höher der organische Input des System Dernbach ist. Entsprechend seinen Aussagen, werden sämtliche Inhaltstoffe durch das Wurzelsystem der Pflanzen aufgenommen und direkt in Biomasse umgesetzt. Nach den Angaben Dernbachs entsteht durch die ständige Rezirkulation des zugeführten Wassers über die Pflanzenträgermatten im Endeffekt kein Ablauf von dem Behandlungssystem, da sämtliche Wassermengen verdunsten. Da es bisher noch keine Untersuchungen für die gezielte Biomassenproduktion aus vorbehandelten Schmutzwässern mit Hilfe des System Dernbach gibt, müssen diese theoretischen Überlegungen des Erfinders in der Praxis untersucht werden. Für die LWG Schmerz steht vor allem die Frage der Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Wie bereits angegeben, konnte eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Varianten v.a. aufgrund der fehlenden Biomassezuwachsrate nicht erfolgen. Daher müssen die Biomassezuwachsrate in Versuchen mit Hilfe einer Pilotanlage ermittelt werden.

Diese Versuche können allerdings nicht für die verschiedenen Varianten, wie sie für die LWG Schmerz am sinnvollsten erscheinen durchgeführt werden, da verschiedene Randbedingungen vorherrschen. Die Vorbehandlung der Abwässer kann beispielsweise in einer Abwasserteichanlage oder einem bewachsenem Pflanzenbeet erfolgen. Darüber hinaus sind die Stoffkonzentrationen verschiedener Parameter des gereinigten Abwassers der unterschiedlichen Verfahren (Abwasserteich oder Pflanzenbeet) theoretisch bestimmbar.

In einer Pilotanlage müsste das System Dernbach mit Konzentrationen bezüglich BSB₅, CSB TKN sowie Pges beschickt werden, wie sie sich für die einzelnen Varianten ergeben würden. Dann könnte bei den bestimmten Konzentration der Parametern die Biomassenproduktion beobachtet werden. In mehreren Versuchsreihen können dann verschiedene Konzentrationen der Parameter eingesetzt und ihr Einfluss auf die Biomassenproduktion untersucht werden.

Des weiteren muss in Versuchen herausgefunden werden, welche Pflanzenarten, beispielsweise von denen in Abschnitt 4 Seite 47 angegebenen, für den Praxiseinsatz die sinnvollste Alternative sind.

Die betriebliche Untersuchung könnte in einer Pilotanlage, wie sie in Abbildung 9.1 dargestellt ist, durchgeführt werden. So dass abgeschätzt werden kann ob eine Abwasserbehandlung in großflächigem Maßstab dauerhaft zu realisieren ist.

Für dieses Beispiel sind vier verschiedene Pflanzenarten vorgesehen. Dazu zählen zwei Grassorten (*Phragmites australis*, *Miscanthus sinensis*), eine Binsen- sowie eine Seggenart. Für die gesamte Beetfläche werden etwa 100m² veranschlagt, so dass jedes Beet 25m² misst.

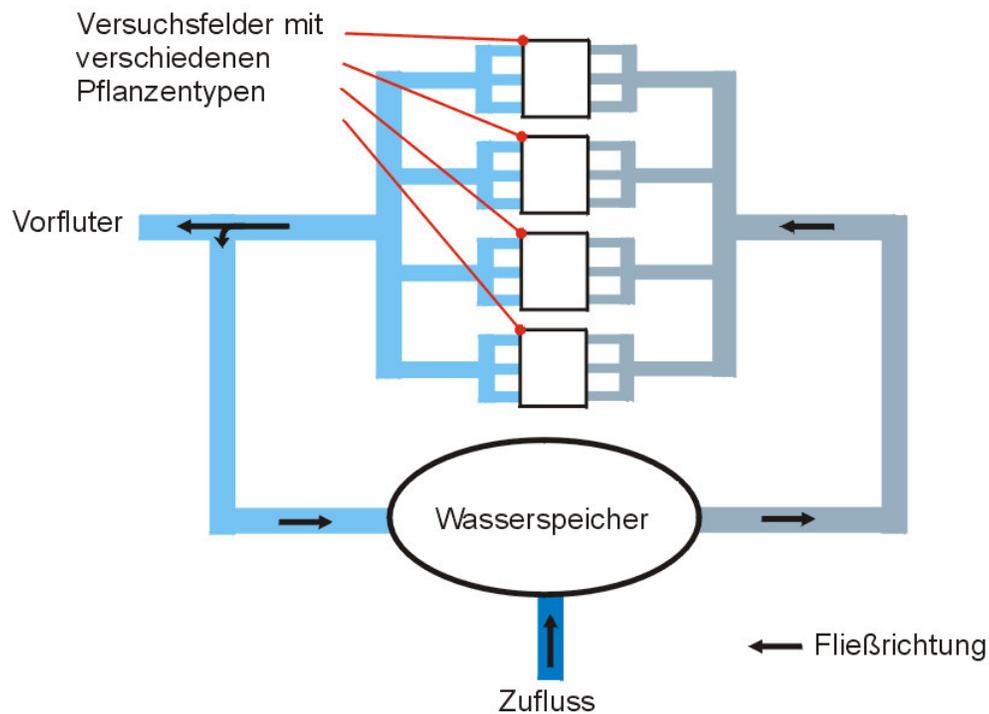


Abbildung 9.1: Schema einer möglichen Pilotanlage.

Für den Dauerbetrieb hinsichtlich der thermischen Verwertung ist festzustellen, bei welchem Erntezeitpunkt für die bestimmten Pflanzenarten der geringste Wassergehalt erreicht wird. Da der Heizwert des zu verbrennenden Materials geringere Werte annimmt, je höher der Wassergehalt ist. Des weiteren ist auch für die Vergärung der Pflanzen in der Biogasanlage der Wassergehalt entscheidend, weil dieser den Gärprozess beeinflusst.

10 Symbolverzeichnis

10.1 Symbole

a	Jahr
A	Fläche, Schichtdicke des Bodenfilters
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
C	Konzentration/ Belastung
D	Dauerstufe
F	Abwasserfracht
J	Sohlgefälle
L	Fließlänge im horizontal durchströmten bepflanzten Bodenfilter
N	Stickstoff
Q	Abwasserstrom
H	Heizwert
w	Wasserverbrauch
ψ	Abflussbeiwert

10.2 Indizes tief

BSB ₍₅₎	Biologischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
BSB _M	Biologischer Sauerstoffbedarf der Melkhausabwässer
BSB _R	Biologischer Sauerstoffbedarf des Regenwassers
BSB _S	Biologischer Sauerstoffbedarf der Sozialabwässer
BSB _W	Biologischer Sauerstoffbedarf im Mischzustand
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSBdspez.	tägliche spezifische CSB Fracht
CSBspez.	Spezifische CSB Flächenbelastung nach ATV a 262
E,b	befestigte Fläche
E,k	kanalisierte Fläche
E,k,b	kanalisierte Fläche des Kanals B
E,nb	nicht befestigte Fläche des Einzugsgebietes
erf	erforderliche Fläche
EZ	Einwohnerzahl
G	täglicher Gülleanfall
G,d	täglich anfallendes gewerbliches Abwasser
G,d,M	täglicher Gülleanfall einer Milchkuh
G,d,S	täglicher Gülleanfall eines Schweins
ges	gesamtes tägliches Abwasser
ges BSB	gesamte durchschnittliche tägliche Abwasserfracht für BSB ₅
ges CSB	gesamte durchschnittliche tägliche Abwasserfracht für CSB

ges,max	maximale Gesamtabfluss
H,aM	mittlerer Jahresanfall des häuslichen Schmutzwassers
H,d	täglich anfallendes häusliches Abwasser
H,h,max	maximal stündlicher Abfluss des häuslichen Schmutzwassers
K	Kosubstratmenge
k _b	Rohrbeiwert
m,b	mittlerer Abflussbeiwert
P _{ges}	Gesamtphosphorbelastung
R,d	täglich anfallendes Regenwasser
r _(D,n)	Regenspende nach KOSTR mit der Regendauer D [min] sowie Regenhäufigkeit n [1/a]
R,max	maximaler Regenabfluss
S	Spitzenabflussbeiwert
S,d	täglich anfallendes Schmutzwasser (100 bis 150 l/E*d)
S,aM	Trockenwetterabfluss im Jahresmittel
S,min	Mindestsohlgefälle
TKN	Gesamtstickstoffgehalt
T,aM	mittlerer täglicher Trockenwetterabflussvolumenstrom im Jahresmittel
T,h,max	maximaler stündlicher Trockenwetterabfluss
T _N	Überschreitungshäufigkeit
u	undurchlässige Fläche des direkten Einzugsgebietes, unterer Heizwert

11 Quellenverzeichnis

- [1] Spreuer, C.: Abwässer und flüssige Abgänge aus der Landwirtschaft, Ingenieurbüro C. Spreuer, Emser Straße 19 65195 Wiesbaden, Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 1993.
- [2] Boller, R., Strunkheide J., Witte, H.: Betrieb und Wartung von Kleinkläranlagen – Ein Praxis-Handbuch für Betreiber, Wartungsbetriebe und Behörden. F. Herausgeber IWB Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden, Hirthammer Verlag München, 2002.
- [3] Wissing, F. Wasserreinigung mit Pflanzen. Eugen Ulmen Verlag, 1995.
- [4] Bliefert, C.: Umweltchemie. VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1994.
- [5] Handbuch: Ortsrecht der Stadt Siegen, entnommen der Internetpräsenz der Stadt Siegen unter: <http://www.siegen.de> am 07.11.2004
- [6] Abfallgebührensatzung des Landkreises Gotha, entnommen der Internetpräsenz der Abfallwirtschaftsgesellschaft des Landkreises Gotha mbH unter: <http://www.awig-gotha.de> am 07.11.2004
- [7] Abfallgebührensatzung des Landkreises Freiberg, entnommen der Internetpräsenz des Landkreises Freiberg unter: <http://www.freiberg-regional.de>, am 07.11.2004
- [8] Internetpräsenz des deutschen Wetterdienstes, Angaben zu den durchschnittlich anfallenden Regenwassermengen der Wetterstation Leipzig-Skeuditz: <http://www.dwd.de>.
- [9] WG LSA - Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt vom 21. April 1998 GVB1. LSA 1998 S. 186, entnommen von der Internetpräsenz der Informationsplattform der UWS Umweltmanagement GmbH unter <http://www.umwelt-online.de> am 24.09.2004.
- [10] Wichmann, P.: Können landwirtschaftliche Biogasanlagen eine Alternative zum Kanalanschlusszwang darstellen? Vortrag, Oberfränkische Energietage 1999 - Symposium "Energie und Kommune", Veranstalter: Energieagentur Oberfranken, 25.-27.01.1999 in Kulmbach, entnommen der Internetpräsenz des Infodienst: Regenerative Energien unter: <http://www.boxer99.de> am 11.11.2004.
- [11] WHG - Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002 (BGB vom 23.08.2002 S. 3245), entnommen von der Internetpräsenz der Informationsplattform der UWS Umweltmanagement GmbH unter <http://www.umwelt-online.de> am 24.09.2004.
- [12] AbwAG - Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer, Fassung vom 3. November 1994 (BGB 2001 S. 2331), entnommen von der Internetpräsenz der Informationsplattform der UWS Umweltmanagement GmbH unter <http://www.umwelt-online.de> am 24.09.2004.
- [13] Düngeverordnung - Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (BGB 2003 S. 235), entnommen von der Internetpräsenz der Informationsplattform der UWS Umweltmanagement GmbH unter <http://www.umwelt-online.de> am 24.09.2004.

-
- [14] BiomasseV - Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse vom 21. Juni 2001 (BGB Nr. 29 vom 27.6.2001 S. 1234), entnommen von der Internetpräsenz der Informationsplattform der UWS Umweltmanagement GmbH unter <http://www.umwelt-online.de> am 24.09.2004.
- [15] AbfKlärV - Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGB 1992 S. 912), entnommen von der Internetpräsenz der Informationsplattform der UWS Umweltmanagement GmbH unter <http://www.umwelt-online.de> am 24.09.2004.
- [16] Zusammenstellung von Literaturangaben zu Konzentrations- und spezifischen Frachtbereichen bzw. Mittelwerte für Regenwassereinleitungen (Roberts et al., 1976; Göttle, A., 1978; Krauth, Kh.& Klein, H., 1982; Gollwer, A. & Schneider, W., 1983; Grottker, M., 1987; Swartjes, F., 1990; Xanthopoulos, C., 1990; Herrmann et al., 1992; Sieker et al., 1993; Heinzmann, B., 1993), entnommen der Internetpräsenz einer Untersuchungsstudie der Regenwasserqualitäten Berlins unter <http://www.regenwasser-berlin.de>, am 02.11.2004.
- [17] Entwurf Arbeitsblatt ATV (Abwassertechnische Vereinigung). DVWK A 262, Grundsätze für die Bemessung, Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalem Abwassers, Mai 2004.
- [18] ATV - DVWK - Regelwerk A 201: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichanlagen, Entwurf Februar 2003
- [19] Dr. Seitz, P.: Einführung in die Möglichkeiten der Wasserreinigung mit Pflanzen, Zentralverband Gartenbau. Plantec, 10/93.
- [20] Dörries, J., Zens, U.: Dachgrün - Multifunktionale Dachvegetation. Entnommen aus der Fachzeitschrift: Garten + Landschaft, Heft 10/2003.
- [21] Arnold, R., Fuchs, H., Bartl, A.-M., Hufnagl, E., Arnold, E.: Neuartige textile Pflanzenträgermatten für die ökologische Gestaltung von Wasserbauwerken und Dachflächen. Entnommen aus der Fachzeitschrift: Bauen mit Textilien, Heft 2/2000.
- [22] Internetpräsenz des Ingenieurbüros für Umweltplanung und Forschung Heinrich Dernbach unter <http://www.dernoton.de>, entnommen am 20.09.2004.
- [23] Patentschrift DE 196 30 830 C2, Patentinhaber: Firma Heinrich Dernbach Inh. Bernhard Dernbach e. Kfm., 45476 Mühlheim, DE, Erfinder: Dernbach, Bernhard, Dipl.-Ing., 45476 Mühlheim, DE, Anmeldetag: 31.07.1996, Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 07.03.2002.
- [24] Grzesiak C., Günther H., Lebende Inseln. Veröffentlichung der studentischen Arbeit unter <http://www.lebende-inseln.de> am 08.09.2004.
- [25] Univ.-Prof. Dr.-Ing. Londong, J: Vorlesung Charakterisierung von Abwasser aus der Vorlesungsreihe Kommunales Abwasser: Verfahren und Anlagen der Abwasserentsorgung, Bauhaus-Universität Weimar, 25.10.2004.
- [26] Wanderkarte im Maßstab 1:50.000, Erstellt für den 1. Heide-Rad-Tag am 15.09.2002, erstellt von: Kartographischer Werbedienst Stefan Waldenburger 04435 Skeuditz.
- [27] entnommen aus der Internetpräsenz der Touristeninformationsseite des Naturparks Dübener Heide am 23.10.2004 unter: <http://www.duebener-heide.de/touris>.

-
- [28] entnommen aus der Informationsseite des Landkreis Bitterfeld am 23.10.2004 unter: <http://www.bitterfeld-online.de>.
- [29] AbwV – Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (BGB Nr. 28 vom 22.06.2004 S. 1108), entnommen von der Internetpräsenz der Informationsplattform der UWS Umweltmanagement GmbH unter <http://www.umwelt-online.de> am 24.09.2004.
- [30] Entnommen aus [3]: Börner, T.: Einflussfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen WAR Band58,(Hrsg. Ver. Z. Förd. D. I. f. Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung). Darmstadt 1992.
- [31] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 4261-1: Kleinkläranlagen Teil1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung. Dezember 2002.
- [32] Kaltschmitt, M., Hartmann, H.: Energie aus Biomasse, Grundlagen Techniken und Verfahren. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [33] Entnommen von der Internetpräsenz der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. unter <http://www.fnr-server.de> am 02.11.2004.
- [34] Kaltschmitt, M., Reinhardt, G. A.: Nachwachsende Energieträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1997
- [35] Perl, J., BINE, Ein Informationspaket – Energie aus Biomasse. Hrsg: Fachinformationszentrum Karlsruhe (Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH), Verlag TÜV Rheinland, 2. überarbeitete Auflage 1991
- [36] Gosch, A., Oechsner, H., Trösch, W., Weiland, P., Kofermentation Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt
- [37] Vorlesungsreihe Siedlungswasserwirtschaft: Rohrleitungsbau im Wintersemester 2003/04 an der Bauhaus-Universität Weimar
- [38] Wetter, C., Brüggling, E.: Leitfaden zum Bau einer Biogasanlage. Fachhochschule Münster, Fachbereich Energie, Gebäude , Umwelt, Labor für Wasser-, Abwasser – und Umwelttechnik, entnommen der Internetpräsenz der Fachhochschule Münster unter: <http://www.fh-muesnter.de> am 02.11.2004
- [39] Entnommen der Internetpräsenz des Verbundprojekt „Bewachsene Bodenfilter“ unter <http://www.bodenfilter.de>, am 12.11.2004
- [40] Entnommen dem Internetportal der „Cleaner Production Germany“ unter <http://www.cleaner-production.de>, am 12.11.2004

12 Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Weimar, 15.11.2004

13 Anhang

13.1 Berechnung der täglich anfallenden Regenwassermenge

Niederschlagsmengen [mm / m ² * M]														
Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Durchschnitt	Einheit
Jahr														
2003	47,7	4,9	14,9	25,1	22,5	65,8	64,7	22,5	69,1	29,4	29,7	36,2	36,04	mm / (m ² *M)
2002	17,5	27	32,2	37,9	54,8	52,2	80,1	115,5	51,8	46,4	101,6	52,7	55,81	mm / (m ² *M)
2001	21,3	19,1	83,6	45,5	44,1	52,8	129,3	41,8	74,5	23,3	37,9	36,9	50,84	mm / (m ² *M)
2000	41,6	44,8	67,6	12,2	27,4	41,8	69,3	77,9	52,8	38,2	18,7	26,4	43,23	mm / (m ² *M)
1999	22,5	49,6	36,4	42,4	53,8	53,5	91,9	47,3	23,6	19,2	64,6	33,8	44,88	mm / (m ² *M)
1998	26,6	15,9	32,4	51,1	9,6	67	72,4	47,4	93,5	91,8	35,6	17,8	46,76	mm / (m ² *M)
1997	7,1	36,6	37,2	27,8	47,5	38,6	127,6	52,5	20,5	32,8	15,9	56,7	41,73	mm / (m ² *M)
									Durchschnitt von 1997 bis 2003			45,61	mm / (m ² *M)	
Niederschlagsmengen [mm / m ² * d]														
Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Durchschnitt	Einheit
Jahr														
2003	1,54	0,18	0,48	0,84	0,73	2,19	2,09	0,73	2,30	0,95	0,99	1,17	1,18	mm / (m ² *d)
2002	0,56	0,96	1,04	1,26	1,77	1,74	2,58	3,73	1,73	1,50	3,39	1,70	1,83	mm / (m ² *d)
2001	0,69	0,68	2,70	1,52	1,42	1,76	4,17	1,35	2,48	0,75	1,26	1,19	1,66	mm / (m ² *d)
2000	1,34	1,60	2,18	0,41	0,88	1,39	2,24	2,51	1,76	1,23	0,62	0,85	1,42	mm / (m ² *d)
1999	0,73	1,77	1,17	1,41	1,74	1,78	2,96	1,53	0,79	0,62	2,15	1,09	1,48	mm / (m ² *d)
1998	0,86	0,57	1,05	1,70	0,31	2,23	2,34	1,53	3,12	2,96	1,19	0,57	1,54	mm / (m ² *d)
1997	0,23	1,31	1,20	0,93	1,53	1,29	4,12	1,69	0,68	1,06	0,53	1,83	1,37	mm / (m ² *d)
									Durchschnitt von 1997 bis 2003			1,50	mm / (m ² *d)	
Niederschlagsmengen [m ³ * d]														
Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Durchschnitt	Einheit
Jahr														
2003	0,0015	0,0002	0,0005	0,0008	0,0007	0,0022	0,0021	0,0007	0,0023	0,0009	0,0010	0,0012	0,0012	m ³ /d
2002	0,0006	0,0010	0,0010	0,0013	0,0018	0,0017	0,0026	0,0037	0,0017	0,0015	0,0034	0,0017	0,0018	m ³ /d
2001	0,0007	0,0007	0,0027	0,0015	0,0014	0,0018	0,0042	0,0013	0,0025	0,0008	0,0013	0,0012	0,0017	m ³ /d
2000	0,0013	0,0016	0,0022	0,0004	0,0009	0,0014	0,0022	0,0025	0,0018	0,0012	0,0006	0,0009	0,0014	m ³ /d
1999	0,0007	0,0018	0,0012	0,0014	0,0017	0,0018	0,0030	0,0015	0,0008	0,0006	0,0022	0,0011	0,0015	m ³ /d
1998	0,0009	0,0006	0,0010	0,0017	0,0003	0,0022	0,0023	0,0015	0,0031	0,0030	0,0012	0,0006	0,0015	m ³ /d
1997	0,0002	0,0013	0,0012	0,0009	0,0015	0,0013	0,0041	0,0017	0,0007	0,0011	0,0005	0,0018	0,0014	m ³ /d
									Durchschnitt von 1997 bis 2003			0,0015	m ³ /d	
									bezogen auf die gesamte Fläche der LWG Schmerz			14,14	m ³ /d	

Abbildung 13.1: Ermittlung der täglich anfallenden Regenwassermengen aus den Angaben des Deutschen Wetterdienstes für die Wetterstation Leipzig- Schkeuditz [8].

T	[1/a]	0,5	1	2	5	10	20	50	100
D		Regenspende r [l/(s*ha)]							
5	min	155,2	214,8	274,5	353,4	413	472,7	551,5	611,2
10	min	99,1	137,2	175,3	225,6	263,7	301,7	352	390,1
15	min	76,3	105,6	134,8	173,5	202,8	232	270,7	300
20	min	63,3	87,6	11,9	144	168,3	192,6	224,7	249
30	min	48,7	67,4	86,1	110,8	129,5	148,1	172,8	191,5
45	min	37,5	51,9	66,2	85,2	99,6	13,9	132,9	147,3
60	min	31,1	43,1	55	70,7	82,6	94,6	110,3	122,2

Tabelle 13.1: Regenspende nach KOSTRA für den Bereich der Gemeinde Schmerz