

Konzept der Niederschlagsentwässerung zum geplanten Bauvorhaben „Biogasanlage Prangendorf“

Ergänzung Vorentwurf B-Plan Nr. 3, Gemeinde Cammin, 2.
Überarbeitung

Im Auftrag der AEV Energy GmbH

26.01.2024

IDEE Ecological Engineering

Bederski IDEE Ecological Engineering

Bernhardstr. 50

04315 Leipzig

Inhalt

1	Veranlassung.....	3
2	Zusammenfassung	4
3	Grundlagenermittlung und Rahmenbedingungen.....	6
3.1	Größe und Klassifizierung der Entwässerungsflächen	7
3.2	Wasser- und Stoffbilanz	9
4	Immissionsbezogene Bewertung nach M 102-3	12
4.1	Festlegung des Nachweisraumes.....	12
4.2	Relevanzprüfung nach (DWA-M 102-3, 2021)	13
4.3	Leistungsfähigkeit der Rohrdurchlässe nach (REwS FGSV 539, 2021)	15
4.4	Hydraulische Aufnahmefähigkeit des Gewässers 19/14/2c	18
5	Entwässerung der Dachflächen.....	21
5.1	Einleitung ohne Rückhalt	21
5.2	Einleitung über ein Versickerungsbecken.....	22
6	Entwässerung der Fahrflächen	25
6.1	Grundannahmen	25
6.2	Behandlung in Retentionsbodenfiltern.....	26
6.3	Bemessen des notwendigen Rückhaltevolumens und Dimensionierung des Retentionsbodenfilters	26
7	Literaturverzeichnis.....	28

1 Veranlassung

Die Agrarenergie Prangendorf UG & Co KG mit Sitz in 95704 Pullenreuth plant die Errichtung und Betrieb einer Biogasanlage mit Gärsubstraten landwirtschaftlicher Herkunft (Gülle, Mist). Auf dem Gelände sind keine offenen JGS¹-Anlagenteile (Fahrsilos) geplant. Die vorgesehenen Flächen sind zurzeit un bebaut und werden landwirtschaftlich genutzt. Auf diesen soll ein Sondergebiet Biogasanlagen entstehen. Gegenstand des folgenden Berichtes ist die Entwässerung des umwallten Betriebsgeländes für Niederschlagsabflüsse.

Eine technische Versickerung von Niederschlagswasser auf dem Betriebsgelände, welches auf dem Gelände der Biogasanlage innerhalb der Umwallung nicht natürlich versickern kann, ist durch entsprechende wasserrechtliche Vorschriften nicht zulässig (DWA-A 793-1:, 2021). Deshalb ist eine Erweiterung des Geltungsbereiches des Bebauungsplanes notwendig. Durch die AEV Energy GmbH als Planer wurde das Büro I.D.E.E. Ecological Engineering beauftragt, die dafür notwendige Baufläche zur Erweiterung des Geltungsbereiches des Bebauungsplanes zu ermitteln.

Die Bemessung ist nach Rücksprache mit der Unteren Wasserbehörde Landkreis Rostock entsprechend den aktuellen Regelwerken (DWA-A 102-2, 2020) und (DWA-M 102-3, 2021) vorzunehmen.

Eine Aktualisierung dieses Berichtes vom August 2023 wurde auf Grund folgender zusätzlicher Unterlagen in der 2. Fassung angefertigt:

- Baugrundgutachten (Dr. Muntzos & Schaefer, 28.02.2023), (Dr. Muntzos & Schäfer, 02.01.2024)
- Versickerungsmessung (I.D.E.E. Ecological Engineering, 19.10.2023)
- Neuauflage Starkregenatlas (KOSTRA-DWD 2020, 2023).

¹ Jauche, Gülle, Sickersaft

2 Zusammenfassung

Für den Rückhalt und die Behandlung der innerhalb der Umwallung nicht versickerbaren Niederschläge ist eine Erweiterung des Geltungsbereiches vorzusehen, die die Errichtung und Betrieb eines Versickerungsbeckens für unbelastete Dachflächenabflüsse mit einem Rückhaltevolumen von ca. 250 m³ und eines Retentionsbodenfilters mit ca. 200 m² Filterfläche und 280 m³ Rückhaltevolumen für mäßig verschmutzte Abflüsse aus den Fahrflächen notwendig sind. In Abhängigkeit von den konkreten Baugrundbedingungen und Geländeprofilen wird für diese Einrichtungen in Erdbauweise eine Baufläche von 1.500 – 1.700 m² beansprucht.

Das zur Einleitung von Niederschlagsabflüsse vorgesehenen Gewässers (19/14/2c) entspringt südwestlich des vorgesehenen Gewerbegebietes aus einer ca. 800 m² großen Feuchtsenke und mündet ca. 700 m nördlich in einen weiteren Graben. Dieser Bereich mit seinen Einleitungen wurde als Nachweisraum betrachtet. Die Summe der maximal zulässigen Einleitung, welche sich aus der Größe des Gewässereinzugsgebietes und der für den Standort typischen potenziell naturnahen Hochwasserabflussspende ergibt, beträgt 15,5 L/s. Bezogen auf die angeschlossenen Entwässerungsflächen können anteilig bis zu 11,5 L/s als gedrosselter Abfluss für Direkteinleitungen aus dem Umwallungsgebiet genutzt werden.

Darüber hinaus ergibt sich aus Relevanzprüfungen und den Regelwerksvorgaben zum zulässigen Feststoffeintrag, dass die Abflüsse aus den Fahrflächen vor Einleitung zusätzlich behandelt werden müssen.

Um die Größe der Rückhalt- und Behandlungseinrichtungen zu minimieren, wird eine getrennte Einleitung von Dach- und Fahrflächenabflüssen vorgeschlagen. Die Dachflächenabflüsse können dann in einem nicht abgedichteten flachen Versickerungsbecken zurückgehalten werden. Fahrflächenabflüsse müssen jedoch in einem (abgedichteten) Retentionsbodenfilter eingeleitet werden, in dem Rückhalt und die Behandlung auf einer Fläche kombiniert sind.

Durch die Einrichtung eines Versickerungsbeckens und eines Retentionsbodenfilters kann die Direkteinleitung in das Gewässer 19/14/2c auf ca. 4 L/s minimiert werden.

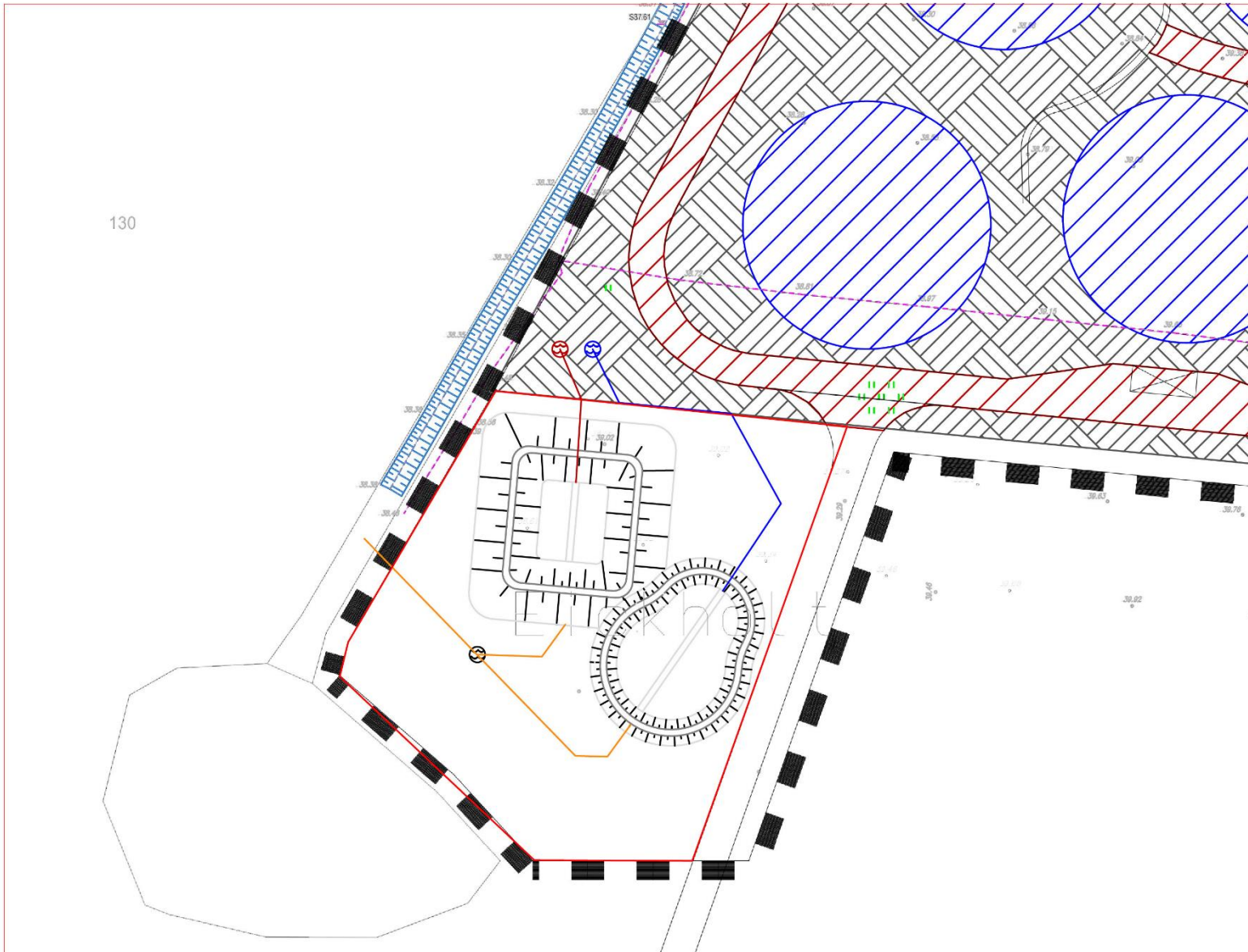


Fig. 1: Vorläufige Lage und Größe der Baufläche zum Rückhalt und Behandlung der Niederschlagsabflüsse

3 Grundlagenermittlung und Rahmenbedingungen

Auf Grund des flachen Geländeprofiles, dem Auftreten von Schichtenwasser und der aktuell geplanten Höhe der Bodenplatten (AEV Prangendorf_S_GRL2-4+F, Plan 9, 04.08.2023) und (AEV Prangendorf_S_GRL5+6, Plan 10, 04.08.2023) von minimal 38,06 m NHN ist davon auszugehen, dass die Niederschlagsabflüsse über Pumpenschächte am Tiefpunkt der umwallten Fläche gesammelt und auf das Niveau der Retentions- und Behandlungsanlage gehoben werden müssen.

Bereits das Baugrundgutachten (Dr. Muntzos & Schaefer, 28.02.2023) verweist auf die Notwendigkeit einer nachhaltigen und rückstaufreien Ableitung von Oberflächenwässern bzw. eine Ring- bzw. Flächendrainage für einen Bemessungswasserstand 0,5 m u UK Bodenplatte (37,56 m NHN).

In ergänzenden Baugrundgutachten für die Errichtung des Versickerungsbeckens und des Retentionsbodenfilters (Dr. Muntzos & Schaefer, 20.12.2023), (Dr. Muntzos & Schäfer, 02.01.2024) relativieren sich die Angaben zum Grundwasserflurabstand in Tab. 1 auf Grundlage des Kartenmaterials des Geologischen Dienstes Mecklenburg-Vorpommern als Flurabstände von Schichtwasser. Laut dieser Karten ist erst zwischen 27 – 29 m NHN mit einem permanenten Grundwasserspiegel zu rechnen. Aus dem stark unterschiedlichen gemessenen Flurabstand benachbarter Sondierungsstellen (z.B. RKS 2 und RKS 12) kann auf eine heterogene Verteilung und nur lokalen Ausbreitung von Schichtwasser geschlossen werden. Dennoch ist schwer abzuschätzen, ob diese lokalen Schichtwasserstände infolge der Erdarbeiten in tiefere Etagen abgeleitet werden oder erhalten bleiben.

Es wird deshalb vorgeschlagen, auch die Dachflächenabflüsse in Rigolen zwischenzuspeichern und den Überlauf ebenfalls über Pumpschächte zu sammeln. Darüber hinaus ist nicht über die gesamte Fläche auf Grund des geringen zu erwartenden Grundwasserflurabstandes mit dem notwendigen minimalen Abstand von 1 m zwischen Versickerungssohle und Grundwasserspiegelhöhe zu rechnen (DWA-A 138-1, 2020).

Tab. 1: Perspektivischer Grundwasserflurabstand (unter Unterkante Bodenplatte)

Sonde	Schichtwasser (Ursprungsgelände)	Grundwasser	u UK Bodenplatte 38,06 m NHN (Bau)
	m NHN	m NHN	m
RKS 2	37,60	37,50	0,56
RKS 9	39,95	37,45	0,61
RKS 11	39,22	37,27	0,79
RKS 8		37,03	1,03
RKS 7	37,18	36,43	1,63

RKS 5		36,41	1,65
RKS 1	37,71	36,31	1,75
RKS 12	37,91	35,51	2,55
RKS 10	37,88		

Bei der Sammlung der Niederschlagsabflüsse in Pumpenschächten ist mittels einer Niveauschaltung sicherzustellen, dass im Havariefall eine Ableitung wassergefährdender Stoffe entsprechend (AwSV, 2017) automatisch unterbunden wird. Mit einem NOTAUS-Signal sind Fehlfunktionen anzuzeigen.

Nachdem aktuell geltenden Regelwerk müssen geplante Abwassereinleitungen sowohl emissions- als auch immissionsseitig bewertet werden. Die immissionsseitige Bewertung war auch in der Vergangenheit in die Bewertungen/Bemessungen inkludiert, jedoch nur auf den unmittelbaren Einleitungsbereich beschränkt. Nach dem aktuellen Regelwerk werden zunächst die zu bewertenden Gewässerabschnitte hydrologisch definiert (Nachweisraum) und eine maximal zulässige Höhe der Einleitung ermittelt, bei der noch ein Erhalt der Biozönose möglich ist (ausreichendes Wiederbesiedlungspotenzial nach Katastrophendrift). Sind mehrere Einleitungen innerhalb des Gewässerabschnittes zu bewerten, darf die Summe aller Einleitung innerhalb des Gewässerabschnittes die zulässige Einleitungshöhe nicht überschreiten. In diesen Fällen ist eine Aufteilung der zulässigen Summe der Einleitungen entsprechend der Anteile der angeschlossenen Entwässerungsflächen in Kontingente vorzunehmen.

3.1 Größe und Klassifizierung der Entwässerungsflächen

Lt. Lageplan befindet sich die gesamte Anlage einschließlich Zufahrtstrasse in einem umwallten Bereich von ca. 3,9 ha. ca. 60 % der umwallten Fläche sind in Form von Dach- bzw. Fahrflächen befestigt.

Tab.2: Größe der angeschlossenen befestigten und unbefestigten Flächen und Kategorisierung der erwarteten stofflichen Belastung des Niederschlagsabflusses

Kurzzeichen	Fläche	Wert (m ²)	Flächenspezifizierung nach (DWA-A 102-2, 2020) Anhang A
A_{b,a}	Gewerbefläche innerhalb Umwallung	39.300	
A_{E,k,b}(Dachfläche)	Dachflächen	13.280	D, Kategorie I
	Fermenter (1-4)	2.800	
	Lagerhalle	2.300	
	Gärlager (1-6)	6.800	
	Gasaufbereitung inkl. Sozialgebäude	1.000	
	Vorgrube	300	
	Löschwasserbehälter	80	
A_{E,k,b}(Fahrfläche)	Zufahrts- und Rangierwege inkl. Parkplatz	10.700	BL, Kategorie II
	Parkplatz	100	V2; Kategorie II
A_{E,k,nb}	unbefestigte Fläche innerhalb Umwallung	15.320	

D Alle Dachflächen < 50 m² und Dachflächen > 50 m² mit Ausnahme der unter Flächengruppe SD1 oder SD2 fallenden

BL landwirtschaftliche Hofflächen

V2 Hof- und Verkehrsflächen in Misch-, Gewerbe- und Industriegebieten mit geringem Kfz-Verkehr

Die Zuordnung der unbefestigten Flächen A_{E,k,nb} innerhalb der Umwallung zum kanalisierten Einzugsgebiet spielen nur bei der Bemessung von Rückhaltevolumina im Zusammenhang mit Starkniederschlägen ein Rolle (DWA-A 117, 2013). Zur stofflichen Belastung der Abflüsse (ohne Starkniederschläge) leisten diese Flächen regelwerkskonform keinen Beitrag (DWA-A 102-2, 2020; Abschn. 4.3.4)(s, a. Tab. 3).

Da auf dem Betriebsgelände der Biogasanlage keine Lagerflächen im Sinn der (AwSV, 2017) bzw. des (DWA-A 792, 2018) geplant sind, wurden die Fahr- und Rangierwege in die Kategorie II zugeordnet.

3.2 Wasser- und Stoffbilanz

Für die hydraulische und stoffliche Bemessung der Kanalisation, Rückhalt und Behandlung der Niederschlagsabflüsse müssen zunächst pauschal flächenspezifische Belastungsannahmen getroffen werden.

Tab. 3: Zuordnung von Abflussbeiwerten und Stoffabträgen (AFS63) nach (DIN 1986-100, 2016) bzw. (DWA-A 102-2, 2020)

Fläche	Spitzen-abflussbeiwert	mittl. Abflussbeiwert	jährlicher Stoffabtrag AFS63
	C_s	C_m	$b_{R,a,AFS63}$ (kg/ha a)
Dachflächen	1,0	0,9	< 280
Zufahrts- und Rangierwege inkl. Parkplatz	1,0	0,9	530
unbefestigte Fläche innerhalb Umwallung	0,2	0,1	n.b.

Für das Untersuchungsgebiet wird eine mittlere jährliche Niederschlagshöhe $h_{N,a}$ von 630 mm/a angegeben. Um Verdunstungsverluste korrigiert, gehen in die standörtliche Wasserbilanz eine effektive Niederschlagshöhe² $h_{N,a,korr}$ von 697 mm/a ein. Bei einer mittleren jährlichen Verdunstungsrate³ von 484 mm/a und einer Grundwasserneubildung von 58 mm/a (HAD, 2023) würden auf unbebauten Flächen 153 mm/a Niederschlag $h_{N,a,eff}$ abflusswirksam.

Tab. 4: Jahresregenwasserabflüsse aus unbebauten, bebauten Einzugsgebiet der geplanten Gewerbefläche

Niederschlagshöhen	mm/a	Abfluss	Stoffaustrag
$h_{N,a}$	630		
$h_{N,a,korr}$	697		
$h_{N,a,eff}$	153		
	m ²	m ³ /a	kg _{AFS63} /a
umwallte Fläche vor Bebauung	39.300	6.000	
nach Bebauung	39.300	14.600	940
Dachflächen	13.280		7.500 370
Fahrflächen	10.700		6.100 570
unbefestigte Flächen	15.320		1.000 n.b.

Durch die Bebauung der vorgesehen Fläche würde sich der Oberflächenabfluss in das Gewässer ohne weitere Versickerungsflächen um ca. 140% erhöhen. Der Stoffaustrag durch Feinanteile (AFS63⁴) liegt für die befestigte Gesamtflächen mit spezifisch 390 kg/ha a über der rechnerischen Zielgröße von 280 kg/ha a, so dass eine Reduktion des Austrags erforderlich ist.

² $h_{N,a,korr}$ bzw. P_{korr} nach (DWA-M 102-3, 2021)

³ Summe aus Evaporation, Transpiration und Interzeption

⁴ abfiltrierbare Stoffe mit der Korngröße 0,45 µm bis 63 µm

Um den Behandlungsaufwand zu minimieren, wird eine getrennte Ableitung der nicht behandlungsbedürftigen Dachflächenabflüsse vorgeschlagen. Da hier aus hydraulischen Gründen ein Versickerungsbecken zur Drosselung der Abflussspende eingesetzt werden soll, ist auch bei den Dachflächenabflüssen mit einer deutlichen Reduktion des veranschlagten Stoffaustrages von 370 kg/a zu rechnen.

Der erforderliche Wirkungsgrad der Behandlungsstufe zur Reduktion der Feststoffanteile (AFS63) aus Fahrflächenabflüssen sollte rechnerisch bei ca. 0,5 liegen. Dies entspräche Sedimentationsanlagen. Auf Grund der Spezifik der Fahrflächen auf Biogasanlagen ist jedoch zusätzlich mit einem wesentlichen Austrag gelöster, biologisch abbaubarer Stoffe zu rechnen, so dass eine weitergehende biologische Behandlung in einem Retentionsbodenfilter angebracht ist

4 Immissionsbezogene Bewertung nach M 102-3

4.1 Festlegung des Nachweisraumes

Zur Bemessung der zulässigen Einleitung ist der zu erwartenden Einflussbereich stoßartiger Einleitungen abzuschätzen. Dabei wird ein Niedrigwasserabfluss (MNQ) des Gewässers angenommen. Bei dem Gewässer 19/14/2c ist auf Grund der nur zeitweisen Wasserführung und geringem Gefälle von einer mittleren Fließtiefe < 10 cm und Fließgeschwindigkeiten $< 0,1$ m/s auszugehen. Nach Tabelle 7 (DWA-M 102-3, 2021) kann mit diesen Annahmen von einem Einflussbereich für Feststoffe AFS63 von $< 1,0$ km ausgegangen werden.

Das Gewässer 19/14/2c entspringt süd-westlich des Planungsgebietes (R 33329508, H 5988497) aus einer ca. 800 m^2 großen Feuchtsenke. Nach ca. 705 m Fließstrecke mündet ein weiterer Graben (19/14/2c2) in das Gewässer. Nach Angaben der UWB LK Rostock besteht bereits eine wasserrechtliche Erlaubnis zur Einleitung von Niederschlagsabflüssen (LWB Heckrath). Aus der Lage der südlich gelegenen Entwässerungsflächen wird als vermutlicher Einleitort der Beginn des Gewässers 19/14/2c angenommen.

Damit wird der Nachweisraum einschließlich der Einleitstelle LWB Heckrath (oberste Einleitung) bis zur Einmündung des Gewässers 19/14/2c2 (unterste Einleitung) definiert.

Der Einzugsbereich dieses Gewässerabschnittes wird vom zuständigen Wasser- und Bodenverband WBV „Recknitz – Boddenkette“ wie in Fig. 3 angegeben und überspannt eine Fläche von ca. 202.000 m^2 .

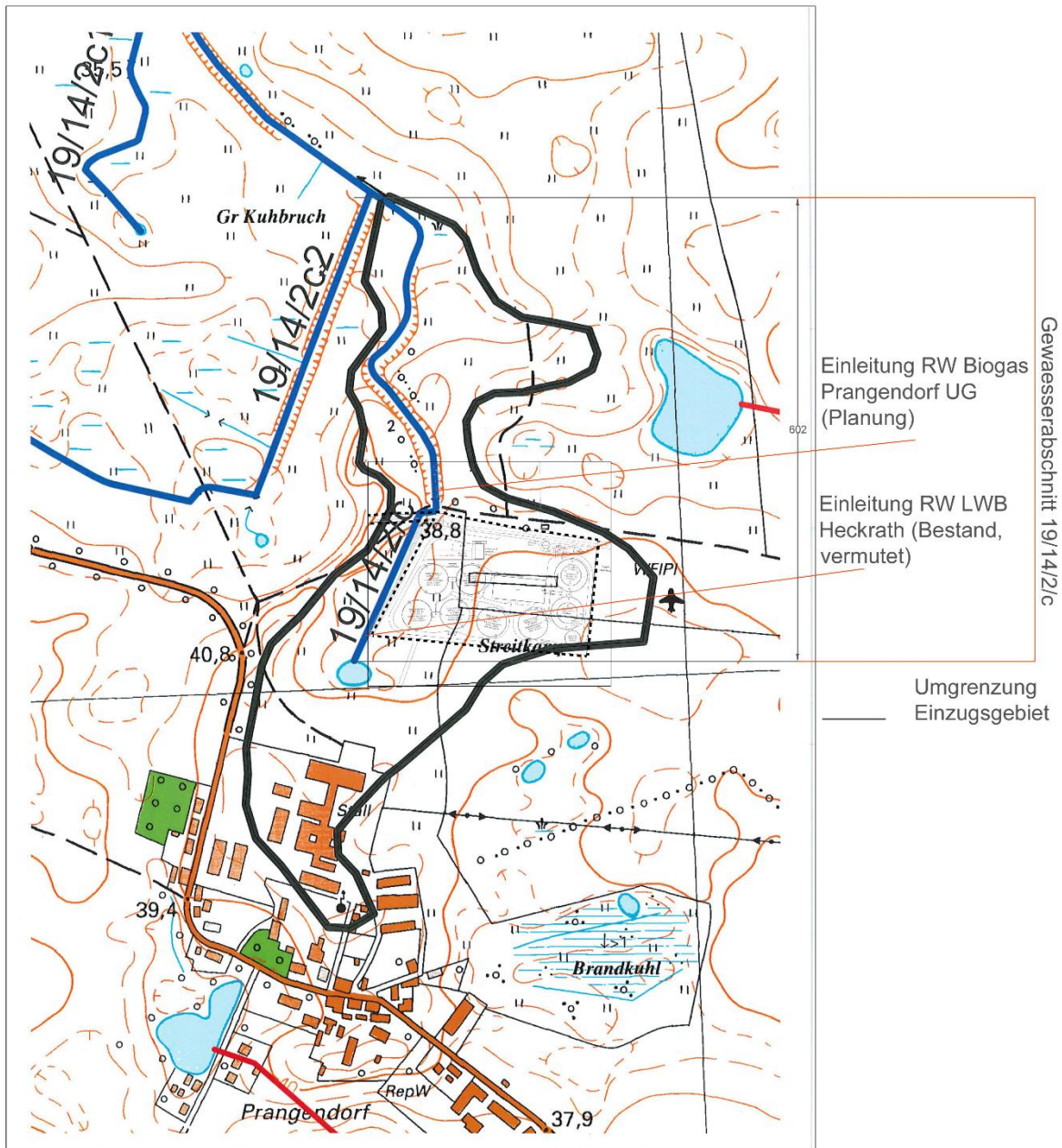


Fig. 3: Lage des Einzugsgebietes und Regenwassereinleitungen des zu berücksichtigenden Gewässerabschnittes 19/14/2/c (Quelle WBV)

4.2 Relevanzprüfung nach (DWA-M 102-3, 2021)

Für eine vereinfachte Nachweisführung werden nach (DWA-M 102-3, 2021) zunächst die angeschlossenen Entwässerungsflächen $A_{b,a}$ dem Einzugsgebiet A_{E0} des betrachteten Gewässerabschnittes gegenübergestellt. Überschreitet das Verhältnis der Flächen das Relevanzkriterium, ist ein Nachweis zu führen. Dabei wird zwischen der hydrologischen und Feststoffbelastung und der Belastung des Sauerstoffhaushalts unterschieden.

Tab. 5: Relevanzkriterien

Beinflussung	Kriterium ($\Sigma A_{b,a}/\Sigma A_{E,0}$)
hydrologisch hydr	0,01
Sauerstoffhaushalt O ₂	0,05
Feststoff AFS	0,15

Da der Nachweisraum (Gewässerabschnitt) als Gesamtheit zu betrachten ist, können bei der Relevanzprüfung auch nur die Gesamtheit aller Einleitungen aus den angeschlossenen Siedlungsflächen berücksichtigt werden.

Tab. 6: Hydrologische Relevanzprüfung zur Nachweispflicht für Niederschlagswassereinleitungen im Nachweisraum

Einleitung	angeschlossene Fläche	Flächenverhältnis $\Sigma A_{b,a}/\Sigma A_{E,0}$			
			hydr	O ₂	AFS
Einzugsgebiet Gewässerabschnitt 19/14/2/c	202.000				
LWB Heckrath (Bestand)	13.360	0,07	ja	ja	nein
Agrarenergie Prangendorf UG (Dachflächen, in Planung)	13.280	0,07	ja	ja	nein
Agrarenergie Prangendorf UG (Fahrflächen + unbefestigte Flächen, in Planung)	26.020	0,13	ja	ja	nein
Summe	52.660	0,26	ja	ja	ja

Aus der Prüfung ist zu schlussfolgern, dass die zu erwartenden Gesamteinleitungen das hydrologische Relevanzkriterium von 0,01 überschreiten (Tab. 6). Für die zu planende Einleitung ist demnach eine Nachweisführung erforderlich. Im Folgenden wird nur der hydrologische Nachweis fortgeführt, da hier bei einer notwendigen Drosselung und Rückhalt der Einleitung der größte Flächenbedarf erwartet wird. Der stoffliche Nachweis wird insofern berücksichtigt, dass eine Fläche zur Behandlung der Fahrflächenabflüsse vorgesehen werden muß. Ansonsten werden die Prüfkriterien sowohl bezüglich der Beeinflussung des Sauerstoffhaushalts als auch des Feststoffeintrags für die Summe der Bestands- und geplanten Einleitungen überschritten. Ein stofflicher Nachweis ist also für jede Einleitung erforderlich.

Weitergehende Anforderungen bzw. Ausnahmetatbestände bezüglich der Freihaltung von Quell- und Temporärgewässer können an dieser Stelle nur in Abstimmung mit der UWB LK Rostock getroffen werden.

4.3 Leistungsfähigkeit der Rohrdurchlässe nach (REwS FGSV 539, 2021)

Auf der Länge des Gewässerabschnitts 19/14/2/c von ca. 720 m bis zur Mündung von 19/14/2c2 befinden sich 2 Rohrdurchlässe DN 600 im Abstand von ca. 440 m. Für diese Durchlässe im Bestand liegen keinen Bemessungsunterlagen vor.

Das betrachtete Gelände inkl. Graben auf Flurstück 128 wurde noch nicht vermessen, so dass auf Schätzwerte zurückgegriffen werden muss. Aus der Vermessung des Grabenstücks auf Flurstück 130 (Zeichnung 22R151_LHP) geht hervor, dass vom Grabenursprung bis zum Durchlass DL1 die Grabensohle um ca. 40-50 cm auf einer Länge von ca. 200 m ansteigt. Als mittlere Grabensohltiefe wird 37,61 m NHN angegeben, der mittlere Anstieg beträgt 0,002 m/m. Das Gelände ab Durchlass DL1 ist dagegen abfallend, so dass hier mit einem Gefälle gerechnet werden kann. Aus topografischen Angaben wird ab Sohlhöhe DL1 von 37,61 m NHN mit einem Geländegefälle bis DL2 von durchschnittlich 0,01 m/m gerechnet. Regelwerskonform sollte die Neigung der Rohrdurchlässe dem Fließgewässergefälle angepasst sein.

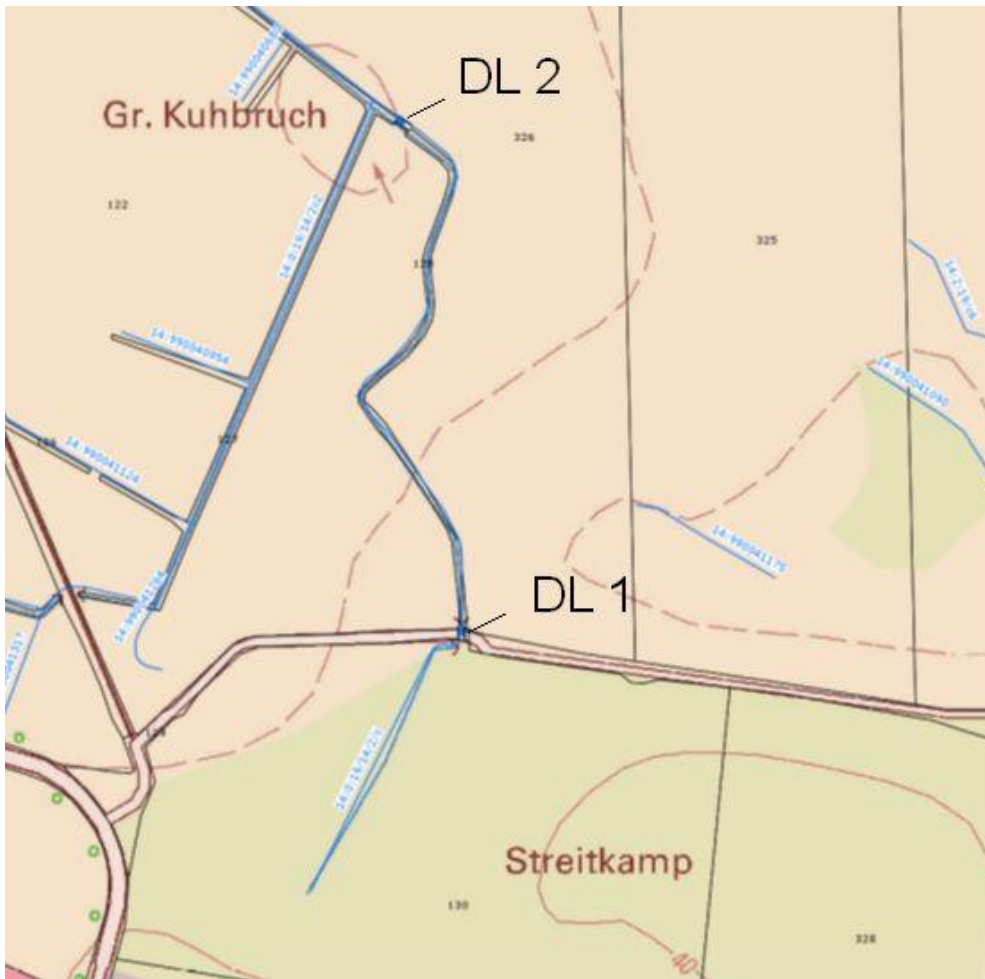


Fig. 4: Gewässerabschnitt 19/14/2/c mit Eintrag der Durchlässe (Quelle Umweltatlas MV)

Die Länge des Durchlasses DL 1 wird auf 7 m, Durchlass DL 2 auf ca. 12 m geschätzt. Die Einbindetiefe sollte regelwerkskonform mind. 10 cm betragen. Bei einem Ortstermin am 10.10.2023 wurde jedoch eine Einbindetiefe von ca. 45 cm am Durchlass DL 1 festgestellt. Hier ist im Rahmen der Bauarbeiten zu prüfen, inwieweit Unterhaltungspflichten des Wasser- und Bodenverband „Recknitz – Boddenkette“ nachgefragt werden müssen. Es wird weiterhin angenommen, dass sich auf Grund des Durchlassabstandes von 440 m die Aufstaulängen vor den Durchlässen nicht überlagern.

Damit kann die Kapazität der Durchlässe nach folgender Formel (REwS FGSV 539, 2021) bei eine Aufstauabgrenzung z um 10 cm geschätzt werden:

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta h}{\frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot d^4} \cdot \left[1,5 + \frac{2 \cdot g \cdot l}{k_{St}^2 \cdot \left(\frac{d}{4}\right)^{4/3}} \right]}}$$

Formel 1

Q [m ³ /s]	Durchflusskapazität
Δh [m]	Spiegeldifferenz Oberwasser/Unterwasser einschließlich zulässiger Aufstau
g [m/s ²]	Fallbeschleunigung (= 9,81 m/s ²)
d [m]	Innendurchmesser, hydraulisch (bei Einbindetiefe 10 cm)
l [m]	Bauwerkslänge
k _{st} [m ^{1/3} /s]	Rauheitsbeiwert= 72 (Betonrohr)

mit

$$\Delta h = z + I \cdot l$$

Formel 2

z [m]	zulässiger Aufstau=0,1 m (empfohlen)
I [m/m]	Gefälle des Rohrdurchlasses entspr. Sohlneigung Gewässer

	DN	d (m)	l (m)	Δh (m)	Durchfluss Vollfüllung (L/s)
DL 1	600	0,55	7	0,03	133
DL 2	600	0,55	12	0,12	253

Dem max. möglichen Durchfluss bei angenommener Vollfüllung und Aufstau ist der Gewässerabfluss in Hochwassersituationen gegenüberzustellen. Für natürliche Einzugsgebiete kann die mittlere Hochwasserabflussspende MHQ meist nur aus Analogieschlüssen bestimmt werden, wenn keine aufwändige Abflusssimulation vorgenommen wird.

Für das berichtspflichtige Gewässer „Recknitz“, in dessen Einzugsgebiet auch das betrachtete Gewässer liegt, sind im Deutschen gewässerkundlichen Jahrbuch (DGJ, 1995) für den Pegel Bad Sülze an der Recknitz folgende mittlerer Abflussspenden für den Zeitraum 1967-1995 angegeben (Tab. 7).

Tab. 7: Mittlere Abflussspenden Einzugsgebiet Recknitz und Übertrag auf Untersuchungsraum 19/14/2ct

Abflussspende	L/s km ²		
	MNq	Mq	MHQ
Pegel Bad Sülze	1,84	6,81	22,2
L/s			
Abfluss	MNQ	MQ	MHQ
Übertragung auf Einzugsgebiet 19/14/2c	0,37	1,38	4,49

Diese Übertragung der Abflussspende scheint, bezogen auf das vorherrschende Geländegefälle ($< 1\%$), plausibel zu sein (DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6, 2008).

Mit einem geschätzten mittleren Hochwasserabfluss aus dem natürlichen Einzugsgebiet des Gewässers 19/14/2c von ca. 4,5 L/s sollten die Rohrdurchlässe ausreichend dimensioniert sein.

Das Abflussgeschehen wird jedoch nach aktuellem Stand vorwiegend durch die ungedrosselte Niederschlagseinleitung im Bestand (LWB Heckrath) von ca. 173 L/s bei einem Starkniederschlagsereignis von $r_{15,2}$ dominiert.

Aus der Nachbemessung der Durchlässe ist abzuschätzen, dass

- die Durchlässe für die bestehende Einleitung ausreichend dimensioniert sind, wenn die geplante Einleitung nach DL 1 vorgenommen würde
- eine weitere ungedrosselte Einleitung durch die Antragstellerin in den Grabenabschnitt 19/14/2c vor dem Durchlass DL1 mit fehlenden Gefälle zu einem spürbaren Aufstau (Überflutungsgefahr) führen würde
- eine ungedrosselte Einleitung im Allgemeinen nach Regel der Technik weit über dem zu erwartenden natürlichen Hochwasserabfluss aus dem Einzugsgebiet liegt

Bei dieser konservativen Abschätzung der Durchlasskapazität wurde berücksichtigt, dass die Grundleitungen für die Einleitstellen etwa 0,20m oberhalb eines mittleren Wasserstandes in den Graben münden, so dass auch bei Stauwasserstand nach Starkregen noch eine Ableitung gewährleistet bleibt.

Da die Entwässerungsbauwerke nur auf dem im Grundbesitz verbleibende Flächen südlich der Entwässerungsflächen (Biogasanlage) erstellt werden können, ist nur eine Einleitung vor dem Durchlass DL 1 möglich. Damit ist im Zuge der Bauarbeiten zu empfehlen, die Grabensohle bis DL 1 mit einem Gefälle zu versehen und die Einbindetiefe des Durchlasses von ca. 45 cm auf 10 cm zu reduzieren.

4.4 Hydraulische Aufnahmefähigkeit des Gewässers 19/14/2c

Die Aufnahmefähigkeit eines Gewässerabschnittes bezüglich Einleitungen aus Siedlungsflächen orientiert sich an den naturnahen Abflussbedingungen, welche potenziell in einem naturnahen Einzugsgebiet ohne Siedlungseinflüsse und ohne Abfluss verändernde Eingriffe (z. B. zur gezielten Rückhaltung) anstehen. Maßgebliche Parameter ist der potenziell naturnahe Hochwasserabfluss $HQ_{n,pnat}$ mit 1- bzw. zweijährlicher Wiederkehrzeit. Der $HQ_{n,pnat}$ -Wert ist deshalb wesentlich größer als Hochwasserwerte aus Pegelmessungen. Er beschreibt den Abfluss nach Starkregenereignissen, welche die natürlichen Lebensgemeinschaften des Fließgewässers ausräumen würden (Katastrophendrift).

Für das Einzugsgebiet vom 20 km² um den Gewässerabschnitt 19/14/2c mit einem angenommenen Gefälle von ca. 0,3% wurde $Hq_{1,pnat}$ im Bereich von 110 – 220 L/s km² angewendet (Bild 1). Da für Mecklenburg-Vorpommern noch keine flächendeckenden Daten zu diesem Parameter vorliegen, muß auf Schätzwerte zurückgegriffen werden.

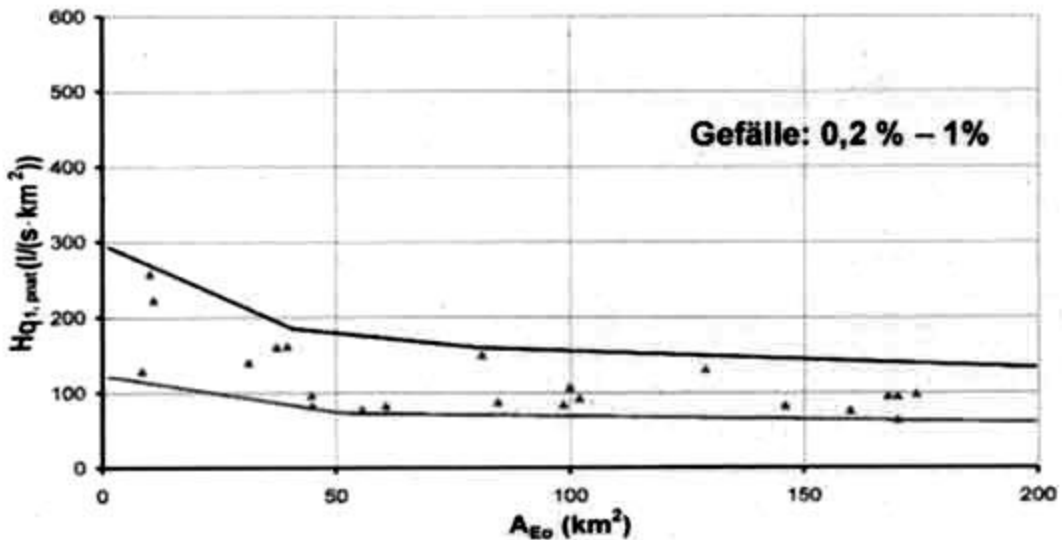


Bild 1: Potenziell naturnahe Hochwasserabflussspenden ($Hq_{1,pnat}$) in Abhängigkeit vom mittleren Gefälle für Einzugsgebietsgrößen von 0 km² bis 200 km² (DWA-M 102-3, 2021)

Da diese natürlichen Höchstabflüsse aus dem Einzugsgebiet durch die fortschreitende Bebauung nicht wiederhergestellt werden können, wird für das Einzugsgebiet eine Erhöhung durch Einleitungen aus kanalisiertem Siedlungsraum um ca. 10 % bezogen auf die einjährige Hochwasserabflussspende $HQ_{1,pnat}$ in Flachlandregionen zugelassen. Der zulässige immissionsseitige Einleitungsabfluss für das Einzugsgebiet $Q_{E1,zul}$ kann wie folgt ermittelt werden:

$$Q_{E1,zul} < Hq_{1,pnat} \cdot A_{b,a} + x \cdot Hq_{1,pnat} \cdot A_{E0}$$

Formel 3

$Hq_{1,pnat}$	L/(s km ²)	potenziell naturnahe jährliche Hochwasserabflussspende
$A_{b,a}$	km ²	an die Kanalisation angeschlossene Fläche des geschlossenen Siedlungsgebiets im oberirdischen Einzugsgebiet des Gewässers bis zur Einleitungsstelle
A_{E0}	km ²	oberirdisches Einzugsgebiet des Gewässers bis zur Einleitungsstelle
$Q_{E1,zul}$	L/s	zulässiger kritischer jährlicher Einleitungsabfluss
x	(-)	Faktor für die zulässige Abflusserhöhung durch anthropogene Einflüsse = 0,1

Um eindeutig die Bedingung $Q_{E1} < Q_{E1,zul}$ festlegen zu können, wird eine Unterschreitung von $Q_{E1,zul}$ um 5% gewählt.

Tab. 8: Zulässiger jährlicher Einleitungsabfluss für das Einzugsgebiet 19/14/2c und Aufteilung der Kontingente der Einleiter

Parameter	Hq _{1, pnat} (Min)=110 L/s km ²	Hq _{1, pnat} (Max)=220 L/s km ²
A _{b,a}	0,053	0,053
Q _{E1, zul} (L/s)	8,0	16,0
Q _{E1} (L/s), 95%	7,7	15,5
Kontingente		
Einleitung Heckrath (Bestand)	2,0	3,9
Einleitung Biogas Prangendorf (geplant)	5,8	11,5

Die zulässige Einleitung $Q_{E1} < Q_{E1, zul}$ mit einer Wiederkehrzeit von einem Jahr liegt für die gesamte Gewässerlinie zwischen 7,7 – 15,5 L/s, davon könnte nach der geplanten kanalisierten Einzugsfläche die Biogas Prangendorf UG anteilig bis ca. 11,5 L/s einleiten.

Die Bestandseinleitung wurde in das Nachweisverfahren aufgenommen, da grundsätzlich nach (DWA-M 102-3, 2021) die Summe aller Einleitungen maßgeblich ist. Das Merkblatt M 102-3 führt dazu aus, dass „für einen mit eindeutigen Kriterien abgrenzbaren Gewässerabschnitt dem Bewirtschaftungs- und Kontingentierungsansatz zu folgen ist“ und „im Rahmen dieses Bewirtschaftungs- und Kontingentierungsansatzes Kompensationen vorhandener Defizite durch geeignete Maßnahmen im Oberlauf innerhalb des Nachweisraums möglich sind, soweit rechtliche Anforderungen dem nicht entgegenstehen.“ Diese Kompensationsmaßnahmen müssen hier vorausgesetzt werden, da ansonsten keine weiteren Einleitungen regelwerkskonform zu ermitteln sind.

5 Entwässerung der Dachflächen

5.1 Einleitung ohne Rückhalt

Aus den immissionsbezogenen Bewertungen entsprechend dem aktuell gültigen Regelwerk, muß davon ausgegangen werden, dass nur eine gedrosselte Einleitung aus entsprechenden Rückhalteeinrichtungen genehmigungsfähig ist.

Für die ungedrosselte Einleitung der Dachflächenabflüsse müssen die Kanalgrundrohre im Außenbereich auf einen Abfluss von 430 L/s bemessen werden (Tab. 9).

Allein die Summe der ungedrosselten Spitzenabflüsse aus Bestands- und geplanten Dachflächeneinleitung von 603 L/s würde die Durchlasskapazität des Durchlasses DL 2 von 386 L/s mit mittlerer Wahrscheinlichkeit übersteigen. Werden die natürlichen Abflüsse aus dem Einzugsgebiet und die geplante Einleitung aus den Fahrflächen hinzugefügt, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einem Grabenrückstau > 10 cm und demzufolge mit einer Überflutung der angeschlossenen Gewerbeflächen zu rechnen.

Aus der Bestandseinleitung (Heckrath) mit einer wasserrechtlichen Erlaubnis zur Einleitung von Niederschlagsabflüssen bis zu 173 L/s und möglichen weiteren Erkenntnissen (Begehung) kann jedoch auch geschlussfolgert werden, dass bei Fortbestand der Bestandseinleitung ohne weitere Auflagen eine Drosselung weiterer Einleitungen zu keinem zusätzlich Schutz des Oberflächengewässers führen kann und Fragen der Verhältnismäßigkeit im Raum stehen.

Der Bemessungsabfluss der Bestandseinleitung (Heckrath) sollte zur Prüfung der tatsächlichen Verhältnisse nachberechnet werden, da hier nach aktuellem Regelwerksstand vermutlich eine zu niedrige Wiederkehrzeit von $T = 2a$ für die Anteile Dachflächenentwässerung angenommen wurde.

Tab. 9: Festlegung des Bemessungsabflusses für die Dachflächenentwässerung nach (DIN 1986-100, 2016) und (KOSTRA-DWD 2020, 2023)

Parameter	Einheit	Wert
Dauerstufe D	min	5
Wiederkehrzeit T	a	5
Bemessungsniederschlagsspende	L/s ha	323,3
Dachflächen $A_{E,k,b}$ (Dachfläche)	m ²	13.280
Spitzen-Abflussbeiwert C_s	-	1,0
Abfluss Q_r	L/s	430

5.2 Einleitung über ein Versickerungsbecken

Ist eine ungedrosselte Einleitung des unbelasteten Niederschlagsabflusses in das Gewässer 19/14/2c nicht genehmigungsfähig, muß der Abfluss zwischengespeichert und gedrosselt abgegeben werden. Für unbelastete Dachflächenabflüsse eignen sich hier flache Versickerungsbecken. Niederschlagsabflüsse werden dadurch zwischengespeichert und über die durchlässige Beckensohle in das Grundwasser eingeleitet.

Die Überschreitungshäufigkeit ist in Abhängigkeit vom Schutzziel festzulegen. Entsprechend Tab. 4 des (DWA-A 138-1, 2020) für die Dachflächenentwässerung eine Wiederkehrzeit $> 0,5$ a zur Bemessung des Versickerungsbeckens mit $T = 1a$ gewählt. Liegt die Versickerungsspende q_s deutlich über 2 L/s kann das notwendige Rückhaltevolumen im einfachen Dimensionierungsverfahren nach (DWA-A 117, 2013) bestimmt werden.

Tab. 10: Bemessung eines Versickerungsbeckens zum Rückhalt der Niederschlagsabflüsse aus Dachflächen nach (DWA-A 138-1, 2020) und (KOSTRA-DWD 2020, 2023)

Parameter	Einheit	Wert
Vorgabe		
Überschreitungshäufigkeit T_n	a	1
maßgebliche Dauerstufe D	h	4
Dachflächen $A_{E,b,a}$	m ²	13.280
Abflussbeiwert Dachflächen C_s	-	1,0
Überregnungsfläche ⁵ des Versickerungsbeckens A_{VA}	m ²	585
Versickerungsbecken		
Zuschlagfaktor f_z	-	1,1
Bemessungsregenspende $r_{240,1}$	L/s ha	13,26
Versickerungsbecken		
Infiltrationsrate k_i	m/s	1,0E-5
Versickerungsabfluss Q_s	L/s	4,46
Rückhaltevolumen, notwendig	m ³	222
Leerungszeit	h	14

Die Infiltrationsrate k_i orientiert sich an der im Baugrundgutachten festgelegten Durchlässigkeit von k_f 1,0E-5 m/s als konservative Schätzung (Dr. Muntzos & Schäfer, 02.01.2024). Die gemessene Infiltrationsrate (I.D.E.E. Ecological Engineering, 19.10.2023) liegt mir 3,5E-5 m/s deutlich darüber, so dass die so bemessene Versickerungsleistung vermutlich auch für seltenere Starkniederschläge als $T_n=1a$ ausreichen sollte.

Mit der Bemessung aus Tab. 10 kann das Versickerungsbecken wie folgt dimensioniert werden:

Tab. 11: Dimensionierung des Versickerungsbeckens

Parameter	Einheit	Wert
Böschungsverhältnis, innen	-	2,5
Böschungsverhältnis, außen	-	2,5
Freibord	m	0,1
Bemessungseinstauhöhe h_s	m	0,5
Kronenbreite	m	0,5
Höhe Böschungskrone ü Sohlhöhe	m	0,6
Sohlfläche $A_{S,min}$		445
Rückhaltevolumen, gewählt V_{VB}	m ³	251
Gesamtflächenbedarf, ca.	m ²	800

⁵ Wasserfläche des gefüllten Versickerungsbeckens mit einem Abflussbeiwert 1,0

Für seltenere Starkniederschlagsabflüsse $T_n > 1a$ kann eine zusätzliche Direkteinleitung als Überlauf in die Vorflut als Bauwerksschutz vorgesehen werden, ist jedoch immissionsbezogen nicht zu bemessen. Es wird empfohlen, die Bemessung der Versickerung auch für seltenere Niederschlagsereignisse anhand von Simulationsrechnungen mit langjährigen standörtlichen Niederschlagsreihen zu überprüfen.

Bei der Ausführung der Böschungen unter Verwendung der Aushubböden ist eine Konditionierung entsprechend (Dr. Muntzos & Schäfer, 02.01.2024) mit Mischbindern erforderlich. Damit sind die Böschungsf lächen nicht mehr versickerungswirksam. Es ist darauf zu achten, dass die Sohlfläche des Beckens beim Einfräsen des Binders ausgenommen wird, um deren Versickerungsfähigkeit zu erhalten.

6 Entwässerung der Fahrflächen

6.1 Grundannahmen

Aus der Immissionsbewertung kann für die Entwässerung der Fahrflächen ein zulässiger Drosselabfluss bis zu 11,5 L/s für eine Direkteinleitung in den Vorfluter abgeleitet werden.

Auf Grund der erwarteten Schmutzfracht an gelösten und Feststoffen (AFS63) müssen darüber hinaus die Abflüsse vor Einleitung entsprechend gereinigt werden. Bei einer Kombination der Schmutzfracht aus gelösten und Feststoffen haben sich Retentionsbodenfilter als Reinigungsstufe, welche sowohl Feststoffe als auch Gelöststoffe zurückhalten können, bewährt. Für Sonderflächen, wie am Standort, wird jedoch auf die Kolmationsgefahr infolge zu hoher Feststofffrachten hingewiesen. Diese Risiken müssen durch eine geeignete Dimensionierung minimiert werden. Retentionsbodenfilter haben jedoch gerade im Rahmen der standörtlichen Bedingungen entscheidende und damit überwiegend Vorteile:

- Sicherer Rückhalt und ausreichender Wirkungsgrad gegenüber Feststoffen AFS63 von ca. 50 % in der Sedimentationsstufe und ca. 95% in der Filtrationsstufe
- Potential zum aeroben Abbau der zu erwartenden Kohlenstoffverbindungen aus den Bröckelverlusten aus Fahrflächen der Biogasanlage
- Platzsparende Kombination von hydraulischer Pufferung von Niederschlagsabflüssen, Vorbehandlung mittels Sedimentation und biologischen Abbau im Filterkörper

Zur Ermittlung des notwendigen Rückhaltevolumens werden außen den unmittelbaren asphaltierte Fahrflächen auch die im Umwallungsbereich liegenden unbefestigten Flächen einbezogen. In der Regel versickern Niederschläge bei der im Baugrundgutachten (Dr. Muntzos & Schaefer, 28.02.2023) genannten Durchlässigkeit des anstehenden Bodens von 10^{-5} m/s. Diese Durchlässigkeit ist auch nach (DWA-A 793-1; 2021) für unbefestigte Flächen innerhalb der Umwallung zulässig. In Relation zur Größe der Fahrflächen ist jedoch der Anteil der unbefestigten Flächen mit ca. 60% so hoch, dass er angesichts des vermuteten hohen Schichtenwasserstandes bei den für die Auslegung von Retentionsvolumina maßgeblichen Starkniederschläge bei der Bemessung des Rückhaltevolumens nicht mehr zu vernachlässigen ist. Nach (DWA-A 793-1; 2021) ist Niederschlagswasser aus dem Umwallungsbereich, das nicht versickern kann, aus diesem Bereich mit einem im Havariefall verschließbaren Ablauf abzuleiten.

6.2 Behandlung in Retentionsbodenfiltern

Im Unterschied zu Versickerungsbecken werden Retentionsbodenfilter zum Untergrund abgedichtet und mit einem drainierten Filteraufbau versehen. Über dem Filter kann das zufließende Abwasser aus den Fahrflächen gespeichert und nach Passage des Filterraumes gereinigt in das Gewässer abgeleitet werden. Der Filterkörper wird vornehmlich mit Schilf bepflanzt.

Die Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern zielt in erster Linie auf den Rückhalt (Filtration) von Feststoffen. Darüber hinaus werden gelöste organische Stoffe mikrobiologisch abgebaut. Zur Aufrechterhaltung der hydraulischen und mikrobiologischen Funktionen ist ein intermittierender Einstau und Trockenfall notwendig. Wesentliches Merkmal eines funktionierenden Retentionsbodenfilters ist die Ausbildung eines dauerhaften und dichten Schilfbestandes und Strukturierung der Sediment- und bestandsfallauflagen.

Anwendungen zur Entwässerung von Biogasanlagenflächen sind insofern kritisch, da die tatsächlich auftretende organische Fracht schwer einzuschätzen ist. Da am Standort jedoch keine offenen Siloanlagen betrieben werden, wird bei der Bemessung des Retentionsbodenfilters diese Frachtkomponente nur insofern berücksichtigt, dass eine stärkere Filterschicht vorgesehen ist.

Um die hydraulischen und frachtbezogenen Risiken zu minimieren, ist es angebracht, die vorliegende Bemessung nach einfachem Verfahren durch einen Kontinuumsimulation zu überprüfen, um sowohl die Häufigkeit von Überlaufereignissen als auch von längeren Einstau- bzw. Trockenphasen abschätzen zu können.

6.3 Bemessen des notwendigen Rückhaltevolumens und Dimensionierung des Retentionsbodenfilters

Die Bemessung des Retentionsbodenfilters erfolgt iterativ unter Berücksichtigung

- der zulässigen maximalen Drosselabflussspende bezogen auf die Filterfläche von $0,05 \text{ L/s m}^2$
- der empfohlenen flächenspezifischen Aufgabe (AFS63-Fracht) von $4 - 7 \text{ kg/m}^2 \text{ a}$ auf die Filteroberfläche und einer angenommenen AFS63-Fracht im Zulauf von 570 kg/a (Herkunftsflächen Kat. II)
- einer Wiederkehrzeit der Starkniederschlagsereignisse von $T = 2 \text{ a}$

Tab. 12: Bemessung des Rückhaltevolumens nach (DWA-A 117, 2013) und (KOSTRA-DWD 2020, 2023)

Parameter	Einheit	Wert
Vorgabe		

Parameter	Einheit	Wert
Wiederkehrzeit	a	2
Risikomass	-	1,15
Drosselabflussspende	L/s m ²	0,020
angeschlossene Fahrflächen	m ²	10.700 (Beiwert 0,9)
unbefestigte Flächen	m ²	15.320 (Beiwert 0,1)
Bemessung		
Bemessungsregenspende	L/s ha	16,32
Dauerstufe	h	4
Rückhaltevolumen, notwendig	m ³	245
Leerungszeit	h	17,0

Tab. 13: Dimensionierung des Retentionsbodenfilters

Parameter	Einheit	Wert
Vorgabe		
Einstau, max.	m	1,00
Filterhöhe	m	0,75
Fracht, Zulauf	kg/a	570
Wirkungsgrad AFS63, erforderlich	-	0,5
Wirkungsgrad AFS63, erwartet	-	> 0,95
Dimensionierung		
Sohlfläche	m ²	124
Filterfläche	m ²	201
Überregnungsfläche	m ²	360
Stapelhöhe mittl. Jahresniederschlag	m/a	35,4
spezifische Fracht AFS63	kg/m ² a	2,84
Kronenbreite	m	1,00
Höhe Böschungskrone ü Sohlhöhe		1,95
Freibord	m	0,2
Böschungsverhältnis, innen	-	2,0
Böschungsverhältnis, außen	-	2,5
Gesamtflächenbedarf	m ²	872

7 Literaturverzeichnis

- AbwV . (2022). Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer. *BGBl. I* , S. 87ff.
- AEV Prangendorf_S_GRL2-4+F, Plan 9. (04.08.2023). Schnitt Gärproduktlager 2-4, Fermenter. *Schnitt 1:100*. AEV Energy GmbH.
- AEV Prangendorf_S_GRL5+6, Plan 10. (04.08.2023). GRL 5+6 Gülleannahmebehälter Edelstahlbehälter. *Schnitt* . AEV Energy GmbH.
- AwSV. (2017). Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. *Bundesgesetzblatt Teil I, 22*, S. 905-955.
- DGJ. (1995). *Deutsches gewässerkundliches Jahrbuch Küstengebiet der Ostsee 1967 - 1995*. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.
- DIN 1986-100. (2016). *Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056* . DIN.
- Dr. Muntzos & Schaefer. (20.12.2023). *Neubau einer Biogasanlage, 18195 Cammin-Prangendorf*. Sicker- und Retentionsbecken im Süden der geplanten Biogasanlage.
- Dr. Muntzos & Schaefer. (28.02.2023). *Neubau einer Biogasanlage, 18195 Cammin-Prangendorf*. Geotechnisches Gutachten zur Bauwerksgründung, Beratende Geologen GmbH.
- Dr. Muntzos & Schäfer. (02.01.2024). *Neubau einer Biogasanlage, 18195 Cammin-Prangendorf*. Sicker- und Retentionsbecken im Süden der geplanten Biogasanlage , Standsicherheit der Beckenböschungen, Beratende Geologen GmbH, 49536 Lienen.
- DWA-A 102-2. (2020). *Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen*.
- DWA-A 117. (2013). *Bemessung von Regenrückhalteräumen*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- DWA-A 138-1. (2020). *Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser - Teil 1: Planung, Bau, Betrieb*.
- DWA-A 792. (2018). *Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS) - Jauche-, Gülle- und Silagesickersaftanlagen (JGS-Anlagen)*.
- DWA-A 793-1:. (2021). *Technische Regel wassergefährdender Stoffe - Biogasanlagen - Teil 1: Errichtung und Betrieb von Biogasanlagen mit Gärsubstraten landwirtschaftlicher Herkunft*.
- DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6. (2008). Abflüsse aus Außengebieten der Kanalisation. *KA - Abwasser, Abfall*, 55(8), S. 850-859.
- DWA-M 102-3. (2021). *Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 3: Immissionsbezogene Bewertungen und Regelungen*.
- HAD. (2023). *Geoportal der BfG*. (B. f. Gewässerkunde, Herausgeber) Abgerufen am 08.2023 von Hydrologischer Atlas Deutschland: <https://geoportal.bafg.de>
- I.D.E.E. Ecological Engineering. (19.10.2023). *Bestimmung der Infiltrationsrate am geplanten Standort eines Versickerungsbeckens für Niederschlagsabflüsse*. Leipzig: Baeder-Bederski.
- KOSTRA-DWD 2020. (2023). *Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertung. Version 4.2.1.893*. itwh GmbH.
- REwS FGSV 539. (2021). *Richtlinien für die Entwässerung von Strassen* (Bd. 539). (F. f.-u. Verkehrswesen, Hrsg.)

