



Kläranlage Langenselbold



ERSTELLUNG EINER MACHBARKEITSSTUDIE FÜR DIE ERWEITERUNG DER KLÄRANLAGE LANGENSELBOLD

ERLÄUTERUNGSBERICHT

Mai 2021

INHALTSVERZEICHNIS

SEITE

Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Zusammenfassung	1
1 Veranlassung	3
2 Verwendete Unterlagen	4
3 Die Kläranlage Langenselbold	5
3.1 Kurzbeschreibung der Anlage	5
3.2 Lage der KA Langenselbold	5
4 Abwassertechnische Rahmenbedingungen	7
5 Betriebsdatenauswertung/Planungsgrundlagen	8
5.1 Ermittlung der relevanten Wassermengen	8
5.2 Ermittlung der relevanten Zulaufmengen – aktuelle Anlagenbelastung	10
5.3 Erzielte Ablaufqualitäten	12
5.4 Zukünftige Anlagenbelastung – Planungsgrundlagen	15
5.5 Belebtschlammigenschaften	17
6 Prüfung der Bestandsanlage auf Zukunftsfähigkeit	20
6.1 Nachweis der mechanischen Stufe	20
6.2 Nachweis der biologischen Stufe	21
7 Ausgangssituation Variantenerarbeitung	22
8 Lösungsvarianten	25
8.1 Variante 1 – Bestandsausbau	25
8.1.1 Verfahrenstechnische/hydraulische Lösung	25
8.1.2 Umsetzung im Lageplan	27
8.2 Variante 2 – Bestandsausbau und Erweiterung	30
8.2.1 Verfahrenstechnische/hydraulische Lösung	30
8.2.2 Umsetzung im Lageplan	32
8.3 Variante 3 – Neubau auf Erweiterungsfläche	36
8.3.1 Verfahrenstechnische/hydraulische Lösung	36
8.3.2 Umsetzung im Lageplan	39
9 Kostenbudgetierung	42
9.1 Investitionskosten	42
9.2 Betriebskosten	44
9.3 Jahreskosten und spezifische Behandlungskosten	45
10 Variantenbewertung	47

10.1	Erläuterungen zum Bewertungsschema der Lösungsvarianten	47
10.2	Bewertung der Lösungsvarianten	47
11	Terminschiene	51
12	Literatur.....	53
Anlage 1 – Technische Berechnung		A
Anlage 2 – Planunterlagen.....		B
Anlage 3 – Kostenbudgetierung.....		C
Anlage 4 – Bewertungsschema Varianten.....		D
Anlage 5 – Besprechungsvermerk.....		E

TABELLENVERZEICHNIS

Seite

Tabelle 1: Anforderungen an die Abwassereinleitung.	7
Tabelle 2: Relevante Abflussdaten der KA Langenselbold (Auswertung 01/2016 bis 12/2019)	10
Tabelle 3: Aktuelle Zulauffrachten der KA Langenselbold (01/2016 bis 12/2019)	12
Tabelle 4: Erzielte Ablaufqualitäten der KA Langenselbold im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019	13
Tabelle 5: Prognostizierte Anlagenbelastung/Zulauffrachten der KA Langenselbold	16
Tabelle 6: Prognostizierte Wassermengen der KA Langenselbold	17
Tabelle 7: Übersicht Investitionskosten der Lösungsvarianten [€].....	43
Tabelle 8: Übersicht Betriebskosten Lösungsvarianten [€/a]	45
Tabelle 9: Jahreskosten und spezifische Behandlungskosten der Varianten	46
Tabelle 10: Bewertungstabelle des Variantenvergleichs.....	50
Tabelle 11: Terminschiene Ertüchtigung KA Langenselbold	52

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite

Abbildung 1: Ermittelte Trockenwetterabflüsse nach DWA A 198 (2003).....	9
Abbildung 2: Verlauf der Zulaufkonzentrationen (24h-MP, 2016-2019).....	11
Abbildung 3: Verlauf der Zulauffrachten (24h-MP, 2016-2019).....	11
Abbildung 4: CSB- und BSB-Ablaufkonzentrationen im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019	14
Abbildung 5: N-Ablaufkonzentrationen im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019	14
Abbildung 6: P-Ablaufkonzentrationen im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019	15
Abbildung 7: Trockensubstanzgehalt des Belebtschlammes (2016 bis 2019).....	18
Abbildung 8: Schlammvolumenindex (2016 bis 2019)	19
Abbildung 9: Lösungsansatz eines 2. Nachklärbeckens (plakative Darstellung).....	22
Abbildung 10: Lösungsansatz eines 3. Belebungsbeckens bei aerober Stabilisierung (plakative Darstellung)	23
Abbildung 11: Lösungsansatz eines 3. Belebungsbeckens bei anaerober Stabilisierung (plakative Darstellung)	24
Abbildung 12: Verfahrenstechnische und hydraulische Lösung (Variante 1 „Bestandsausbau“).....	26
Abbildung 13: Abrissmaßnahmen (Variante 1 „Bestandsausbau“) (siehe Anlage 2)	29
Abbildung 14: Endausbau (Variante 1 "Bestandsausbau") (siehe Anlage 2).....	30
Abbildung 15: Verfahrenstechnische und hydraulische Lösung (Variante 2 "Bestandsausbau und Erweiterung").....	32
Abbildung 16: Abrissmaßnahmen (Variante 2 "Bestandsausbau und Erweiterung") (siehe Anlage 2).....	34
Abbildung 17: Endausbau Abwasserbehandlung (Variante 2 "Bestandsausbau und Erweiterung") (siehe Anlage 2)	35
Abbildung 18: Endausbau Übersicht (Variante 2 "Bestandsausbau und Erweiterung") (siehe Anlage 2).....	36
Abbildung 19: Verfahrenstechnische und hydraulische Lösung (Variante 3 "Neubau auf Erweiterungsfläche")	38
Abbildung 20: Endausbau (Variante 3: „Neubau auf der Erweiterungsfläche“) (siehe Anlage 2)	41

ZUSAMMENFASSUNG

Die bereits im Jahr 2018 durchgeführten Untersuchungen zur aktuellen Anlagenbelastung der KA Langenselbold führten zu dem Ergebnis einer Überlastung. Diese Feststellungen konnten in der vorliegenden Machbarkeitsstudie für die Erweiterung der Kläranlage Langenselbold bestätigt werden. In einer Schmutzfrachtberechnung der Planungsgemeinschaft Häfner-Oefner (2021) konnten zudem zukünftige hydraulische und stoffliche Belastungsdaten ausgemacht werden. Bisher können auf der KA Langenselbold keine Überschreitungen der Ablaufwerte festgestellt werden. Die Messungen finden jedoch bisher nur für die 24h-Mischproben statt und nicht für die auch überwachungsrelevanten 2h-Mischproben die auch üblicherweise höhere Konzentrationen aufweisen.

Eine Nachrechnung der biologischen Stufe führte zu dem Ergebnis, dass die Anlage für den derzeitigen Betrieb überlastet ist. Es besteht kein regelkonformer Betrieb. Auch bei einer Umstellung der Betriebsweise wäre eine zweite Nachklärung zur Redundanz (insbes. für den Fall einer Sanierung) notwendig. Für die Belebung ergibt sich ebenfalls ein Erweiterungsbedarf, welcher bei Umstellung auf anaerobe Schlammstabilisierung bei 1.450 - 1800 m³ liegt. Die Prüfung der Bestandsanlage auf Zukunftsfähigkeit führte neben einer stofflichen und hydraulischen Überlastung der biologischen Stufe zu baulichen und verfahrenstechnischen Defiziten in der Zulaufgruppe (Rechen, Sand-/Fettfang). Des Weiteren wurden die Räumlichkeiten des Betriebsgebäudes als den Arbeitsstättenrichtlinien und als für die Anlagengröße nicht angemessen bewertet. Die Schaltanlagen sind ebenfalls an den regelkonformen Stand der Technik anzupassen.

Auf Basis der Nachprüfung der KA Langenselbold wurden drei Ertüchtigungsvarianten erarbeitet. Die Variante 1 „Bestandsausbau“ setzt auf den Einsatz von platzsparenden Membranbioreaktoren, wobei durch den Verzicht auf die Nachklärung und das zweite Belebungsbecken Raum geschaffen würde, um auf eine anaerobe Schlammstabilisierung (Faulung) umzurüsten. Die Variante 2 „Bestandsausbau und Erweiterungsfläche“ setzt weiter auf bewährte Technik und löst das Defizit in der Biologie durch Anhebung der Bauwerkskronen der Belebung. Eine Auslagerung der Schlammbehandlung auf die Erweiterungsfläche verhindert eine zu enge Bebauung. In Variante 3 „Neubau auf der Erweiterungsfläche“ werden das Problem der Anlagenüberlastung und alle (verfahrens)technischen und baulichen Defizite durch den Bau einer neu bemessenen Anlage auf einer nördlichen Erweiterungsfläche gelöst.

Als Vorzugskonzept wurde die Variante 3 „Neubau auf Erweiterungsfläche“ herausgearbeitet. Gegenüber der in den Investitionskosten günstigeren Variante 2 „Bestandsausbau und Erweiterungsfläche“ bietet die Vorzugsvariante einige wesentliche Vorteile. Alle Anlagengruppen können redundant ausgelegt werden (darunter auch die Nachklärung). Die erforderliche Größe der Belebungsbecken kann auf der neuen Fläche ohne Sondermaßnahmen (wie eine nachträgliche, statisch anspruchsvolle Anhebung der Bauwerkskronen um 1,50m) verwirklicht werden. Die Umbauphase führt lediglich bei der Vorzugsvariante zu einem reibungslosen Übergangsbetrieb, indem keine provisorischen

Maßnahmen auf der Bestandsanlage nötig wären. Des Weiteren unterscheidet sich die Vorzugsvariante in Ihrer Zukunftsfähigkeit deutlich von den anderen beiden Konzepten. Verfahrenstechnische Erweiterungen werden auch in Zukunft möglich sein, ohne auf weitere Flächen ausweichen zu müssen. Was eine vierte Reinigungsstufe angeht, sind in dieser Variante keine Einschränkungen bei der Wahl der Technologie vorhanden. Unter Berücksichtigung dieser und weiterer in der Studie diskutierten Aspekte ist auch aus ökonomischer Sicht ein Neubau zu favorisieren, da Reinvestitionen in Zukunft mit deutlich niedrigerem Aufwand umsetzbar wären. Für die zu wählende Erweiterungsfläche ist in der weiteren Planung eine Untersuchung von Alternativen vorzunehmen, um sicher zu gehen, dass nicht unnötigerweise in Schutzgebiete eingegriffen wird. Derzeit sieht es aufgrund der Lage von Kanalisation und Vorfluter so aus, als ob sich der Eingriff in die Landschaftsschutzgebiete nicht vermeiden ließe.

Für die Ertüchtigung der KA Langenselbold (unter Berücksichtigung der städtebaulichen Entwicklung bis 2030/40) mit der Vorzugsvariante wurde unter Einbeziehung einer Kostensteigerung von 10 % bis zum Baubeginn eine Gesamtbruttoinvestitionshöhe von ca. 28,1 Mio. € geschätzt. Die überschlagenen Betriebskosten lägen jährlich bei 922.300 €/a. Auf Grundlage einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung (DWA, 2012) über einen Abschreibungszeitraum von 30 Jahren wurden die Jahreskosten in Höhe von 2.710.000 €/a ermittelt. Gegenüber der bisherigen Abwassergebühr (für die Kläranlage) von 1,67 €/m³ liegt die neue Zahl (Jahreskosten bezogen auf die Schmutzwassermenge) bei 3,14 €/m³ für die vollständig ertüchtigte Kläranlage.

Für die Gesamtdauer bis zur Fertigstellung der Planungs-, Vergabe- und Baumaßnahmen wird ein Umsetzungszeitraum von ca. 6,5 Jahren veranschlagt. Bei einem Beginn der Umsetzung der Maßnahmen im September 2021 läge die Fertigstellung der Erweiterungsmaßnahme im März des Jahres 2028.

Darmstadt, den 20.05.2021

UNGER ingenieure

Ingenieurgesellschaft mbH

Marcus Peter Stein, M. Sc.

ppa. Dr.-Ing. Lutz Härtel

1 VERANLASSUNG

Bereits im Jahre 2018 wurden Untersuchungen zur derzeitigen Anlagenbelastung der KA Langenselbold durchgeführt. Als Ergebnis der damaligen Begutachtung ist festzuhalten, dass auf der Anlage ein Handlungs- und Sanierungsbedarf besteht und dass eine phasenweise Überlastung beobachtet werden kann. Damit die Umsetzung der geplanten städtebaulichen Erweiterungen im angedachten Zeithorizont stattfinden kann, ist demzufolge eine Lösung für die Abwasserentsorgung/-behandlung der Stadt zu finden.

In diesem Zuge wurde vom Magistrat der Stadt Langenselbold auf Basis der bereits gewonnenen Erkenntnisse ein Arbeitsprogramm aufgestellt, welches als Grundlage einer Machbarkeitsstudie für die Erweiterung der KA Langenselbold dient. Als wesentliche Vorgabe ist die Umstellung auf die Verfahrenstechnik einer anaeroben Stabilisierung (Faulung) zu erwähnen, die für Kläranlagen größer 20.000 EW eine wirtschaftliche und energieoptimierte Abwasserreinigung gewährleistet. Für die Ausarbeitung der Untersuchungsvarianten sind eine Ertüchtigung der Anlage im Bereich des bestehenden KA-Geländes bis hin zum Neubau auf einer nördlich gelegenen Erweiterungsfläche vorgesehen.

UNGER ingenieure wurde vom Magistrat der Stadt Langenselbold mit der Durchführung der beschriebenen Machbarkeitsstudie beauftragt. Mit dem darüber hinaus an die Planungsgemeinschaft Häfner-Oefner erteilten Auftrag für eine Schmutzfrachtberechnung (im Weiteren mit SMUSI abgekürzt) sollen die erforderlichen Maßnahmen im Kanalnetz aufgezeigt sowie eine Einschätzung für die zukünftige hydraulische und stoffliche Belastung der KA Langenselbold getroffen werden. Neben einer Bewertung der derzeitigen und zukünftigen Anlagenauslastung werden in der vorliegenden Machbarkeitsstudie Maßnahmen im Zusammenhang mit einer „4. Reinigungsstufe“ (Spurenstoffelimination) erarbeitet sowie eine Kostenbudgetierung und Bewertung der untersuchten Varianten dokumentiert. Das Konzept berücksichtigt auch die städtebauliche Entwicklung der Stadt Langenselbold bis 2030/40.

2 VERWENDETE UNTERLAGEN

Im Rahmen der Bearbeitung wurden neben den Literaturangaben im Text nachfolgend aufgeführte Dokumente verwendet:

- Betriebsdaten der KA Langenselbold von 2016 – 2019
- Bauwerkspläne der KA Langenselbold
- Lageplan der KA Langenselbold
- Arbeitsplan der Magistrat Langenselbold: „Konzept zur baulichen Erweiterung und verfahrenstechnischen Modernisierung der Kläranlage der Stadt Langenselbold“ (April, 2019)
- Besprechungsvermerk vom 24.02.2020 auf der Kläranlage Langenselbold
- Liegenschaftskataster, Schutzgebietskarten und Hochwasserkarten des Geoportal Hessen
- Bewirtschaftungsplan (Maßnahmenplan) für das FFH-Gebiet „Kinzigau von Langenselbold“ vom Regierungspräsidium Darmstadt (Juni, 2014)
- Luftbilder der KA Langenselbold von Google Maps
- „Örtliche Feststellung zum Zustand der Klärbecken“ vom Bieker & Partner – Architektur- und Sachverständigenbüro (Juli, 2017)
- Erläuterungsbericht und Anlagen der „Schmutzfrachtberechnung SMUSI für das Einzugsgebiet der KA Langenselbold“ der Planungsgemeinschaft Häfner-Oefner (Februar, 2021)
- Erläuterungsbericht und Anlagen der „Kapazitätsprüfung der Kläranlage und Erarbeitung von Erweiterungsmöglichkeiten“ der Planungsgemeinschaft Häfner-Oefner (Juli, 2018)

3 DIE KLÄRANLAGE LANGENSELBOLD

3.1 Kurzbeschreibung der Anlage

Die Kläranlage wurde 1987 gebaut. Ursprünglich war die Kläranlage auf eine Belastung von 18.000 EW ausgelegt. Zurzeit sind ca. 15.000 natürliche Einwohner angeschlossen.

Auf der Kläranlage wird das zugeführte Abwasser zunächst mittels trocken aufgestellter Rohwasserpumpen auf die erforderliche Höhe angehoben. Im Anschluss fließt das Abwasser einem Siebrechen zur Abscheidung des Rechenguts zu. Die Sand- und Fettabseidung erfolgt darauf in einem belüfteten Langsandfang mit integriertem Fettfang. Da es sich um eine aerob stabilisierende Anlage handelt, fließt das Abwasser dann über ein Verteilerbauwerk den beiden Belebungsbecken für die biologische Reinigung zu. Die Denitrifikation findet vorgeschaltet im inneren Zylinder des Belebungsbeckens statt. Eine biologische Phosphor-Eliminierung ist nicht gezielt integriert. Die chemische Phosphor-Entfernung findet durch Zugabe von Fällmittel (Eisen-III-Chlorid) statt. Die Feststoffabtrennung findet in einem ein-straßigen runden horizontal durchflossenen Nachklärbecken statt.

Der aerob-stabilisierte Schlamm wird eingedickt und nach Konditionierung mittels Kalk/Eisen in einer Kammerfilterpresse entwässert. Alle anfallenden Reststoffe (Rechengut, Sandfanggut und Schlamm) werden von externen Unternehmen entsorgt und verwertet. Das bei der Schlammbehandlung anfallende Prozesswasser wird zwischengespeichert und gesteuert dem Abwasserreinigungsprozess zugeführt.

3.2 Lage der KA Langenselbold

Die Kläranlage selbst befindet sich im FFH- Gebiet „Kinzigau von Langenselbold“. Die umgebenden Flächen sind weitestgehend Teil des FFH-Gebiets. An der südlichen Seite grenzt das bebaute KA-Gelände durchgehend am Ruhlgraben. Nördlich und westlich wird das Gelände von der Gründau umflossen. Nördlich der Gründau befinden sich extensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen, welche gleichzeitig als Überflutungsflächen für Kinzig und Gründau dienen. Diese Flächen können als potentielle Erweiterungsfläche angesehen werden. Für eine überflutungssichere Herstellung von Anlagen auf der nördlichen Fläche ist jedoch zu berücksichtigen, dass Retentionsraum ortsnahe, zeitgleich (bzw. mit Antrag auf Übergangszeit) und im gleichen Umfang zur Verfügung gestellt werden muss. Kompensation für den Wertverlust der Fläche kann entweder durch monetären Ausgleich oder im Falle eines Neubaus (nördlich der Gründau) durch Aufwertung der Fläche der zurückgebauten Bestandskläranlage (südlich der Gründau) gegeben sein. Eine Erweiterung der Kläranlage im westlichen Bereich zwischen Gründau und KA-Gelände wird aufgrund des dort ausgewiesenen Biototyps 04.222 („Große Flachlandbäche bis kleine Flachlandflüsse“) als nicht genehmigungsfähig eingeschätzt. Ob und wie weitgehend eine Erweiterung an der östlichen Grenze der Kläranlage im Bereich des jetzigen Kläranlagenzulaufs genehmigungsfähig ist, steht offen und bedarf einer Beurteilung der Behörden. Grundsätzlich ist in der Vorplanung eine Alternativen-Untersuchung zur hier gewählten

Erweiterungsfläche vorzunehmen und die Wahl der Erweiterungsfläche entsprechend zu begründen.

4 ABWASSERTECHNISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

An das Abwasser werden zur Einleitung in die Kinzig die nachfolgend in Tabelle 1 aufgeführten Anforderungen gestellt.

Tabelle 1: Anforderungen an die Abwassereinleitung.

Parameter	Einheit	Abwasserverordnung (GK 4) ¹⁾	Überwachungswerte Kläranlage Langenselbold ¹⁾
CSB	mg/l	90	28
BSB ₅	mg/l	20	20
NH ₄ -N	mg/l	10	10
N _{ges,anorg}	mg/l	18	18
P _{ges}	mg/l	2	0,7 ²⁾

¹⁾ Qualifizierte Stichprobe oder 2-Stunden-Mischprobe

²⁾ Entsprechend WRRL-Maßnahmenprogramm des Landes Hessen (in der 2-Stunden-Mischprobe)

5 BETRIEBSDATENAUSWERTUNG/PLANUNGSGRUNDLAGEN

Die Betriebsdatenauswertung erfolgt gemäß dem aktuellen Regelwerk der DWA/ATV [DWA-A 131 (2016) und ATV-DVWK-A 198 (2003)]. Zur Auswertung lagen Betriebsdaten von 01/2016 bis 12/2019 vor. Die aktuell genehmigte Mischwassermenge Q_M von 211 l/s wird im Rahmen der SMUSI überprüft und im Einklang mit den anstehenden Maßnahmen im Kanalnetz neu definiert (siehe Abschnitt 5.4). Anhand der im genannten Zeitraum gemessenen 24h-MP vom Kläranlagenablauf wird überprüft, ob die Einhaltung der Überwachungswerte (siehe Abschnitt 4) gegeben ist. Für die Festlegung der relevanten Zulauffrachten zur biologischen Behandlungsstufe werden die Frachten der internen Rückbelastung nachträglich aus der Schlammbehandlung mitberücksichtigt. Mit dem sich aus der SMUSI ergebenden Einwohnerzuwachs und der derzeitigen Anlagenbelastung wird die zukünftige Belastung als Planungsgrundlage für den Nachweis bzw. die Neuplanung der verfahrenstechnischen Einheiten ermittelt. Weitere Belastungsdaten finden sich in Anlage 1 „Technische Berechnung“.

5.1 Ermittlung der relevanten Wassermengen

Aus der Auswertung der Betriebsdaten 01/2016 bis 12/2019 ergibt sich der tägliche Trockenwetterabfluss $Q_{T,d}$ (Bestimmung über die gleitende 21-Tage-Minima):

$Q_{T,d}$ 3.183 m³/d (Mittelwert) zum Vergleich: 4.065 m³/d (85-Perzentil)

Nach ATV-DVWK-A 198 (2003) Bild 1 berechnet sich der Mischwasserabfluss Q_M zur Kläranlage:

$$Q_M = f_{S,QM} + Q_{S,aM} + Q_{F,aM} = 6 \cdot 20,3 \text{ l/s} + 16,6 \text{ l/s} = 138,1 \text{ l/s}$$

mit $f_{S,QM} = 4,5 \text{ bis } 7,5$ für 15.000 EW (nach A 198, 2003 Bild 1; Mittelwert: 6,0)

$$Q_{F,aM} = 1.433 \text{ m}^3/\text{d} = 16,6 \text{ l/s}$$

berechnet aus der Differenz des mittleren täglichen Trockenwetteranfalls und des mittleren täglichen Trinkwasserverbrauchs mit $Q_{T,d,aM} = 3.183 \text{ m}^3/\text{d}$ und $Q_{Trinkw.d,aM} = 1.750 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_{Trinkw.d,aM} = Q_{S,aM}$)

$$Q_{S,aM} = 638.922 \text{ m}^3/\text{a} = 20,3 \text{ l/s}$$

Damit liegt der berechnete Wert deutlich unter der bisher genehmigten Menge von 211 l/s.

Der Spitzenabfluss bei Trockenwetter kann nach A 198 (2003) wie folgt berechnet werden:

$$Q_{T,max} \text{ oder } Q_{t,X} = \frac{24 \times Q_{S,aM}}{X_{Qmax}} + Q_{F,aM} = \frac{24 \times 20,3 \text{ l/s}}{14,5} + 16,6 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 50,1 \text{ l/s}$$

mit $X_{Qmax} = 13 \text{ bis } 16$ für 15.000 EW (nach A 198, 2003 Bild 2; Mittelwert: 14,5)

Im Jahresmittel beträgt der Trockenwetterabfluss:

$$Q_{T,aM} = Q_{S,aM} + Q_{F,aM} = 20,3 \text{ l/s} + 16,6 \text{ l/s} = 36,8 \text{ l/s}$$

Das Verhältnis $Q_{M,berechnet}/Q_{t,X}$ ergibt sich wie folgt:

$$Q_{M,berechnet}/Q_{t,X} = 138,1 \text{ l/s} / 50,1 \text{ l/s} = 2,76$$

Das Verhältnis der derzeit genehmigten Mischwassermenge zum Trockenwetterabfluss liegt wesentlich höher:

$$Q_{M,Bestand}/Q_{t,X} = 211 \text{ l/s} / 50,1 \text{ l/s} = 4,21$$

Für dieses Verhältnis besteht die Gefahr, dass bei plötzlichem Anstieg der Zulaufwassermenge ein großer Teil des Belebtschlammes in die Nachklärung geschwemmt wird. Daher ist anzudenken, eine neue Mischwassermenge zu definieren, um eine Überlastung der Nachklärung und erhöhten Flockenabtrieb bei Spitzenabflüssen zu vermeiden. Dazu sind Überlegungen zu erforderlichen Maßnahmen im Kanalnetz miteinzubeziehen.

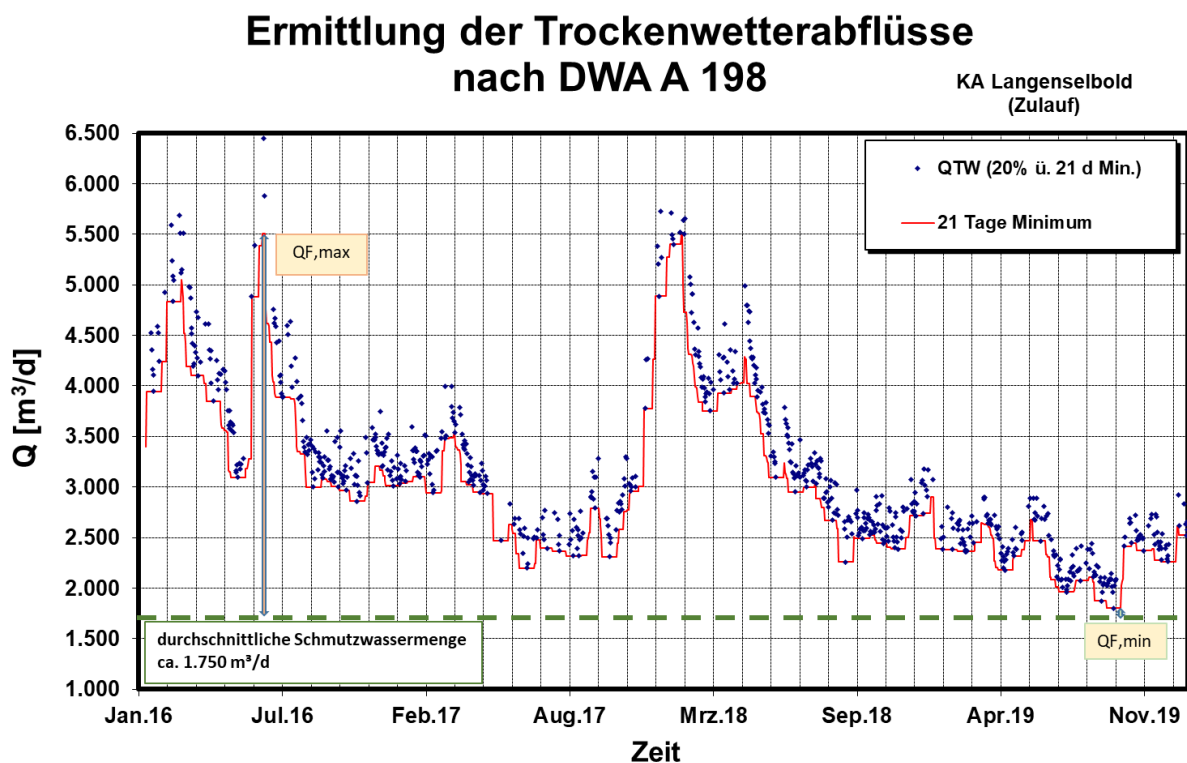


Abbildung 1: Ermittelte Trockenwetterabflüsse nach DWA A 198 (2003)

Abbildung 1 zeigt die nach DWA-A 198 (2003) ermittelten Trockenwetterabflüsse bezogen auf die durchschnittliche Schmutzwassermenge. Der Fremdwasseranteil ergibt sich aus der Differenz. Es zeigt sich ein deutlicher Jahresgang des Fremdwassers mit Maximalwerten von ca. $3.755 \text{ m}^3/\text{d}$ und Minimalwerten von ca. $51 \text{ m}^3/\text{d}$. Der mittlere Fremdwasseranteil von $1.433 \text{ m}^3/\text{d}$ bezogen auf $Q_{S,aM}$ ($1.750 \text{ m}^3/\text{d}$) ist mit 82% als moderat anzusehen. In Tabelle 2 sind alle Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 2: Relevante Abflussdaten der KA Langenselbold (Auswertung 01/2016 bis 12/2019)

Bestand	Wassermengen		m ³ /d	m ³ /h	l/s
	QT,aM	Mittelwert	3.183	133	36,8
		85%	4.065	169	47,0
	Qs,aM (aus TW-Verbrauch)	Mittelwert	1.750	73	20,3
	QF,aM	Mittelwert	1.433	60	16,6
		min	51	2	0,6
		max	3.755	156	43,5
	Qt,max oder Qt,x ($xQ_{\max} \cdot Q_{s,aM} \cdot 24 + Q_{F,aM}$)	Mittelwert	4.330	180	50,1
	xQ _{max} aus Bild 2, A 198	min	13		
		max	16		
	Qm ($f_{S,QM} \cdot Q_{s,M} + Q_{F,aM}$)	Mittelwert	11.936	497	138,1
		min	9.310	388	107,8
		max	14.561	607	168,5
	f _{S,QM} aus Bild 1, A 198	min	4,5		
		max	7,5		

5.2 Ermittlung der relevanten Zulaufmengen – aktuelle Anlagenbelastung

Zur Auswertung lagen Betriebsdaten von 01/2016 bis 12/2019 vor. Die Verläufe der Zulaufkonzentrationen und Zulaufmengen von CSB, BSB, TNb und Pges sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Die einzelnen Nährstoff-Konzentrationen bzw. -Mengen weichen teilweise deutlich von den gekennzeichneten Mittelwerten ab, verhalten sich jedoch in der Regel ähnlich. In den belastungsstarken Perioden lagen alle Werte überdurchschnittlich hoch (korrespondierend in den belastungsschwachen niedrig), sodass trotz deutlichen Veränderungen der Anlagenbelastung ähnliche – für den biologischen Abbau günstige – Nährstoffverhältnisse im Kläranlagenzulauf herrschten.

Zulaufkonzentration

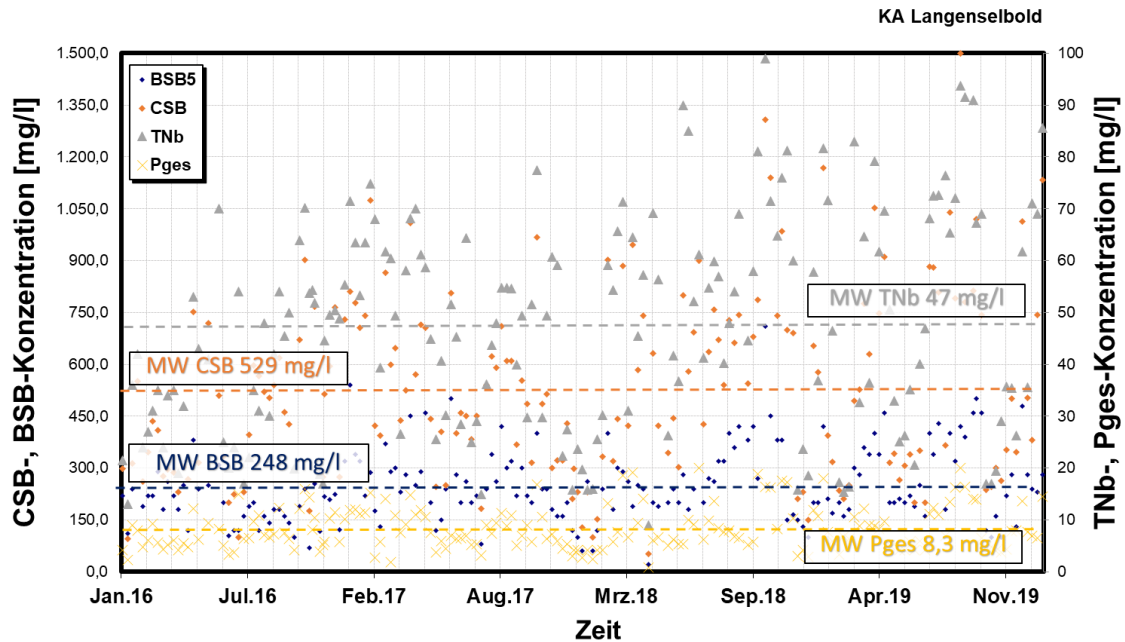


Abbildung 2: Verlauf der Zulaufkonzentrationen (24h-MP, 2016-2019)

Zulauffrachten

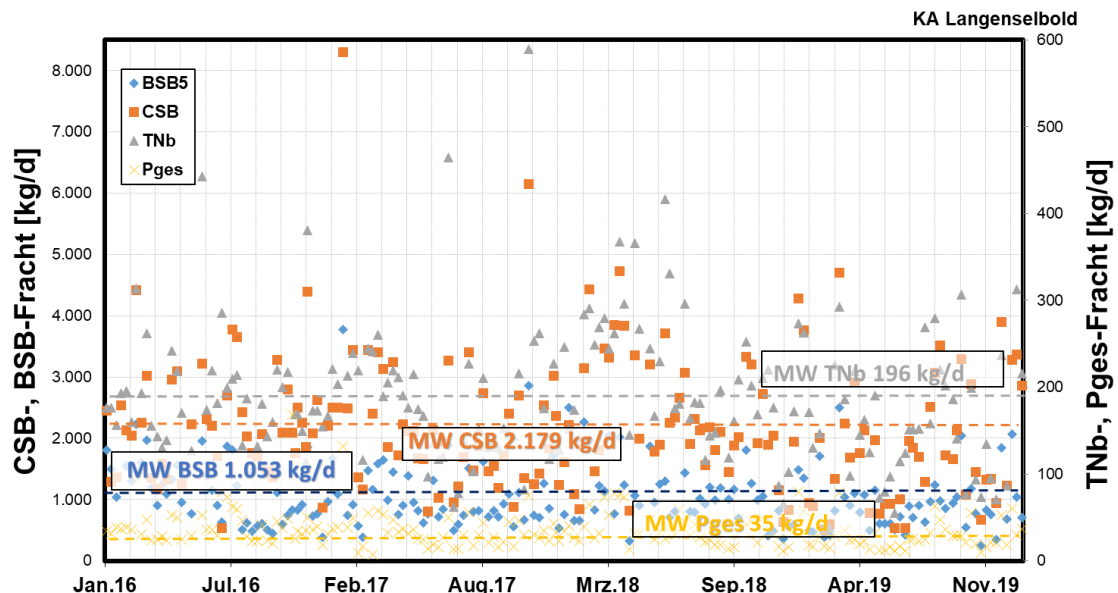


Abbildung 3: Verlauf der Zulauffrachten (24h-MP, 2016-2019)

In Tabelle 3 sind die Zulauffrachten zusammengefasst. Die maßgebenden Frachten wurden aufgrund der unzureichenden Probandichte zur Ermittlung von Wochenmittel (mindestens vier verwertbare Tagesfrachten pro Woche nach ATV-A 198, 2003) als 85%-Perzentile ermittelt. Dafür lagen ausreichend Daten vor ($n=52 > \text{mindestens } 40 \text{ Werte}$, nach ATV-A 198). Mithilfe der einwohnerspezifischen Frachten der ATV-A 198 (2003) lassen sich die in Tabelle 3 dargestellten frachtbasierten Einwohnerwerte ermitteln. Diese schwanken in Abhängigkeit des betrachteten Parameters zwischen 23.800 und 29.000 EW. Daraus ergibt sich ein Mittelwert von 26.700 EW. Dies entspricht bezogen auf die bisherige Ausbaugröße der KA Langenselbold von 18.000 EW einer Überlastung von zusätzlichen 48%.

Tabelle 3: Aktuelle Zulauffrachten der KA Langenselbold (01/2016 bis 12/2019)

alle Tage (RW+TW) - Bestand	Frachten	Fracht BSB	Fracht CSB	Fracht P _{ges}	Fracht N _{ges}
	Mittelwert	1.053	2.179	35,2	196
	max	3.769	8.304	169,0	635,8
	min	252	512	7,2	38
	85 %-Wert	1.594	3.279	52,2	262,2
	<i>g/EW/d</i>	60	120	1,8	11
	EW	26.560	27.325	29.021	23.836
	Mittelwert d. 85 %- Werte (gerundet)	26.700			

5.3 Erzielte Ablaufqualitäten

Tabelle 4 zeigt die erzielten Ablaufqualitäten im ausgewerteten Zeitraum 01/2016 bis 12/2019 im Vergleich zu den geltenden Überwachungswerten. Es ist festzuhalten, dass die Überwachungswerte zumindest für die 24h-MP im gesamten Zeitraum nicht überschritten wurden. Dies lässt sich auch in Abbildung 4 für die organischen Summenparameter und in Abbildung 5 für die Stickstoff-Parameter über die Zeit nachvollziehen. In Tabelle 4 sind für die Stickstoff-Parameter auch die Daten aus der kalten Jahreszeit mitinbegriffen. Dementsprechend fand die biologische Kohlenstoff- und Stickstoffentfernung durchgängig in ausreichendem Maße statt. Für P_{ges} wurden Ablaufwerte über dem neu definierten Überwachungswert von 0,70 mg/l gemessen, wie jedoch Abbildung 6 zu entnehmen ist, gilt dieser strengere Wert erst seit dem 01.07.2018 und wurde durchgehend eingehalten. Da die Überwachungswerte ebenso für die

2h-MP gelten, auf der KA Langenselbold bis dato jedoch nur 24h-MP ausgewertet wurden, ist eine abschließende Aussage zum Einhalten der Ablaufwerte jedoch nicht möglich.

Tabelle 4: Erzielte Ablaufqualitäten der KA Langenselbold im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019

Überwachungswerte	< 20 mg/l	< 28 mg/l	< 10 mg/l			< 18 mg/l	< 0,7 mg/l
	BSB5	CSB	NH4-N	NO3-N	NO2-N	Nges (Nanorg)	Pges
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Ablaufkonzentrationen (gesamt)						
Mittelwert	2,5	16,4	0,2	3,6	0,1	3,7	0,2
Max	5,0	25,0	1,9	8,1	1,0	8,1	0,9
Min	0,8	8,8	0,1	1,2	0,1	1,3	0,1
85-Perzentil	3,0	20,0	0,3	4,4	0,1	4,6	0,4

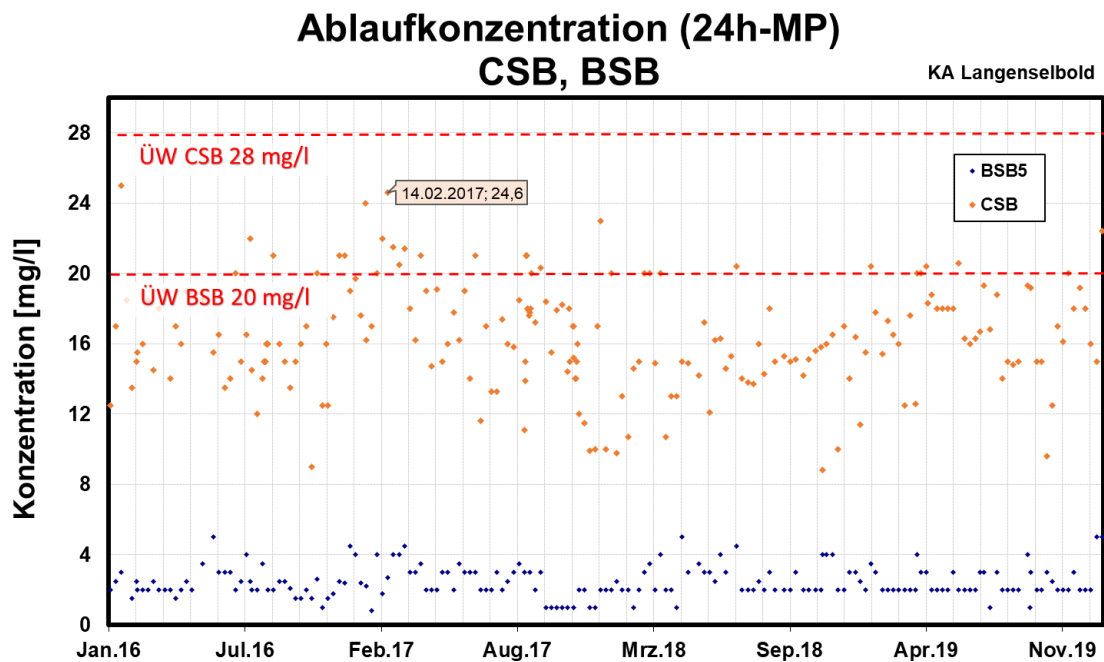


Abbildung 4: CSB- und BSB-Ablaufkonzentrationen im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019

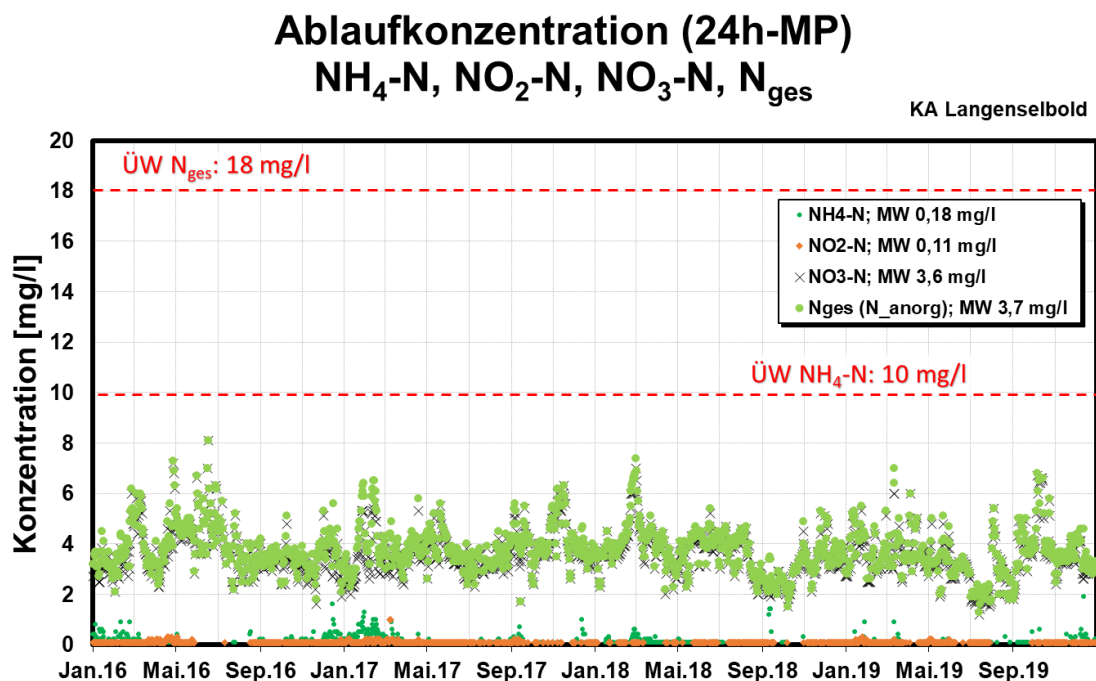


Abbildung 5: N-Ablaufkonzentrationen im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019

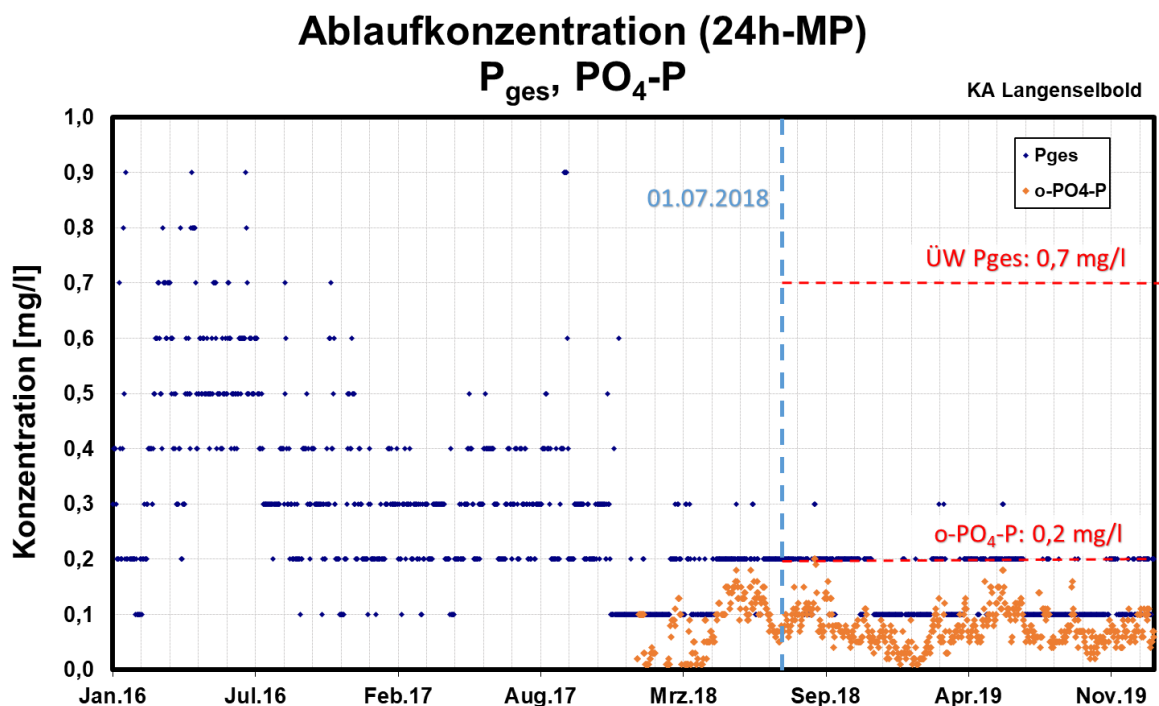


Abbildung 6: P-Ablaufkonzentrationen im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019

5.4 Zukünftige Anlagenbelastung – Planungsgrundlagen

Für die Prognose der Belastung der KA Langenselbold wird in der von der Planungsgemeinschaft Häfner-Oefner durchgeführten SMUSI ein Planungshorizont bis 2030 zu Grunde gelegt. Laut Aussagen des Tiefbauamts sind die dort berücksichtigten Flächenerweiterungen teilweise sogar erst bis 2040 umsetzbar, sodass die getroffenen Annahmen sogar für einen größeren Planungshorizont gelten. Weitere Informationen zur Herleitung der Prognosedaten sind in der Studie zur SMUSI (Häfner-Oefner, 2021) nachzulesen. Aus dem prognostizierten Einwohnerzuwachs ergibt sich die in Tabelle 5 dargestellte Anlagenbelastung von 32.230 EW. Mithilfe der einwohnerspezifischen Frachten der ATV-A 198 (2003) lassen sich die neuen Bemessungsfrachten zu Grunde legen. In Tabelle 6 wurden die derzeitigen Wassermengen mit dem prognostizierten Zuwachs verrechnet. Daraus ergeben sich als Planungsgrundlage ein durchschnittlicher Trockenwetterabfluss $Q_{T,aM}$ von 4.338 m³/d sowie eine Mischwassermenge Q_M von 168 l/s. Diese liegt wie bereits für die Betrachtung des IST-Zustands unter der derzeit genehmigten Mischwassermenge von 211 l/s (760 m³/h).

Tabelle 5: Prognostizierte Anlagenbelastung/Zulauffrachten der KA Langenselbold

alle Tage (RW+TW) - Bestand	Frachten	Fracht BSB	Fracht CSB	Fracht P_{ges}	Fracht N_{ges}
	Mittelwert	1.053	2.179	35,2	196
	max	3.769	8.304	169,0	635,8
	min	252	512	7,2	38
	85 %-Wert	1.594	3.279	52,2	262,2
	$g/EW/d$	60	120	1,8	11
	EW	26.560	27.325	29.021	23.836
	Mittelwert d. 85 %- Werte (gerundet)	26.700			
Prognose	Einwohnerzuwachs gem. H&Ö-SMUSI-Studie (2/21)	5.530			
	neue Ausbaugröße	32.230			
	$g/EW/d$	60	120	1,8	11
	Frachtzuwachs in kg/d	332	664	10,0	60,8
	neue Bemessungsfrachten in kg/d	1.925	3.943	62,2	323,0

Tabelle 6: Prognostizierte Wassermengen der KA Langenselbold

	Wassermengen		m ³ /d	m ³ /h	l/s
Bestand	QT,aM	Mittelwert	3.183	133	36,8
		85%	4.065	169	47,0
	Qs,aM (aus TW-Verbrauch)	Mittelwert	1.750	73	20,3
	QF,aM	Mittelwert	1.433	60	16,6
		min	51	2	0,6
		max	3.755	156	43,5
	Qt,max oder Qt,x (xQmax*Qs,aM*24+QF,aM)	Mittelwert	4.330	180	50,1
	xQmax aus Bild 2, A 198	min	13		
		max	16		
Prognose	Zuwachs Qs,aM (mit 110 l/EW/d)		608	25	7,0
	Qs,aM - Prognose		2.359	98	27,3
	Zuwachs QF,aM (mit 0,05 l/s/ha, bei Flächen-zuwachs von 126,5 ha)		546	23	6,3
	QF,aM - Prognose		1.979	82	22,9
	QT,aM - Prognose		4.338	181	50,2
	Qt,max oder Qt,x (xQmax*Qs,aM*24+QF,aM)	Mittelwert	5.883	245	68,1
	xQmax aus Bild 2, A 198	min	13		
		max	16		
	Qm aus SMUSI-Prognoseberechnung		14.515	605	168,0

5.5 Belebtschlammigenschaften

Abbildung 7 zeigt den Trockensubstanzgehalt in den Belebungsbecken im Zeitraum 01/2016 bis 12/2019 an. Der Mittelwert lag mit 7,6 g/l vergleichsweise sehr hoch, was auf eine Anlagenüberlastung hindeutet und eine Verschiebung der Überlastung in die Nachklärung. Die teilweise deutlichen Abweichungen vom Mittelwert (min: 3,0 g/l; max: >12,0 g/l) korrespondieren

bei näherer Betrachtung mit den Schwankungen der Zulaufsruchten. Die in Abbildung 8 dargestellten Werte des Schlammvolumenindex sind dagegen (im Mittel 7,2 ml/g) vergleichsweise niedrig. Die gute Absetzbarkeit ist zum einen darauf zurückzuführen, dass bisher kein Primärschlamm mit seinen strukturgebenden Stoffen entnommen wird. Darüber hinaus werden laut dem Betriebsleiter Chemikalien dazu dosiert, um die Flockenstruktur zu verbessern und einen durch den hohen Trockensubstanzgehalt bedingten Flockenabtrieb in der Nachklärung zu verhindern.

Trockensubstanzgehalt in den Belebungsbecken

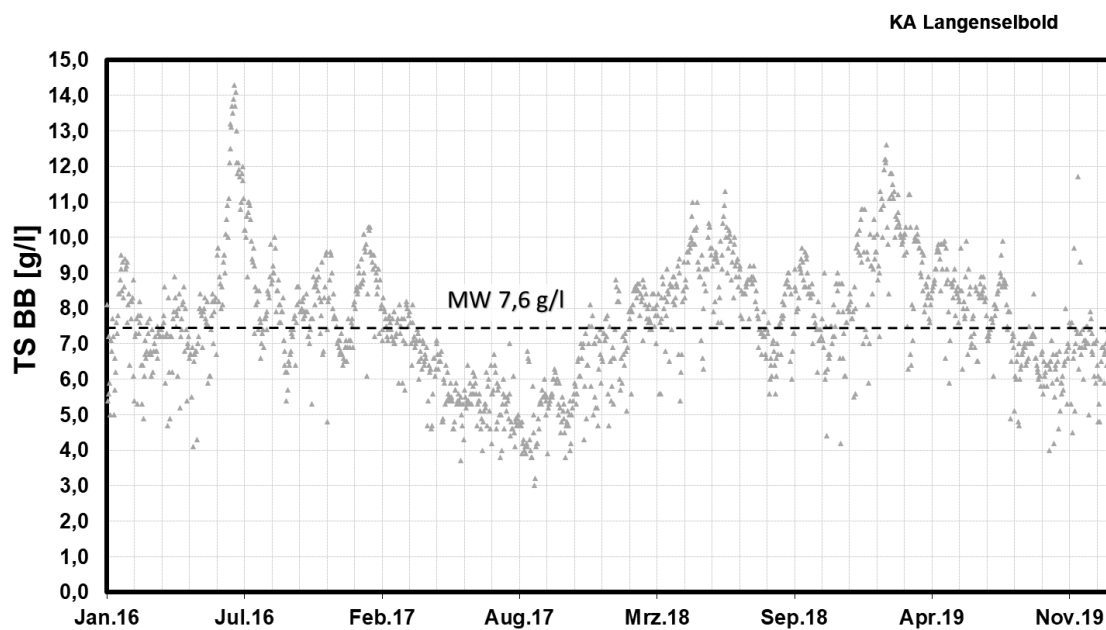


Abbildung 7: Trockensubstanzgehalt des Belebtschlamm (2016 bis 2019)

Schlammvolumenindex in den Belebungsbecken

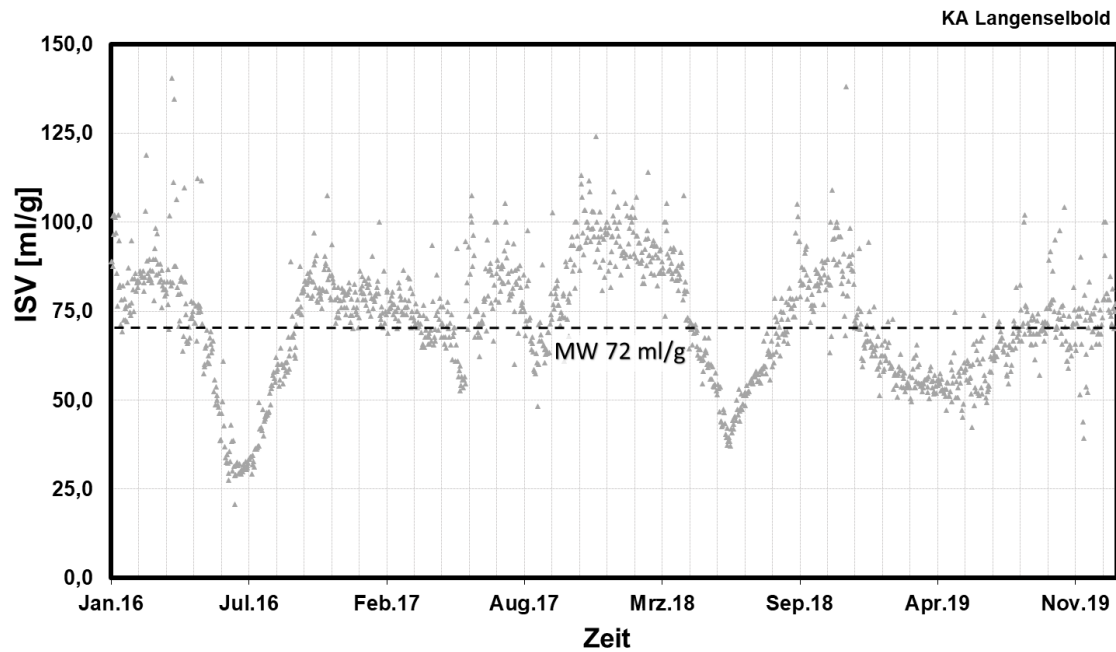


Abbildung 8: Schlammvolumenindex (2016 bis 2019)

6 PRÜFUNG DER BESTANDSANLAGE AUF ZUKUNFTSFÄHIGKEIT

Zur Beurteilung der aktuellen Betriebssituation wurde auf Grundlage der in den Kapiteln 4 und 5 ermittelten Zulaufbedingungen und einzuhaltenden Überwachungswerten die einzelnen Verfahrensstufen der KA Langenselbold nach dem aktuellen Regelwerk bemessen und ihre Zukunftsfähigkeit überprüft. Die Berechnungsschritte der einzelnen Nachweise sind in Anlage 1 „Technische Berechnung“ nachzuvollziehen.

6.1 Nachweis der mechanischen Stufe

Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte festhalten:

- Rechen
 - Kein Handlungsbedarf aus verfahrenstechnischer Sicht.
 - Verglichen mit Literaturwerten passt der Rechengutanfall zu den in Abschnitt 5.2 ermittelten Anlagenbelastung von 26.700 EW.
 - ABER: Rechen ist mit über 30 Jahren als veraltet anzusehen.
 - Aus betrieblicher ist eine zweistraßige Ausführung zu empfehlen.
- Sandfang
 - 100%iger Abscheidegrad für Sandkörner mit einem Durchmesser von 0,13 - 0,16 mm bei Trockenwetter in Ordnung
 - ABER: bei Regenwetter (168 l/s bzw. 605 m³/h) 100%iger Abscheidegrad nur für Sandkörner zwischen 0,20 – 0,25 mm, was auf Dauer zu erhöhtem Verschleiß bei Pumpen und zu Ablagerungsproblemen führen wird.
 - Verglichen mit Literaturwerten sehr geringer Sandgutanfall bezogen auf die Anlagenbelastung von 26.700 EW, evtl. wird ein gewisser Anteil nicht zurückgehalten
 - Betriebliche Auffälligkeiten: keine Ablagerungen, größerer Verschleiß wird nicht beobachtet
 - Breite-Tiefe-Verhältnis verglichen mit Literaturwerten zu gering
 - Zulässige Oberflächenbeschickung wird bei Regenwetter (605 m³/h) überschritten
 - Empfehlung: Sandfangvolumen vergrößern bei Einhaltung der vom DWA-Fachausschuss KA-5 (2008) aufgestellten Bemessungskennwerte.
- Fettfang
 - Zulässige Oberflächenbeschickung wird bei Regenwetter (605 m³/h) überschritten
 - Betriebliche Auffälligkeiten: Fettantrieb in die Belebung bei Regenwetter wurde beobachtet, wodurch eine Beeinflussung der Biozönose in der Belebung nicht auszuschließen ist.
 - Empfehlung: Vergrößerung des Fettfangvolumens bei Einhaltung der vom DWA-Fachausschuss KA-5 (2008) aufgestellten Bemessungskennwerte.

6.2 Nachweis der biologischen Stufe

Der Nachweis der biologischen Stufe ist in Anlage 1 „Technische Berechnung“, Kapitel 2 dargestellt. Dabei wurden für die Bemessung des **Nachklärbeckens** folgende Bemessungsgrößen gewählt:

- Für Bestandsnachklärung bei aerober Stabilisierung (derzeitige Verfahrensweise)
 - $Q_M = 605 \text{ m}^3/\text{h}$ (168 l/s)
 - ISV = 89 ml/g (85%-Perzentil aus Betriebsdaten)
- Für Bestandsnachklärung bei Umstellung auf anaerobe Stabilisierung
 - $Q_M = 605 \text{ m}^3/\text{h}$ (168 l/s)
 - ISV = 125 ml/g (Annahme aufgrund vorzeitiger Entnahme von Primärschlamm)

Der Nachweis zeigt, dass unter den bestehenden Rahmenbedingungen (bauliche Gegebenheiten, betrieblicher ISV) eine maximale TS-Konzentration von 4,6 g/l im Belebungsbecken gewählt werden müsste, um mit der derzeitigen Nachklärung auszukommen. Für eine Umstellung auf anaerobe Stabilisierung liegt die maximal einzustellende TS-Konzentration in der Belebung bei 3,2 g/l aufgrund des zu erwartenden höheren ISV. Würde keine (betriebliche und bauliche) Veränderung auf Basis dieser Ergebnisse im Bereich der Belebung durchgeführt, wäre ein zweites Nachklärbecken aus verfahrenstechnischen Gründen nötig. Darüber hinaus ist ein zweites Nachklärbecken zur Redundanz und besonders für den Fall einer bevorstehenden Sanierung ohnehin zu empfehlen.

Der naheliegende Nachweis der **Belebung** ist mit dem Einhalten der Ablaufwerte für CSB und Stickstoff zunächst erbracht. Davon ausgegangen, dass bei der derzeitigen Betriebsweise mit hohen TS-Gehalten (Mittelwert 7,6 g/l) nur durch erhebliche Zugabe von Chemikalien ein Feststoffabtrieb aus der Nachklärung verhindert werden kann, wird der Nachweis der Belebung jedoch mit den für die Nachklärung notwendigen regelkonformen und niedrigen Trockensubstanzgehalten (4,6 g/l für aerob. Stab., 3,2 g/l für anaerob. Stab.) erbracht und das erforderliche Belebungsbeckenvolumen nach dem aktuellen Regelwerk ermittelt.

Der Nachweis zeigt, dass bei der aktuellen Verfahrenstechnik (aerobe Stabilisierung) ein Belebungsbeckenvolumen von 11.550 m³ notwendig wäre, um mit der durch die Nachklärung bedingten maximalen Schlammkonzentration einen ausreichenden biologischen Abbau zu erreichen. Von daher müsste ein zusätzliches Belebungsbeckenvolumen von 7.250 m³ geschaffen werden. Bei einer Umstellung auf anaerobe Stabilisierung würde (je nach Aufenthaltszeit in der Vorklärung) ein Belebungsbeckenvolumen von 5.750 - 6.125 m³ ausreichen, sodass ein zusätzliches Belebungsbeckenvolumen von 1.450 - 1.800 m³ von Nöten wäre.

7 AUSGANGSSITUATION VARIANTENERARBEITUNG

Aus den Nachrechnungen der KA Langenselbold ergibt sich eine Überlastung der biologischen Stufe. Der daraus resultierende Erweiterungsbedarf steht in Konflikt mit den beengten Platzverhältnissen auf dem KA-Gelände. Für den Lösungsansatz eines zweiten Nachklärbeckens lässt sich dieses nur wie in Abbildung 9 sinnvoll in den bisherigen Abwasserfließweg einbauen. Das Hauptproblem besteht allerdings darin, dass die westliche Fläche zwischen KA-Gelände und Gründau, wie in Abschnitt 3.2 erwähnt, zum FFH-Gebiet „Kinzigau von Langenselbold“ gehört und als Biototyp 04.222 („Große Flachlandbäche bis kleine Flachlandflüsse“) ausgewiesen ist. Demnach ist die Genehmigungsfähigkeit für diesen Ansatz als sehr gering einzuschätzen.



Abbildung 9: Lösungsansatz eines 2. Nachklärbeckens (plakative Darstellung)

Der Lösungsansatz der Erweiterung der Belebung ohne Umstellung von aerober auf anaerobe Stabilisierung ist in Abbildung 10 dargestellt. Der berechnete Platzbedarf eines dritten Belebungsbeckens ist hier nur plakativ eingezeichnet und zeigt, dass eine Erweiterung der Belebung mit der aktuellen Verfahrensweise (aerobe Stabilisierung) nicht realisierbar ist und unterstützt nochmals weiter den Ansatz des Umstieges auf anaerobe Stabilisierung.



Abbildung 10: Lösungsansatz eines 3. Belebungsbeckens bei aerober Stabilisierung (plakative Darstellung)

Der Flächenbedarf eines dritten Belebungsbeckens bei gleichzeitiger Umstellung auf anaerobe Stabilisierung ist in Abbildung 11 aufgezeigt. Dieser bewegt sich im Rahmen des Restflächenangebotes des KA-Geländes. Allerdings müssen für diese Umstellung zusätzlich eine Vorklärung sowie die anaerobe Schlammbehandlung mit eingeplant werden, wodurch das Restflächenangebot wiederum nicht ausreicht. Zudem wären die Anlagen dann nicht mehr so anzuordnen, dass eine verkehrliche Erschließung aller Bauwerke gegeben wäre. Aus den gegebenen Vorüberlegungen folgen zwei grundlegende Ansätze für die Erarbeitung der Lösungsvarianten:

- 1) Platzsparender Umbau der biologischen Stufe und/oder
- 2) Nutzung der nördlichen Erweiterungsfläche

Diese beiden Ansätze wurden (zum Teil in Kombination) in den drei Lösungsvarianten in Kapitel 8 umgesetzt.



Abbildung 11: Lösungsansatz eines 3. Belebungsbeckens bei anaerober Stabilisierung (plakative Darstellung)

Darüber hinaus wurden folgende übergreifend geplante Maßnahmen mitberücksichtigt:

- Für alle Varianten:
 - Umstellung von aerober auf anaerober Stabilisierung
 - Personalaufstockung
- Für Varianten auf Bestandsgelände:
 - Erneuerung des Betriebsgebäudes
 - Neubau der Schlammbehandlung im Zuge der Erneuerung des Betriebsgebäudes und Anpassung an die neuen Anforderungen aufgrund der Verfahrensumstellung
 - Erneuerung der maschinentechnischen Anlagen: Zulaufpumpen, Rechen-/gutbehandlung, Gebläse für die Biologie, Entwässerungsanlage,...
 - Hydraul. Anpassung der gesamten Zulaufgruppe aufgrund der Einfügung einer Vorklärung zwischen Zulaufgruppe und biologischer Stufe

8 LÖSUNGSVARIANTEN

8.1 Variante 1 – Bestandsausbau

8.1.1 Verfahrenstechnische/hydraulische Lösung

In Variante 1 liegt die Motivation in der Ertüchtigung der Kläranlage ausschließlich auf dem Bestandsgelände. Wie in Kapitel 7 beschrieben ist es hierfür nötig, die biologische Behandlungsstufe so nezugestalten, dass auf gleicher Fläche eine höhere biologische Aktivität realisiert wird und eine saubere Abtrennung von Wasser und Schlamm trotzdem stattfinden kann. Der zentrale Lösungsansatz liegt in der Nutzung von Membranbioreaktoren (MBR). Durch den Einsatz von Membranen in der biologischen Stufe ist es möglich eine höhere Schlammkonzentration zu fahren, welche eine höhere biologische Aktivität auf gleichem Raum gewährleistet. Im Gegensatz zu einer klassischen Nachklärung ist es möglich eine saubere, nahezu 100%ige Trennung von Wasser und Schlamm auch bei hohen Schlammkonzentrationen zu realisieren. Aus diesem Grund ist die in Abbildung 12 (a) dargestellte Nachklärung hinfällig, indem sie durch dreistraßig ausgeführte MBR ersetzt wird. Gleichzeitig ist eine Erweiterung der Belebung ohne zusätzliches Volumen erreicht. Durch die hohe Schlammkonzentration in der Belebung und den MBR ist es sogar möglich auf das zweite Belebungsbecken zu verzichten und dadurch Fläche für die anaerobe Schlammbehandlung zu schaffen.

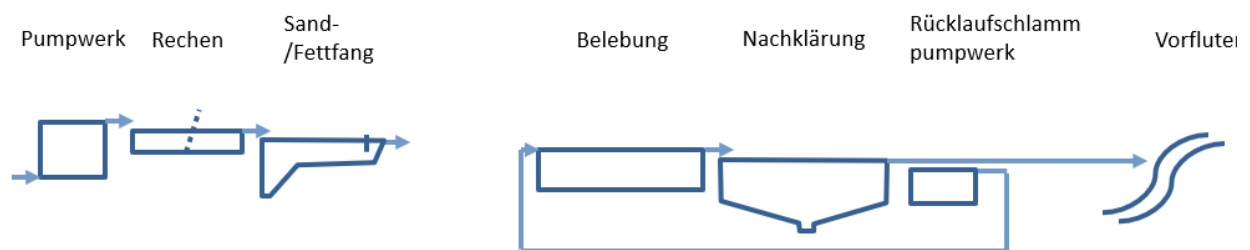
Die Umstellung auf anaerobe Schlammstabilisierung macht eine Abtrennung von Primärschlamm erforderlich. Hierzu dienen in der Regel als Absetzbecken ausgeführte Vorklärunen. In dieser Variante ist jedoch ein als Siebtrommel ausgeführtes Feinstsieb anstelle einer klassischen Vorklärung angedacht. Dieses soll neben der Primärschlammbabtrennung gleichzeitig den erhöhten Anforderungen der MBR an die mechanische Vorreinigung gerecht werden, indem auch Faserstoffe abgetrennt werden, welche möglicherweise durch Sedimentation nicht entfernbar wären. Das zweistraßig ausgeführte Feinstsieb (0,3 mm) wird zusätzlich durch ein Notumgehungsrechen (1,0 mm) ergänzt.

Abbildung 12 (b) zeigt die verfahrenstechnische Erweiterung durch Feinstsieb und MBR und stellt gleichzeitig den hydraulischen Engpass zwischen Sand-/Fettfang und dem Feinstsieb dar. Die Zulaufgruppe – bestehend aus Pumpen, Rechen und Sand-/Fettfang – ist aufgrund ihres Alters sowie ihrer hydraulischen Überlastung anzupassen. Die Ertüchtigung und die Höhenanpassung dieser Einheiten kann in einem Zuge erreicht werden.

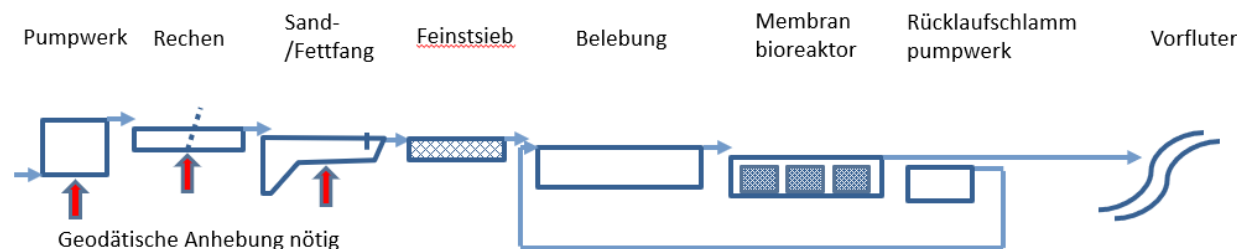
Eine Erweiterung um eine 4. Reinigungsstufe (Spurenstoffentfernung und weitestgehende Phosphorentfernung) ist im Rahmen dieser Lösungsvariante ohne Erweiterungsfläche möglich. Da aufgrund der Platzsituation keine zusätzlichen Bauflächen für Becken oder Filter vorhanden sind, ist allerdings eine Einschränkung auf die simultane Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) in die Belebung gegeben (siehe Abbildung 12 (c)). Befürchtungen bei Betreibern und Ingenieuren über eine Hemmung der Denitrifikation bei der simultanen PAK-Dosierung durch erhöhte Adsorption von leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen an die Aktivkohle konnten in bisher

ausgeführten Anlagen weder bekräftigt noch widerlegt werden. Erste Erfahrungen deuten jedoch daraufhin, dass die verantwortlichen Organismen auf den adsorbierten Kohlenstoff weiterhin Zugriff haben (Referenz: Steffen Metzger, Weber Ingenieure), sodass die simultane PAK-Dosierung durchaus eine gleichwertige Lösung zur Spurenstoffentfernung darstellt. Die Abscheidung der PAK aus dem Abwasser kann grundsätzlich über jede Art von nachgeschalteten Filtern geschehen. In dieser Lösungsvariante wird die Abtrennung der PAK durch die geplanten Membranen gewährleistet.

(a)



(b)



(c)

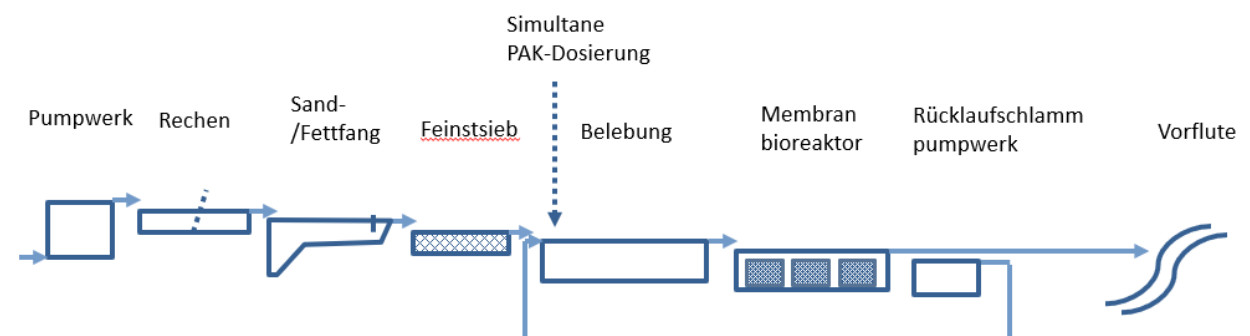


Abbildung 12: Verfahrenstechnische und hydraulische Lösung (Variante 1 „Bestandsausbau“)

8.1.2 Umsetzung im Lageplan

Für die Umsetzung der verfahrenstechnisch geplanten Ertüchtigung sind in dieser Variante keine Erweiterungsflächen berücksichtigt (mit Ausnahme im Zulauf). Neben den verfahrenstechnischen Anpassungen sind bauliche Maßnahmen im Bereich des Betriebsgebäudes, der bestehenden Schlammbehandlung und den vorhandenen Lagerflächen notwendig. Für das in Abschnitt 0 berechnete notwendige Personal für den Betrieb einer Kläranlage der Endausbaugröße von 32.000 EW ergibt sich Bedarf einer wesentlichen Vergrößerung des Betriebsgebäudes. In diesem Zuge sollen Unzulänglichkeiten, wie zu kleine Funktionsräume (höhere Anforderungen an Laboreinrichtungen/-größe, Sozialräume, klare Trennung der Schwarz-Weiß-Bereiche in den Umkleiden, getrennte Bereiche für männliche und weibliche Mitarbeiter) behoben werden. Während des Umbaus werden Provisorien für die Betriebsräume notwendig. Zum Ausbau des Betriebsgebäudes ist der Abriss der bestehenden Schlammbehandlung notwendig. Damit kann die an die neuen verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen angepasste Schlammbehandlung uneingeschränkt im südlichen Teil des KA-Geländes neugeplant werden.

Für die Zulaufgruppe sind bezüglich der in Abschnitt 6.1 angezeigten Defizite weitgehende Abriss- und Neubaumaßnahmen vorgesehen. Für eine Aufrechterhaltung des Betriebes während der Umbaumaßnahmen ist es jedoch notwendig die Neuplanung des Zulaufpumpwerks/-gebäudes (Erneuerung der Zulaufpumpen, Anhebung des Abwasserniveaus, Austausch der Maschinentechnik Rechen-/gutbehandlung, Gebläse, Erneuerung der Schaltschränke) auf eine Erweiterungsfläche zwischen Bestand und Zulaufschacht zu legen. Zudem werden Provisorien für Rechen und Zulaufpumpen notwendig. Ein neuer Sand-/Fettfang kann parallel zur Bestandsanlage platziert werden. Das Feinstsieb ist im östlichen Teil des Geländes geplant.

Für die biologische Behandlungsstufe ist der Bau eines Membranbioreaktors geplant. Dadurch können das zweite Belebungsbecken (inkl. Verteilerbauwerk) und das Nachklärbecken abgerissen werden. Die gewonnen Flächen bieten Raum für die anaerobe Schlammbehandlung und Gasverwertung bestehend aus (Voreindicker, Faulturm, Nacheindicker, maschinelle Überschussschlammeindickung, Schlammmentwässerung [z.B. Zentrifuge], Zentratwasserspeicher, BHKW, Gasspeicher und Gasfackel). Grundsätzlich ist über eine Anhebung der Zufahrtsstraßen der Kläranlage nachzudenken, um auch bei Starkregenereignissen (bis hin zu HQ100) die Anfahrt von Betriebspersonal, Feuerwehr und Technischem Hilfswerk zu gewährleisten. Die Abrissmaßnahmen sind in Abbildung 13 dargestellt. Der Endausbau ist in Abbildung 14 zu sehen.

Der Umbau im Bestand setzt eine gute Planung der Bauphasen voraus. Eine mögliche Abfolge der Maßnahmen könnte wie folgt aussehen:

- Aufstellen von provisorischem Betriebsgebäude
- Abriss des Betriebsgebäudes
- Neubau Betriebsgebäude Teil 1 (Schlammbehandlung muss aufrechterhalten werden)
- Bau neuer Sand-/Fettfang
- Bau neues Zulaufgebäude vor dem Betriebsgelände
- Aufstellen von Rechen und Pumpenprovisorium
- Abriss Zulaufgebäude (Bestand) und Umschluss des Fließwegs
- Aufstellen einer Fäkalannahmestation
- Bau des Feinstsiebes
- Platzierung der Membranbioreaktoren (inkl. Rücklaufschlammumpwerk)
- Abriss Nachklärbecken
- Redundante Auslegung des belüfteten Belebungsbeckens (inkl. Betoninstandsetzung)
- Abriss des zweiten Belebungsbeckens
- Bau der Schlammbehandlung und Gasverwertung
- Rückbau der Schlammbehandlung (Bestand)
- Ausbau Betriebsgebäude Teil 2
- Platzierung der neuen Lagerfläche

Für eine spätere Erweiterung um eine 4. Reinigungsstufe sind folgende Maßnahmen notwendig:

- Implementierung der PAK-Anlage (PAK-Silo) in Nähe des Zulaufs der Belebung



Abbildung 13: Abrissmaßnahmen (Variante 1 „Bestandsausbau“) (siehe Anlage 2)



Abbildung 14: Endausbau (Variante 1 "Bestandsausbau") (siehe Anlage 2)

8.2 Variante 2 – Bestandsausbau und Erweiterung

8.2.1 Verfahrenstechnische/hydraulische Lösung

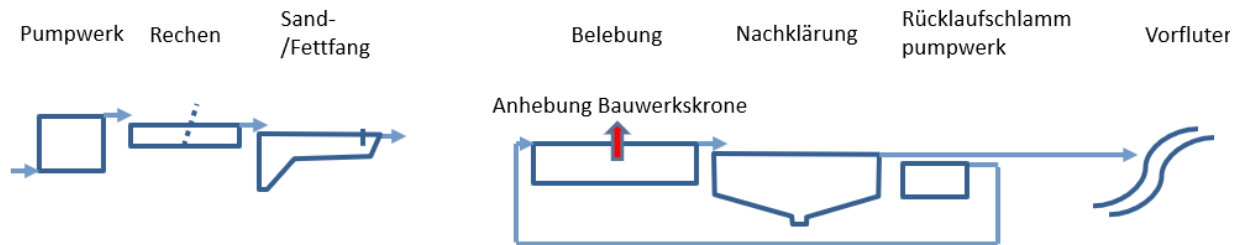
In Variante 2 sind neben dem Bestandsgelände eine Auslagerung der Schlammbehandlung auf die nördliche Erweiterungsfläche vorgesehen. Demnach ist die Bebauung im Vergleich zu Variante 1 nicht notwendigerweise so eng auszuführen. Als Kapazitätsanpassung in der biologischen Reinigungsstufe ist die Anhebung der Bauwerkskronen (beide Belebungsbecken und Verteilerbauwerk) um 1,30 m angedacht (siehe Abbildung 15 (a)). Hierdurch kann auf ein drittes Belebungsbecken verzichtet werden. Da aus einer verfahrenstechnischer Sicht bei Erweiterung der Belebung die Nachklärung ausreicht, wird in dieser Variante auf eine aus

betrieblichen Gründen sinnvolle Zweistraßigkeit verzichtet. Ein zweites Nachklärbecken ist auf dem Bestandsgelände wie in Kapitel 7 beschrieben nicht genehmigungsfähig umsetzbar. Im Falle einer Sanierung des Nachklärbeckens sind für diese Variante allerdings (teure) provisorische Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Betriebes nötig (Entfernung von Kohlenstoff und Phosphor durch intensive Vorfällung in der Vorklärung während der Zeit [November-April], in der keine Stickstoffentfernung gefordert ist).

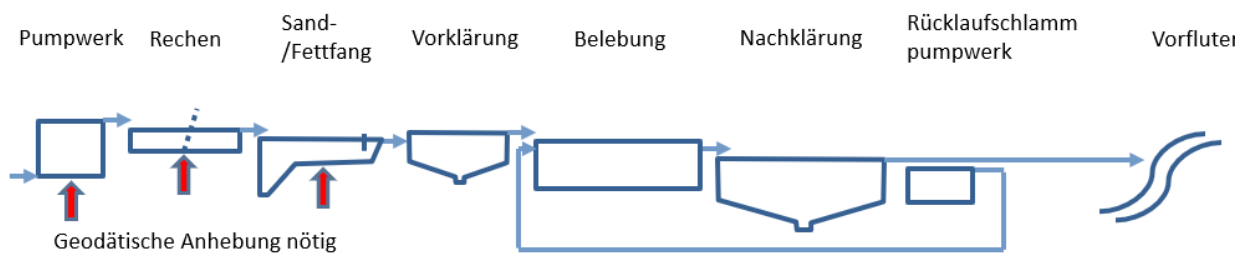
Gleichzeitig soll eine klassische Vorklärung zur Entlastung der Belebung implementiert werden. Dadurch ergibt sich das gleiche Problem wie bereits in Variante 1. Die Zulaufgruppe ist im Rahmen ihrer verfahrenstechnischen Ertüchtigung an die nachfolgenden Verfahrenseinheiten höhenmäßig anzupassen (siehe Abbildung 15 (b)). Die Ertüchtigung der Zulaufgruppe an sich entspricht der Variante 1, wobei durch die Aufstockung der Belebung eine stärkere Anhebung der Zulaufgruppe notwendig wird.

Auch in dieser Variante ist im Falle einer Erweiterung um eine 4. Reinigungsstufe aus Platzgründen eine Einschränkung auf die simultane PAK-Dosierung (siehe Variante 1) gegeben. Im Gegensatz zur ersten Variante ist hierzu eine zusätzliche Filtrationsstufe (Tuch- oder Sandfilter) zur Abscheidung der PAK (und im Falle erhöhter Anforderungen an die Phosphorentfernung zur Abscheidung des gefällten Phosphors) notwendig (siehe Abbildung 15 (c)). Diese Filtrationsstufe lässt sich im Westen der Bestandsanlage unterbringen.

(a)



(b)



(c)

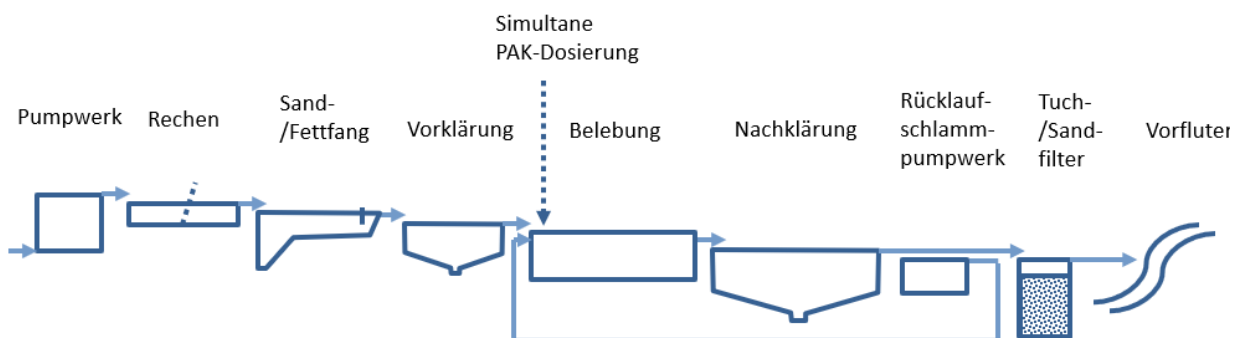


Abbildung 15: Verfahrenstechnische und hydraulische Lösung (Variante 2 "Bestandsausbau und Erweiterung")

8.2.2 Umsetzung im Lageplan

Für die Umsetzung der verfahrenstechnischen Maßnahmen stehen neben dem Bestandsgelände in dieser Variante die nördliche Erweiterungsfläche zur Verfügung. Auch in dieser Variante gelten die Einschätzungen bezüglich der baulichen und Kapazitäts-Defizite des Betriebsgebäudes. Durch die Auslagerung der Schlammbehandlung stehen jedoch von vornherein Freiflächen für den Ausbau des Betriebsgebäudes und einer zentralen Lagerfläche zur Verfügung.

Für die Zulaufgruppe ist entsprechend Variante 1 der Neubau des Zulaufgebäudes vor dem Bestandsgelände zu planen, um eine vollständige Ertüchtigung bei Aufrechterhaltung des

Betriebes (inkl. Rechen- und Pumpenprovisorien) zu erreichen. Zur Primärschlammabtrennung wird eine Vorklärung im östlichen Teil des Geländes platziert.

Für den biologischen Teil der Anlage sind keine zusätzlichen Bauflächen benötigt. Die Anhebung der Bauwerkskronen der Belebung und des Verteilerbauwerks ist so in den Bauprozess nach und nach einzuplanen, dass es zu keiner Abnahme der biologischen Behandlungskapazität kommt. Demnach ist die anaerobe Schlammbehandlung und die Primärschlammabtrennung durch die Vorklärung zur Frachtentlastung vorab zu implementieren.

Für einen späteren Ausbau einer 4. Reinigungsstufe ist die PAK-Anlage (PAK-Silo) in der Nähe des Zulaufs der Belebung anzuordnen. Hinzu käme die Nutzung der bisherigen Lagerfläche zur Erweiterung um eine Filtrationsstufe (Tuch- oder Sandfilter). Grundsätzlich ist über eine Anhebung der Zufahrtsstraßen der Kläranlage nachzudenken, um auch bei Starkregenereignissen (bis hin zu HQ100) die Anfahrt von Betriebspersonal, Feuerwehr und Technischem Hilfswerk zu gewährleisten. Die Abrissmaßnahmen der Variante 2 sind in Abbildung 16 skizziert. Die Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen den geplanten Endausbau auf dem Bestandsgelände sowie eine Übersicht inkl. Erweiterungsfläche mit der Schlammbehandlung.

Ähnlich wie in Variante 1 hat die Bauphasenplanung einen hohen Stellenwert, um während des Umbaus eine Aufrechterhaltung des Betriebes zu gewährleisten. Dabei könnten die Bauabschnitte wie folgt aussehen:

- Bau der Schlammbehandlung auf der Erweiterungsfläche (inkl. neue verkehrliche Erschließung und Brücke zwischen Bestand und Erweiterung)
- Aufstellen von provisorischem Betriebsgebäude
- Abriss des Betriebsgebäudes und der Schlammbehandlung (Bestand)
- Neubau Betriebsgebäude und Lagerfläche
- Bau neuer Sand-/Fettfang
- Bau neues Zulaufgebäude vor dem Betriebsgelände
- Aufstellen von Rechen und Pumpenprovisorium
- Abriss Zulaufgebäude (Bestand) und Umschluss des Fließwegs
- Aufstellen einer Fäkalannahmestation
- Platzierung der Vorklärung
- Umstellung der Verfahrenstechnik auf anaerobe Stabilisierung (Anpassung Fließweg)
- Erhöhung Belebungsbecken 2 (Nutzung Belebungsbecken 1)
- Erhöhung Belebungsbecken 1 und Verteilerbauwerk (Nutzung Belebungsbecken 2)

Für eine spätere Erweiterung um eine 4. Reinigungsstufe sind folgende Maßnahmen notwendig:

- Implementierung der PAK-Anlage (PAK-Silo) in Nähe des Zulaufs der Belebung
- Bau der nachgeschalteten Tuch- oder Sandfilter



Abbildung 16: Abrissmaßnahmen (Variante 2 "Bestandsausbau und Erweiterung")
(siehe Anlage 2)

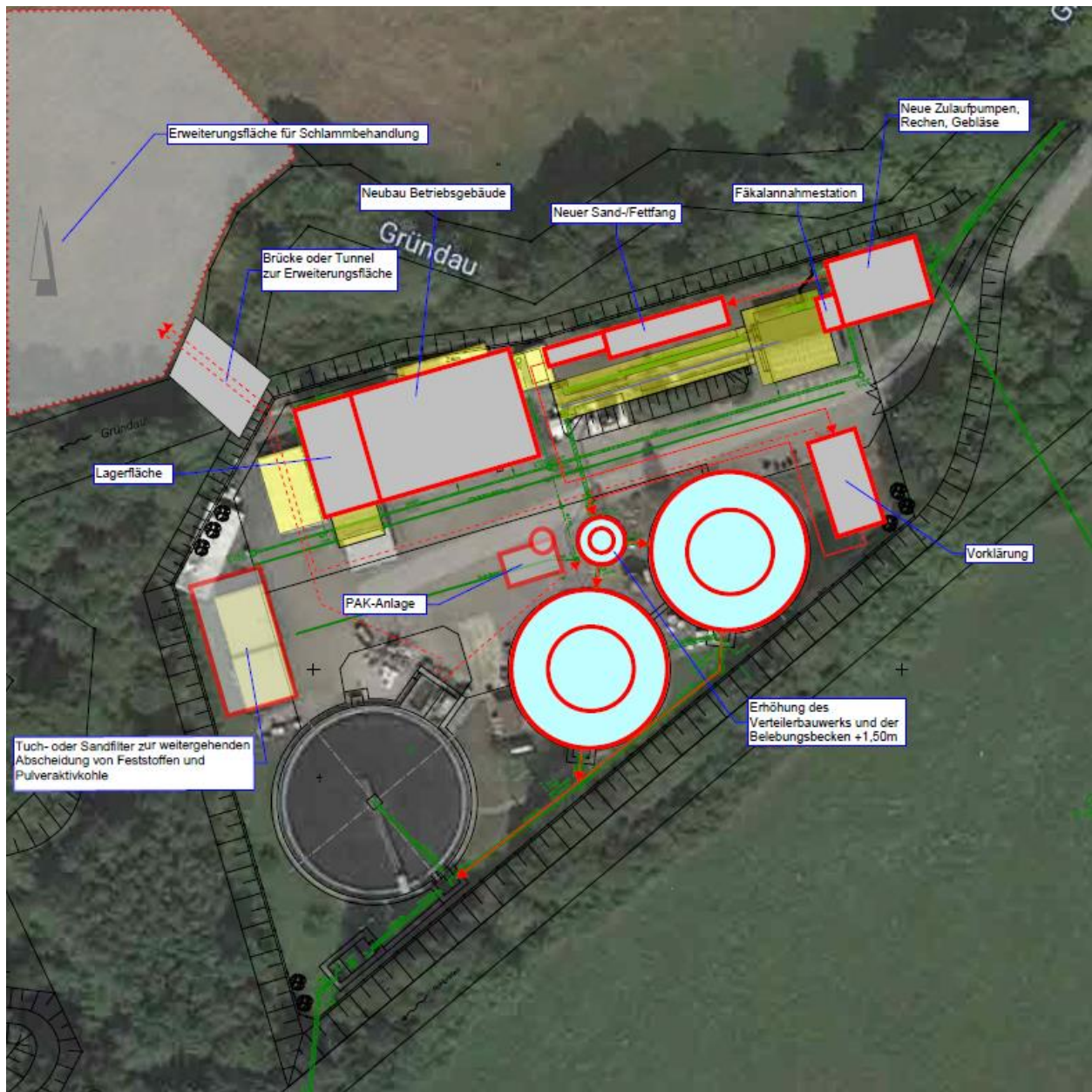


Abbildung 17: Endausbau Abwasserbehandlung (Variante 2 "Bestandsausbau und Erweiterung")
(siehe Anlage 2)

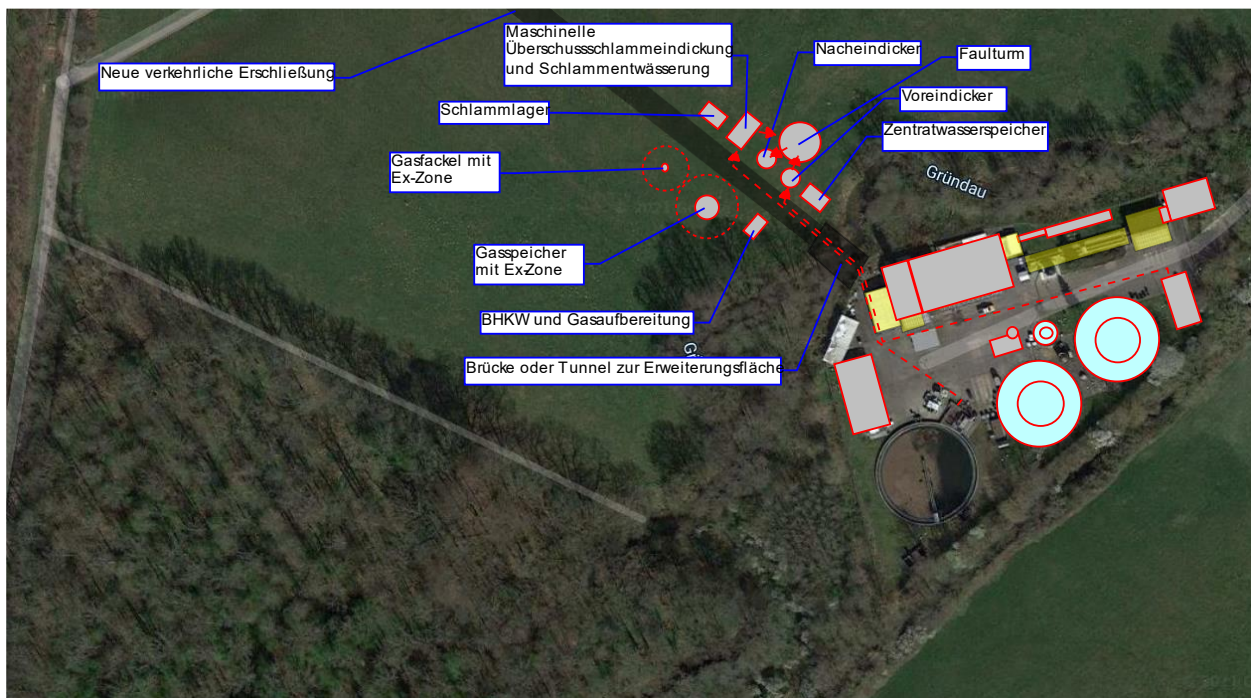


Abbildung 18: Endausbau Übersicht (Variante 2 "Bestandsausbau und Erweiterung")
 (siehe Anlage 2)

8.3 Variante 3 – Neubau auf Erweiterungsfläche

8.3.1 Verfahrenstechnische/hydraulische Lösung

In Variante 3 steht ebenfalls die nördliche Erweiterungsfläche zur Verfügung. Es ist vorgesehen die gesamte Ertüchtigung der KA Langenselbold auf dieser Fläche durchzuführen und nach erfolgreichem Umschluss die Bestandsanlage rückzubauen und die Fläche im Sinne des FFH-Gebietes „Kinzigau von Langenselbold“ aufzuwerten. Die Hauptmotive in dieser Variante liegen in einem vergleichsweise reibungslosen Bau (kein Bau im Bestand) sowie in der Zukunftsfähigkeit des neuen Standortes. Durch den Neubau sind dem Bauvorhaben weniger Grenzen gesetzt. So ist es beispielsweise angedacht, für die Belegung von Rundbecken auf Rechteckbecken überzugehen, um einen modularen Aufbau zu erreichen und bei Erweiterungen in der Zukunft die Bauflächen intelligent nutzen zu können. Die geplante Verfahrenstechnik ist entsprechend aller Varianten als anaerobe Stabilisierung geplant. Für die Planung der Hydraulik (Wassermengen $\leftrightarrow$ Rohrleitungen, Energiehöhen) bietet der Neubau ebenfalls Freiheiten. Die Problematik des hydraulischen Engpasses im Bestand ist damit hinfällig. In dieser Variante wird zudem die Option eines Regenbeckens auf dem neuen KA-Gelände mitberücksichtigt, da im Hinblick einer bevorstehenden Leitfadenbetrachtung der Gründau nicht ausgeschlossen werden kann, dass ein Abschlag des Bauwerks B99 in die Gründau weiterhin genehmigungsfähig sein wird.

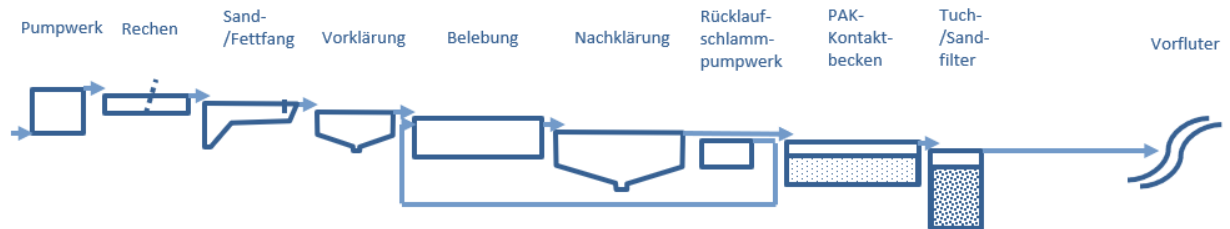
Bei der Neuplanung der KA Langenselbold auf der nördlichen Erweiterungsfläche setzt die vorliegende Studie auf bewährte Technik (Absetzbecken für Primär- und Überschussschlammabtrennung und klassische belüftete Becken), wie in Abbildung 19 dargestellt. Gleichzeitig besteht bei der Neuplanung die Möglichkeit einer steuerungstechnischen Optimierung nach dem neuesten Stand der Technik.

Für eine spätere Erweiterung um eine 4. Reinigungsstufe kann aufgrund der zur Verfügung stehenden Flächen jede erprobte Technologie eingesetzt werden. In Abbildung 19 (a) beispielsweise ist eine PAK-Dosierung in einem nachgeschalteten Kontaktbecken abgebildet. Hiermit werden mögliche Einflüsse der PAK auf die biologische Stickstoffentfernung in der Belebung durch die räumliche Trennung ausgeschlossen. Zudem sind biologisch abbaubare Kohlenstoffverbindungen bereits entfernt, sodass für die Adsorption schwer abbaubarer Verbindungen an der PAK mehr Kapazitäten zur Verfügung stehen und ein erhöhter Wirkungsgrad der Spurenstoffentfernung zu erwarten ist.

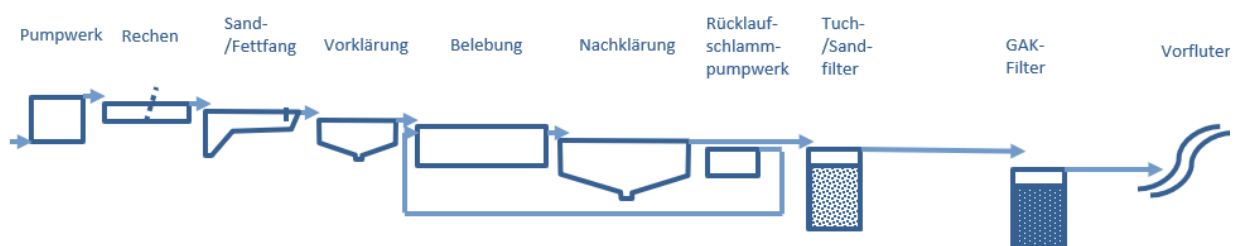
Abbildung 19 (b) stellt die Lösung durch Adsorption an granulierter Aktivkohle (GAK) in einem GAK-Filter dar. Diese Variante ist im Gegensatz zur PAK-Dosierung mit einem geringeren betrieblichen Aufwand verbunden. Der Unterschied zur Adsorption an PAK liegt darin, dass die granulierten Aktivkohle über eine längere Zeit eingesetzt werden kann und im Filter verbleibt, während die PAK über den Überschussschlamm oder nachgeschaltet als Abfallprodukt das System verlässt. Die Adsorption an GAK ist zeitlich nicht unbegrenzt, sodass mit einer Abnahme der Leistungsfähigkeit gerechnet werden kann. Gleichzeitig bietet die GAK Raum für biologische Aktivität durch sich ansiedelnde Organismen, die zusätzlich darauf spezialisiert sind zu der Spurenstoffentfernung beizutragen und somit die Abnahme der Adsorptionsleistung auszugleichen. Ein weiterer Vorteil der GAK besteht darin, dass bis zu 90 % der Aktivkohle extern reaktiviert und in einem zweiten Zyklus in den GAK-Filtern eingesetzt werden kann.

Die in Abbildung 19 (c) aufgezeigte Ozonung zur Spurenstoffentfernung basiert auf einer Oxidation der Wasserinhaltsstoffe. Demnach ist hier die Entfernung anderer Stoffe als bei der Adsorption an Aktivkohle zu erwarten. Die Entscheidung über die gewählte Verfahrenstechnik in der 4. Reinigungsstufe sollte anhand der vorhandenen schwer abbaubaren Verbindungen im Zulauf zur Kläranlage sowie im Hinblick auf die geforderten zu entfernenden Stoffe getroffen werden. Somit kann dieser Verfahrenstechnik notwendig sein, wenn Stoffe entfernt werden müssen, die sich nicht adsorbieren lassen. Die oxidierten Stoffe (Transformationsprodukte) sind oftmals jedoch nicht ungefährlicher als die Ausgangsstoffe, gleichzeitig sind sie allerdings in ihrer neuen Form biologisch abbaubar. Der biologische Abbau muss in einem nachgeschalteten biologischen Filter gewährleistet werden. Hierfür eignen sich Sandfilter oder aber auch GAK-Filter. Grundsätzlich ist es denkbar, dass früher oder später eine Kombination aus Oxidation (Ozonung) und Adsorption (PAK oder GAK) zur Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen nötig wird. Diese Verfahrenskombination wäre auf der Erweiterungsfläche platztechnisch umsetzbar.

(a)



(b)



(c)

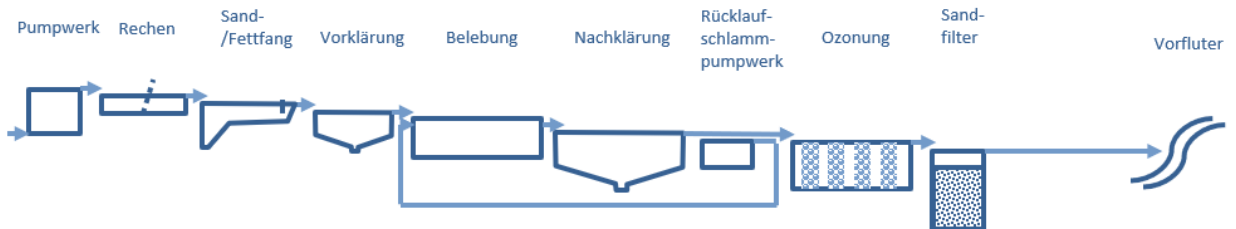


Abbildung 19: Verfahrenstechnische und hydraulische Lösung (Variante 3 "Neubau auf Erweiterungsfläche")

8.3.2 Umsetzung im Lageplan

Für die Umsetzung der Neubauvariante ist aufgrund der Lage der Kanalisation und des Vorfluters die im Norden gelegene Erweiterungsfläche im Landschaftsschutzgebiet (Parzelle 43 und 44) naheliegend. Stromabwärts der Kanalisation von Langenselbold befinden sich ausschließlich Landschaftsschutzgebietsflächen oder FFH-Gebietsflächen. Die einzigen nicht als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesenen Flächen, welche halbwegs zwischen Einzugsgebiet und dem Vorfluter Kinzig liegen, wären eine Waldfläche im Norden der A45 und eine landwirtschaftlich genutzte Fläche im Westen des Langenselbolder Dreiecks. Zum Erreichen der beiden Flächen würden jeweils erhebliche zusätzliche Pumpkosten anfallen. Im Rahmen einer Vorplanung sind diese (und gegebenenfalls weitere) Alternativen zur gewählten Erweiterungsfläche zu untersuchen. Grundsätzlich kann allerdings gesagt werden, dass für die Neubauvariante sowohl die finanziellen als auch die qualitativen Merkmale gleich zu bewerten sind.

Im Weiteren wird eine Umsetzung der Variante Neubau auf der unmittelbar nördlich der Bestandskläranlage und der Gründau befindlichen Erweiterungsfläche beschrieben. Hierbei wird versucht, ein Mittelweg, zum einen aus einer großzügigen Aufstellung der Bauwerke hinsichtlich zukünftiger freier Kapazitäten bei steigenden Anforderungen an das Schutzgut Kinzig und zum anderen einer kompakten Bauweise zur Vermeidung unnötig versiegelter Fläche, zu finden. Bei der in Abbildung 20 dargestellten Lösung wird des Weiteren berücksichtigt, dass die zur Verfügung stehenden Flächen weitestgehend im Norden und damit mit sicherem Abstand zur Gründau bebaut werden, sodass bei schwächeren Hochwasserszenarien primär eine Überflutung der Gründau-nahen Flächen stattfindet und von stärkeren Hochwasserereignissen kein erhöhtes Hochwasserrisiko für das neue KA-Gelände ausgeht. Das neue KA-Gelände muss entsprechend den erwartbaren HQ100-Ereignissen, um bis zu 2,00 m angehoben werden. Das gleiche gilt ebenfalls für die neue Zufahrtsstraße, um Betriebspersonal, Feuerwehr und Technischem Hilfswerk in jedem Fall Zugang zu ermöglichen. Dazu sind hydraulische Verbindungen unterhalb der erhöhten Zufahrtsstraße zwischen den dadurch getrennten Überflutungsflächen vorzusehen.

Für diese Variante müssen eine neue Zu- und Ableitung des Abwassers geplant werden. Für die Ableitung des behandelten Abwassers erscheint eine gegenüber der alten Einleitstelle etwas unterhalb gelegene neue Einleitstelle naheliegend, unmittelbar nachdem Kinzig und Gründau zusammenfließen. Dadurch wäre eine zusätzliche Dükerung der Gründau hinfällig und ein erhöhter hydraulischer Puffer des Vorfluters gegenüber dem eingeleiteten Abwasser gegeben. Für die neue Zuleitung ergeben sich zwei denkbare Ansätze. In Abbildung 20 dargestellt ist der Anschluss an den unmittelbar vor dem Gelände der Bestandskläranlage gelegenen Sammel-schacht der DN600-Leitung aus dem Langenselbolder Einzugsgebiet und der DN300 aus dem südlichen Gewerbegebiet am Bahnhof mit Dükerung unter der Gründau. Hierbei wäre das Abschlagsbauwerk B99 weiter vorgeschaltet und eine Regenwasserbehandlung auf dem neuen KA-Gelände hinfällig. In einer alternativen Lösung könnte die südliche DN300-Druckleitung aus dem Gewerbegebiet am Bahnhof über die bisherige Zufahrtsstraße verlängert und im Bereich der Brücke zur neuen Zufahrtsstraße einem neuen Sammel-schacht zugeleitet werden. Dem neuen

Kläranlagenzulauf über die neue Zufahrtsstraße wäre in dieser Variante kein Abschlag des Bauwerks B99 vorgeschaltet und eine Regenwasserbehandlung auf dem neuen KA-Gelände wäre zu berücksichtigen. Diese Alternative wird in Abschnitt 9.1 optional in Variante 3 monetär mitbewertet.

Bei der Anordnung der verfahrenstechnischen Gruppen kann bei der Neuplanung grundsätzlich frei gewählt werden. In der vorliegenden Lösung wird die Zulaufgruppe (bestehend aus Pumpen- und Rechengebäude, Sand-/Fettfang und Vorklärung) im Nordosten des neuen Geländes geplant. Die biologische Behandlungsstufe schließt sich davon ausgehend westlich an. Hier sind die Belebungsbecken rechteckig ausgeführt und zusätzliche Freiflächen für eine zukünftige Erweiterung der biologischen Stufe um ein drittes Belebungsbecken und/oder Nachklärbecken. Im Süden der markierten Einzäunung ist bereits eine Freifläche für eine vierte Reinigungsstufe vorgehalten. Auch für die im südöstlichen Teil des neuen Geländes gelegene anaerobe Schlammbehandlung ist eine Erweiterungsmöglichkeit um einen zusätzlichen Faulurm berücksichtigt. Als alternativer Standort für die Zulaufpumpen könnte zudem der Sammel-schacht vor der bisherigen Kläranlage gewählt werden. Vorteile lägen in einem kleineren Düker unter der Gründau und einem Zulaufdruckkanal mit geringem Durchmesser und kleinerem Rohrgraben.

Neubauphase und Übergangsbetrieb sind in dieser Variante zeitlich und räumlich entspannt. Im Grunde kann die Bestandsanlage unbeeinflusst und provisorienfrei weiterbetrieben werden bis zur Fertigstellung der neuen Anlage, was sowohl minimales Risiko für das Schutzgut Kinzig als auch eine erleichterte Arbeit für Betriebspersonal und Bauunternehmen bedeutet. Aus diesem Grund muss an dieser Stelle nicht im Details auf die einzelnen Abläufe eingegangen werden.



Abbildung 20: Endausbau (Variante 3: „Neubau auf der Erweiterungsfläche“) (siehe Anlage 2)

9 KOSTENBUDGETIERUNG

9.1 Investitionskosten

Die Budgetierung der Investitionskosten der drei Lösungsvarianten passierte in drei Kategorien. Neben der Herstellung der Anlagen selbst werden die Kategorien Flächenmanagement (Erwerb, Ausgleich, Hochwasserschutz) und Rückbau/Sanierung separat aufgeschlüsselt.

Für die Kategorie Flächenmanagement sind folgende Werte/Annahmen eingegangen:

- Erwerb:
 - Nördliche Erweiterungsfläche (bebauter Teil): 50 €/m²
 - Nördliche Erweiterungsfläche (unbebauter Teil): 5€/m²
 - Östlich angrenzende FFH-Fläche vor Zulaufgebäude: 50 €/m²
- Ausgleich:
 - Nördliche Erweiterungsfläche = extensiv genutzte Feuchtweide (55 Wertpunkte/m²)
 - Bestandsfläche nach Rückbau und Aufforstung = Neuanlage von Auwald/Bruchwald (36 Wertpunkte/m²)
 - FFH-Fläche im Osten = Hartholzauwald... (66 Wertpunkte/m²)
 - Ausgleichskosten = 1€/Wertpunkt
- Hochwasserschutz:
 - Erdarbeiten zur Sicherung KA-Gelände vor HQ100 (30 €/m³)
 - Erdarbeiten zur Sicherung Zufahrtsstraße vor HQ100 (30 €/m³)

Der größte Anteil der Investitionskosten liegt für alle Varianten in der Herstellung der Bauwerke. Für die mit den Kostenrichtwerten des Landes Hessen (Verordnung über Zuweisungen zum Bau von Abwasseranlagen – Hessen, 2004) berechneten Kostenpunkte wurde eine Preisanpassung um 35 Prozentpunkte vorgenommen. Zudem wurden für verschiedene Objekte die folgenden weiteren Herangehensweisen zur Kostenschätzung gewählt:

- Berechnung nach Kostenrichtwerten des Landes Hessens (2004) für:
 - Neue Kanalisation (Zulauf- und Ablaufkanal)
 - Regenbecken (1.500 m³)
 - Zulaufgruppe (32.000 EW)
 - Vor- und Nachklärbecken (jeweiliges Ertüchtigungsvolumen als Grundlage)
 - Belebungsbecken (jeweiliges Ertüchtigungsvolumen als Grundlage)
 - Schlammeyndicker-/Schlammagerbehälter (jeweiliges Ertüchtigungsvolumen)
 - Schlammstabilisierung (32.000 EW)
 - Schlammntwässerung (32.000 EW)
 - EMSR-Technik (32.000 EW)
 - Betriebsgebäude (32.000 EW)
- Berechnung nach explizitem Richtpreisangebot vom Hersteller:
 - Feinstsiebanlage (HUBER)
 - Membranbioreaktoren (Microdyn Nadir)

- Vergleichsobjekte aus UNGER-Projekten:
 - RS-Pumpwerk
 - Provisorien Zulaufgruppe

Ebenfalls berücksichtigt wurden die Kosten für den Rückbau der Anlagenteile sowie die möglichen Kosten für Sanierungen der Bauwerke. Für die Rückbaukosten wurde ein Einheitspreis von 55 €/m³ abgerissenem Beton angesetzt und beinhaltet Sicherheiten für weitere Entsorgungskosten. Für die Sanierung von Nachklärbecken und Belebungsbecken wurden UNGER-Vergleichs-Projekte herangezogen und mit den möglicherweise betroffenen Bauwerksoberflächen der KA Langenselbold verrechnet. Dabei ergaben sich folgende Kostenansätze:

- 450.000 €/ Belebungsbecken
- 430.000 €/ Nachklärbecken

In Tabelle 7 sind die Investitionskosten übersichtlich dargestellt. In „Anlage 3 Kostenbudgetierung“ sind die einzelnen Kostenpunkte weiter aufgeschlüsselt. Variante 3 „Neubau auf Erweiterungsfläche“ bietet zudem die Möglichkeit der Errichtung eines Regenbeckens auf dem neuen Gelände, um einen geringeren Abschlag in die Gründau durch die davorgelegenen Regenüberlaufbecken zu gewährleisten. In der Fußnote von Tabelle 7 sind daher mit der Annahme eines Regenbeckenvolumens von 1.500 m³ (das 5-fache des Bauwerks B99) und der Vergrößerung des Zulaufkanals von DN 700 auf DN 1400 dies als optionaler Kostenpunkt für die Neubauvariante beigefügt.

Tabelle 7: Übersicht Investitionskosten der Lösungsvarianten [€]

Kostenpunkt	Variante 1 Bestandsausbau	Variante 2 Bestandsausbau + Erweiterungsfläche	Variante 3 Neubau auf Erweiterungsfläche
Flächenmanagement	103.300	503.300	2.064.500
Herstellung Bauwerke	17.577.600	12.836.800	15.966.700
Rückbau/Sanierung	1.318.500	2.244.000	624.800
Nettosumme	18.999.400	15.584.100	18.655.900
Baunebenkosten (15 %)	2.849.900	2.337.600	2.798.400
Nettosumme nach Kostensteigerung (10 %)	24.034.300	19.713.900	23.599.800
Mehrwertsteuer (19%)	4.566.500	3.745.600	4.484.000
Gesamtbruttosumme	28.600.000	23.460.000	28.080.000 ¹⁾

1 optional +2.275.000 € brutto für Regenbecken 1500 m³ und 1.000 m DN 1400 Zulaufkanal um ein Gesamtspeichervolumen von 40 m³/ha zu erreichen

9.2 Betriebskosten

Zur Abschätzung der Betriebskosten wurden Kennwerte aus der Literatur sowie hausinterne Kostenansätze angewandt. Folgende Ansätze sind in die Berechnung eingeflossen:

- | | |
|---|-----------------|
| • Eisen-III-Chlorid-Preis | 170 €/Mg |
| • Chemikalien MBR | 0,59 €/t/m³ JAM |
| • Entsorgungskosten Schlamm | 138,60 €/Mg |
| • Entsorgungskosten Rechengut | 179 €/Mg |
| • Entsorgungskosten Sand | 80 €/Mg |
| • Kosten Vollzeitstelle | 60.000 €/a |
| • Strompreis | 0,25 €/kWh |
| • Instandhaltungskosten = (1% BT, 2% MT, 2,5% ET) | |
| • Instandhaltungskosten = (1% BT, 4% MT, 2,5% ET) für Variante mit Feinstsieb und MBR | |

Folgende Annahmen wurden für die Mengenermittlung getroffen:

- | | |
|---|----------------------------|
| • Beta-Wert für PO ₄ -P Restkonzentration 0,2 mg/l | 2,8 |
| • Arbeitsaufwand Kläranlage (32.000 EW) mittel | 6.000 h/a |
| • Arbeitsaufwand Kläranlage (32.000 EW) Spitze | 8.000 h/a |
| • Spezifische Arbeitszeit pro Person | 1.677 h/a |
| • Zuschlagspauschale | 10 % |
| • Jährl. Kosten pro Vollzeitstelle | 60.000 €/a |
| • Sauerstoffeintrag in Reinwasser | 3,4 kg O ₂ /kWh |
| • Durchmischungsenergiebedarf Belebung | 1,5 W/m³ |
| • Durchmischungsenergiebedarf Faulbehälter | 5 W/m³ |
| • Gesamtwirkungsgrad aus Zulaufpumpen und Motor | 50% |
| • Spez. Wärmebedarf Schlamm | 1,16 kWh/(m³*K) |
| • Wärmedurchgangskoeffizient Faulbehälter | 0,4 W/(m²*K) |
| • Mittlerer flächenspezifischer Wärmeverlust Betriebsgebäude | 70 kWh/(m²*a) |
| • Crossflow-Belüftung MBR | 0,349 kWh/m³ |
| • Permeatextraktion MBR | 0,013 kWh/m³ |
| • Anteil (Belüftung, Durchmischung, Pumpen) Gesamtverbrauch | 85% |

Für die Berechnung des Energieverbrauchs wurden die Hauptverbraucher (Zulaufpumpwerk, Belüftung Belebung, Durchmischung Belebung, Durchmischung Faulturm, Wärmebedarf Faulturm und Wärmebedarf Betriebsgebäude) anhand der Kennwerte aus DWA-A 216 (2015) berechnet. Den übrigen Verbrauchern wurde ein Anteil am Gesamtverbrauch von 15% zugewiesen. Demgegenüber steht die aus den prognostizierten Schlamm-mengen gewonnene Faulgasenergie (Strom- und Wärme-erzeugung). Auch wenn an dieser Stelle einige Annahmen eingeflossen sind, kann festgestellt werden, dass der zukünftige Stromverbrauch (~530.000 kWh/a) mit optimierten Aggregaten gegenüber dem derzeitigen (600.000 kWh/a) gesenkt werden kann. Die Eigenenergie-erzeugung einer Faulgasanlage (360.000 kWh/a) ist zudem wesentlich

höher als der derzeitig genutzten PV-Anlage (32.000 kWh/a), sodass der einwohnerspezifischen Jahresverbrauch von derzeitig 35 kWh/(E*a) auf unter 10 kWh/(E*a) gesenkt werden kann. Selbst wenn die hier gewählten Annahmen optimistisch sind, ist aus energetischen Gründen in jedem Fall eine verfahrenstechnische Umstellung auf anaerobe Schlammstabilisierung zu empfehlen.

Tabelle 8: Übersicht Betriebskosten Lösungsvarianten [€/a]

Position	Variante 1 Bestandsausbau	Variante 2 Bestandsausbau + Erweiterungsfläche	Variante 3 Neubau auf Erweiterungsfläche
Energiekosten	146.900	44.600	41.900
Betriebsmittelkosten	69.800	59.700	59.700
Entsorgungskosten	57.600	57.600	57.600
Personalkosten	420.000	420.000	420.000
Instandhaltungskosten	398.900	252.800	257.900
Nettosumme	1.093.200	834.700	855.200
Nettosumme nach Kostensteigerung (10 %)	1.202.500	918.200	940.700

9.3 Jahreskosten und spezifische Behandlungskosten

In Tabelle 9 sind die Jahreskosten und die spezifischen Behandlungskosten der geplanten Konzepte zusammengestellt. Die Abschätzung der Jahreskosten basiert auf den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (DWA, 2012) und berücksichtigt die Abschreibung der Investitionen, der Reinvestitionen für die maschinentechnische und elektrotechnische Ausrüstung sowie die Betriebskosten. Dabei wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Abschreibungszeitraum 30 Jahre
- Nutzungsdauer Bautechnik (inkl. Baunebenkosten) 30 Jahre
- Nutzungsdauer Maschinentechnik 15 Jahre
- Nutzungsdauer EMSR-Technik 10 Jahre
- Kalkulatorischer Zinssatz 3 %

Im Vergleich zum Kläranlagenanteil der jetzigen Abwassergebühr von 1,67 €/m³ Trinkwasser ergeben sich für die Ertüchtigungsvarianten neue Zahlen zwischen 2,84 - 3,50 €/m³ Trinkwasser.

Tabelle 9: Jahreskosten und spezifische Behandlungskosten der Varianten

	Einheit	Variante 1 Bestandsausbau	Variante 2 Bestandsausbau + Erweiterung	Variante 3 Neubau auf Erweiterungsfläche
Jahreskosten	€/a	3.050.000	2.470.000	2.730.000
Spezifische Behandlungs- kosten	€/ (E × a) ¹⁾	141,66	114,72	126,80
	JAM ²⁾	1,78	1,44	1,59
	€/m ³			
	JSM ³⁾	3,50	2,84	3,14
	€/m ³			

¹ bezogen auf die prognostizierte Einwohnerzahl von 21.530 E

² bezogen auf eine Jahresabwassermenge von 1.715.929 m³/a

³ bezogen auf den prognostizierten Trinkwasserverbrauch von 870.711 m³/a

10 VARIANTENBEWERTUNG

10.1 Erläuterungen zum Bewertungsschema der Lösungsvarianten

Für die Ableitung der Vorzugsvariante wurden Bewertungskriterien definiert. Dem Bewertungsschema liegen vier Hauptkriterien zu Grunde, die wie folgt prozentual gewichtet sind:

- | | |
|--|-------|
| 1. Planungssicherheit/ (Verfahrens)Technik | [20%] |
| 2. Betrieb | [20%] |
| 3. Gesetzliche Rahmenbedingungen/ Nachhaltigkeit | [30%] |
| 4. Ökonomie | [30%] |

Die Hauptkriterien werden zur besseren Differenzierung in Unterpunkte geteilt. Unter dem Punkt Planungssicherheit/ (Verfahrens)Technik werden Aspekte von Seiten des Planers diskutiert. Dabei wird diskutiert, inwieweit Erfahrungen über die eingesetzte Verfahrenstechnik vorliegen. Aber auch das Potential für Unerwartetes bei der Umsetzung der jeweiligen Variante wird abgeschätzt. Unter dem Kriterium Betrieb wird die Flexibilität in der Fahrweise nach der Umsetzung des Lösungskonzeptes diskutiert. Der Personalaufwand ist ebenfalls ein Aspekt, der nicht nur durch die Anzahl der Beschäftigten, sondern eben besonders auch durch die Anforderungen an das Personal ausgemacht wird. Auch das Gefährdungspotential für das Personal bei den verschiedenen geplanten Technologien wird bepunktet. Und schließlich soll die (Um)Bauphase und ihre Auswirkungen auf den Betrieb berücksichtigt werden. Unter dem Kriterium Gesetzliche Rahmenbedingungen/ Nachhaltigkeit wird die Konformität der Lösungskonzepte sowohl für die anstehenden als auch für die zukünftigen Anforderungen diskutiert. Der Aspekt der künftigen Erweiterungsmöglichkeiten wird ebenfalls bewertet. Die Genehmigungsfähigkeit soll aufgrund der in Anspruch genommenen und veränderten Flächen abgeschätzt werden. Die in Abschnitt 0 diskutierten Jahreskosten fließen wesentlich in das Bewertungskriterium Ökonomie ein. Zudem werden die Lösungskonzepte im Hinblick auf die finanzielle Belastung nach dem Abschreibungszeitraum verglichen und bepunktet. Bei der Bepunktung der Varianten werden jeweils minimal 1 und bestenfalls 5 Punkte vergeben und schließlich nach der obigen Gewichtung verrechnet.

10.2 Bewertung der Lösungsvarianten

Im Folgenden werden die Varianten nach dem in Abschnitt 10.1 beschriebenen Schema bewertet. Dabei können Kosten und qualitative Merkmale der Konzepte in einem Bezugssystem gegenübergestellt werden. Das gesamte Bewertungsschema kann in Anlage 4 „Bewertungsschema Varianten“ nachvollzogen werden. Dabei kann eine subjektive Einschätzung nicht ausgeschlossen werden.

Die in den Varianten 2 und 3 geplanten Verfahren (klassische Belebungsbecken und Absetzbecken) sind bewährte Techniken, was zu einer vollen Punktzahl im Aspekt Referenzen

führt. Auch die in Variante 1 beabsichtigten Technologien Feinstsieb (als Vorklärung) und MBR sind in Deutschland bereits mehrfach eingesetzt kommen aber im Vergleich auf weniger Erfahrungsberichte, sodass hier aus planerischer Sicht nur 3 von 5 Punkten vergeben werden. Das Potential für Unerwartetes ist grundsätzlich beim Bauen im Bestand wie beim Neubau vorhanden. Durch eine oftmals schwer vollständig nachvollziehbare unterirdischer Infrastruktur in Bestandsanlagen kommt es jedoch vermehrt zu unvorhergesehenen Abweichungen von den Bauphasen, was zu erhöhtem Aufwand (auch finanziell) führt. Variante 1 wird daher mit 2 Punkten am kritischsten beurteilt, während in Variante 2 durch die Teilnutzung der Erweiterungsfläche nicht auf engstem Raum gebaut werden muss und eine durchschnittliche Punktzahl von 3 Punkten vergeben werden kann. Auch in der Neubauvariante bleibt ein Restrisiko für Unerwartetes, was jedoch durch gute Voruntersuchungen minimiert werden kann (4 Punkte). Zusammenfassend schneidet Variante 3 („Neubau“) in der Kategorie **Planungssicherheit/ (Verfahrens)Technik** mit 4,50 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 2 (4,00 Punkte) und Variante 1 (2,50 Punkte).

Ein wichtiger betrieblicher Aspekt ist mit einer flexiblen Steuerung der Anlage gegeben. Der neueste Stand der Technik bietet bessere Möglichkeiten für die Anlagensteuerung, welche bestenfalls in allen drei Konzepten weitestgehend untergebracht werden sollten. Für Bestandsanlagen sind hierbei jedoch vorgegebene Räumlichkeiten, Geometrien und Infrastruktur einschränkend für eine optimale Ausschöpfung der Möglichkeiten. Von daher ist mit einer neuen Anlage (Variante 3) eine modernste Anlagensteuerung planbar (5 Punkte), während im Bestand gewisse Abstriche gemacht werden müssen. Dabei ist zu unterscheiden, dass eine 3-straßige MBR-Anlage (Variante 1 → 3 Punkte) gegenüber einer 1-straßigen Nachklärung (Variante 2 → 2 Punkte) als flexibler einzuschätzen ist. Der Personalaufwand stellt sich grundsätzlich für eine Kläranlage von 32.000 EW erstmal für alle Konzepte gleich da. Höhere qualitative Anforderungen an das Personal stellt Variante 1 mit dem Betrieb einer MBR-Anlage (nur 4 von 5 Punkten). Der Aspekt Gefährdungspotential durch Betriebsmittel kann mit der Notwendigkeit von zusätzlichen Ex-Zonen verknüpft werden. Hier ist sowohl in Variante 1 als auch in Variante 2 mit der späteren Integrierung einer PAK-Anlage der Bedarf an zusätzlichem Explosionsschutz vorbestimmt (jeweils 3 Punkte). Auch in Variante 3 („Neubau“) ist bei der Erweiterung um eine vierte Reinigungsstufe diese Möglichkeit, sowohl bei dem Bau einer PAK-Anlage als auch bei der Nutzung einer Ozonung, gegeben. Optional kann jedoch auch eine GAK-Anlage platziert werden, wovon keine zusätzliche Gefährdung für das Betriebspersonal zu erwarten wäre (4 Punkte für Variante 3). Ein bemerkbarer Unterschied würde beim Vergleich der Umbauphasen der Lösungsvarianten festzustellen sein. Während beim Bau im Bestand (Variante 1) vermehrt Provisorien bei engsten Platzverhältnissen zur Aufrechterhaltung des Betriebes genutzt werden müssten (1 Punkt) würden durch das teilweise (3 Punkte) oder vollständige Ausweichen auf eine Erweiterungsfläche (5 Punkte) provisorische Maßnahmen verringert und eine entspannter Übergangsbetrieb erreicht werden. Im Hauptkriterium **Betrieb** werden Variante 3 („Neubau“) im Mittel 4,75 Punkte zugewiesen. Dahinter liegen Variante 2 (mit 3,25 Punkten) und Variante 1 (mit 2,75 Punkten).

Neben den Anforderungen an die Planung und Umsetzung der Konzepte und den betrieblichen Aspekten stehen zentral die abwassertechnischen und umwelttechnischen Anforderungen. Für die anstehenden Anforderungen war bei allen drei Varianten der Anspruch gegeben, diese mit voller Zuverlässigkeit planerisch umzusetzen (alle 5 Punkte). Bezüglich zukünftiger Anforderungen sind jedoch nicht alle Varianten gleichermaßen konform. Wie bereits in der Erläuterung der Varianten beschrieben, ist zur Erfüllung der Anforderungen der Spurenstoffentfernung nicht unbedingt jede Verfahrenstechnik gleichermaßen zielführend. Während gewisse Stoffe nur mittels Ozonung entfernt werden können, lassen sich andere nur durch Adsorption an Aktivkohle eliminieren. Welche Stoffe entfernt müssen, hängt von der Zusammensetzung im Zulauf (Industrie und Gewerbe) und den gesetzlichen Vorgaben ab. Es ist denkbar, dass nur durch Kombination der Technologien alle Anforderungen eingehalten werden können. Demnach sind bei den Varianten 1 und 2 Punktabzüge in Kauf zu nehmen (jeweils 3 Punkte). Auch eine Erweiterung der Kapazitäten (stofflich und/oder hydraulisch) ist in den beiden Varianten nachträglich nicht mehr möglich. Die Flächen werden alle verbaut sein, sodass schließlich wieder die Frage nach einem Neubau im Raum stünde (jeweils nur 1 Punkt). Ein optimales ökologisches Flächenmanagement ist durch die gegebenen Verhältnisse (hauptsächlich FFH-Gebiet und Landschaftsschutzgebiet zwischen Einzugsgebiet und Vorfluter) kaum zu erreichen. Während Variante 1 ein zusätzliches Stück vom FFH-Gebiet einfordert (3 Punkte), ist für die Umsetzung von Variante 2 sogar der Erwerb eines FFH-Gebietes im Zulaufbereich und einer nördlichen Landschaftsschutzfläche für die ausgelagerte Schlammbehandlung notwendig (2 Punkte). Auch in der Variante 3 („Neubau“) muss wahrscheinlich auf eine Landschaftsschutzfläche zurückgegriffen werden. Ein ökologischer Ausgleich kann jedoch geschaffen werden, nach Rückbau des Bestandes und einer Renaturierung des alten Geländes inmitten des FFH-Gebietes. Hierdurch können neue Rückzugsorte für die ansässige Flora und Fauna gewonnen werden und eine Verbindung der angrenzenden FFH-Gebiete untereinander zu einer höheren ökologischen Durchgängigkeit führen (4 Punkte). Die oben beschriebenen Aspekte werden in jedem Falle weiter zu diskutieren sein, um eine genehmigungsfähige Umsetzung zu erarbeiten. Der CO₂-Fußabdruck als zusätzlicher ökologischer Bewertungsaspekt kann unter Betrachtung zukünftig einzusetzender Technologien zu einer Unterscheidung führen. Der durch die platztechnischen Einschränkungen erzwungene Einsatz von PAK in Variante 1 und 2 geht mit einer ressourcen-intensiveren Herstellung einher (2 und 3 Punkte) als der Einsatz von Ozon oder GAK, welcher wiederum in Variante 3, dem Neubau, berücksichtigt werden könnte (4 Punkte). Der Punktunterschied zwischen Variante 1 und 2 ergibt sich durch die höheren Energiekosten für die MBR. Zusammenfassend können für die Hauptkategorie **gesetzliche Rahmenbedingungen/ Nachhaltigkeit** Variante 3 („Neubau“) 4,60 Punkte durchschnittlich gegeben werden. Variante 2 und 3 erhalten im Mittel jeweils 2,80 Punkte.

Die oben beschriebenen Aspekte sind primär von qualitativer Natur, auch wenn sowohl planerischer und betrieblicher Mehraufwand als auch das Missachten gesetzlicher Anforderungen finanzielle Auswirkungen haben kann. Die berechenbaren ökonomischen Aspekte (Investitions-, Reinvestitions- und Betriebskosten) sind oftmals klarer festzumachen. Vergleicht man die in dieser Studie geschätzten Jahreskosten für die Umsetzung der drei

Konzepte stellt man fest, dass Variante 2 zunächst am besten abschneidet (deshalb 5 Punkte). Variante 1 und 3 unterscheiden sich an dieser Stelle nicht viel (2 und 3 Punkte). Eine gesamtheitliche Sicht auf die Investitionen bei zukünftigen Kläranlagenerweiterungen führt jedoch zu dem Ergebnis, dass Variante 3 („Neubau“) zukunftsfähiger ist (5 Punkte), was sich früher oder später auch ökonomisch bemerkbar machen wird. Aufgrund der Verhältnisse im Bestand (räumliche Einschränkungen durch Vorfluter und FFH-Gebiet) (2 Punkte für Bestandsvarianten) muss man auch hier den Schluss ziehen, dass ein Neubau langfristig gesehen ökonomisch sinnvoller ist, auch wenn die Investitionen zunächst etwas höher sind. Es ist davon auszugehen, dass zukünftig erneut die Frage nach einem Neubau gestellt werden muss und eine wirtschaftliche Lösung im Bestand nicht mehr denkbar sein wird. Zusammenfassend und **aus einer gesamtheitlichen ökonomischen Sicht** erhält Variante 3 („Neubau“) 4,00 Punkte, die zunächst günstigste Variante 2 nur 3,50 Punkte und Variante 1 lediglich 2,00 Punkte.

Mit der in Abschnitt 10.1 erläuterten Gewichtung der 4 Hauptkategorien ergibt sich das Ergebnis in Tabelle 10. Damit wurde die Variante 3, der Neubau auf der Erweiterungsfläche, als klare Vorzugsvariante herausgearbeitet. An dieser Stelle wird erneut eine subjektive Bewertung nicht ausgeschlossen.

Tabelle 10: Bewertungstabelle des Variantenvergleichs

Hauptkriterium	Variante 1 Bestandsausbau	Variante 2 Bestandsausbau + Erweiterung	Variante 3 Neubau auf Erweiterungsfläche
Planungssicherheit/ (Verfahrens)Technik	2,50	4,00	4,50
Betrieb	2,75	3,25	4,75
Gesetzl. Rahmenbedingungen/ Nachhaltigkeit	2,80	2,80	4,60
Ökonomie	2,00	3,50	4,00
Gesamtbewertung	2,5	3,3	4,4

11 TERMINSCHIENE

Die in Tabelle 11 veranschlagten Umsetzungszeiträume sind nach den Leistungsphasen (LP) der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) gegliedert und berücksichtigen Abstimmungs- und Entscheidungsprozesse des Magistrats Langenselbold, ergänzender Fachplaner (Statik, EMSR, etc.) sowie der zuständigen Fachbehörden.

Für die Gesamtdauer bis zur Fertigstellung der Planungs-, Vergabe- und Baumaßnahmen wird ein Umsetzungszeitraum von ca. 77 Monaten (6,5 Jahren) veranschlagt. Bei einem Beginn der Umsetzung der Maßnahmen im September 2021 läge die Fertigstellung des Projekts im März des Jahres 2028. Der Abschluss aller Planungsphasen (Ende Ausführungsplanung, LP 5) wird im Oktober des Jahres 2023 angesetzt. Die Dauer der Vergabephasen (LP 6 und LP 7) wird mit 11 Monaten abgeschätzt, sodass der Termin für den Baubeginn (LP 8) in den September 2024 fällt.

Tabelle 11: Terminschiene Ertüchtigung KA Langenselbold

Leistungsphase		Dauer	Start	Ende
		[Monate]		
LP 2	Vorplanung	7	09/2021	03/2022
	Planungsbüro (Anfertigung) ¹⁾	4		
	Regierungspräsidium Darmstadt	2		
	Magistrat Langenselbold (Freigabe)	1		
LP 3	Entwurfsplanung (+ Genehmigung)	13	04/2022	04/2023
	Planungsbüro (Anfertigung) ¹⁾	5		
	Regierungspräsidium Darmstadt (Freigabe)	6		
	Magistrat Langenselbold (Freigabe)	2		
LP 5	Ausführungsplanung	6	05/2023	10/2023
	Planungsbüro (Anfertigung)	4		
	Magistrat Langenselbold (Freigabe)	2		
LP 6	Vorbereitung Vergabe	4	11/2023	02/2024
	Planungsbüro (Anfertigung)	3		
	Magistrat Langenselbold (Freigabe)	1		
LP 7	Mitwirken bei der Vergabe	6,5	03/2024	09/2024
	Angebotsphase für die Firmen / Bieter	2,5		
	Planungsbüro	2		
	Magistrat Langenselbold (Beauftragung)	2		
LP 8	Objektüberwachung - Bauüberwachung	40	09/2024	03/2028
	Planungsbüro	36		
	Magistrat Langenselbold (VOB-Abnahme)	4		
¹⁾ inkl. EMSR-Planung und Tragwerksplanung, Baugrund, Naturschutz, ...				

12 LITERATUR

DWA A 131 (2016)

"Arbeitsblatt DWA-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen"; Herausgeber: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

ATV-DVWK-A 198 (2003)

„Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen“

DWA-FA KA-5 (2008)

"Sandfänge – Anforderungen, Systeme und Bemessung", Korrespondenz Abwasser, Abfall Vol. 55 (2008), Nr. 5, S. 508 - 518

Seyfried, C.F. (1985)

"Neuere Erkenntnisse der Vorreinigung", ATV-Fortbildungskurs E/2, Essen

Abwasser Report - Nr. 1 (1984)

"Bemessung und Gestaltung von Sandfängen bei kommunalen Kläranlagen" Herausgeber: Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden

ATV-FA 2.51 (1998)

"Sandabscheideanlagen (Sandfänge und Sandfanggutaufbereitungsanlagen)" Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 2.5.1, Korrespondenz Abwasser Vol. 45 (1998), Nr. 3, S. 535 - 549

Kalbskopf K.-H. et al. (1997)

"ATV-Handbuch Mechanische Abwasserreinigung", Herausgeber: Abwassertechnische Vereinigung e.V.

DWA FA 2.5 (1997)

" Konstruktive Aspekte der Planung von Nachklärbecken für Belebungsanlagen – Horizontal durchströmte Rundbecken"; Korrespondenz Abwasser, Vol. 44, Nr. 11 S. 2061 – 2064

Billmeier, E. (1986)

"Einfluss der Rücklaufführung auf das Absetzverhalten belebter Schlämme" Korrespondenz Abwasser, Vol. 35, H.1, S. 51 - 56

LfU (1997)

„Funktionsstörungen auf Kläranlagen“, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 1997

DWA-M 368 (2014)

„Biologische Stabilisierung von Klärschlamm“, Juni 2014

DWA-M 381 (2007)

„Eindickung von Klärschlamm“, Oktober 2014

DWA-M 363-E (2021)

„Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen“, Oktober 2014

DWA-M 271 (2017)

„Personalbedarf für den Betrieb kommunaler Kläranlagen“, März 2017

ATV-A 147, Teil 2 (1995)

„Betriebsaufwand für die Kanalisation Teil 2: Personal-, Fahrzeug- und Gerätebedarf“, März 1995

HMUELV Hessen (2011)

„Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen“, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Stand 23. August 2011

MUFV (2007)

„Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen“, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz; Oktober 2007



Legende Umbau

- Neubau
- Umbau
- Abbruch
- neue Leitung Abwasserweg
- neue Leitung Schlammweg
- neue Verkehrsführung

UNGER
ingenieure
Gemeinsam mit Weber-Ingenieure

Darmstadt ■ Freiburg ■ Homburg (Efze)
Heidelberg ■ Koblenz ■ Mainz ■ Offenburg

UNGER Ingenieure
Ingenieurgesellschaft mbH

Julius-Reiber-Straße 19
64293 Darmstadt
da@unger-ingenieure.de
www.unger-ingenieure.de
Telefon 06151 603-0

Auftraggeber:

Langenselbold

Projekt:

Ertüchtigung der
Kläranlage Langenselbold

Planbezeichnung:

Variante 1
Bestandsausbau

Name:	Datum:	Projekt Nr.:	Planstatus:
Bearbeitet: Stein		40863	Machbarkeitsstudie
Gezeichnet: Meierhöfer		Maßstab:	Zeichnungs Nr.:
Geprüft: Dr. Härtel		1:500	40863-SO / 1
Stand:	11.05.2021		

Auftraggeber:

Planverfasser:

....., den

Darmstadt, den



Legende Umbau

- Neubau
- Umbau
- Abbruch
- neue Leitung Abwasserweg
- neue Leitung Schlammweg
- neue Verkehrsführung

UNGER ingenieure
Gemeinsam mit Weber-Ingenieure
Darmstadt ■ Freiburg ■ Homburg (Efze)
Heidelberg ■ Koblenz ■ Mainz ■ Offenburg

UNGER Ingenieure
Ingenieurgesellschaft mbH
Julius-Reiber-Straße 19
64293 Darmstadt
da@unger-ingenieure.de
www.unger-ingenieure.de
Telefon 06151 603-0

Auftraggeber:

Langenselbold

Projekt:

Ertüchtigung der Kläranlage Langenselbold

Planbezeichnung:

Variante 1
Bestandsausbau Abrissmaßnahmen

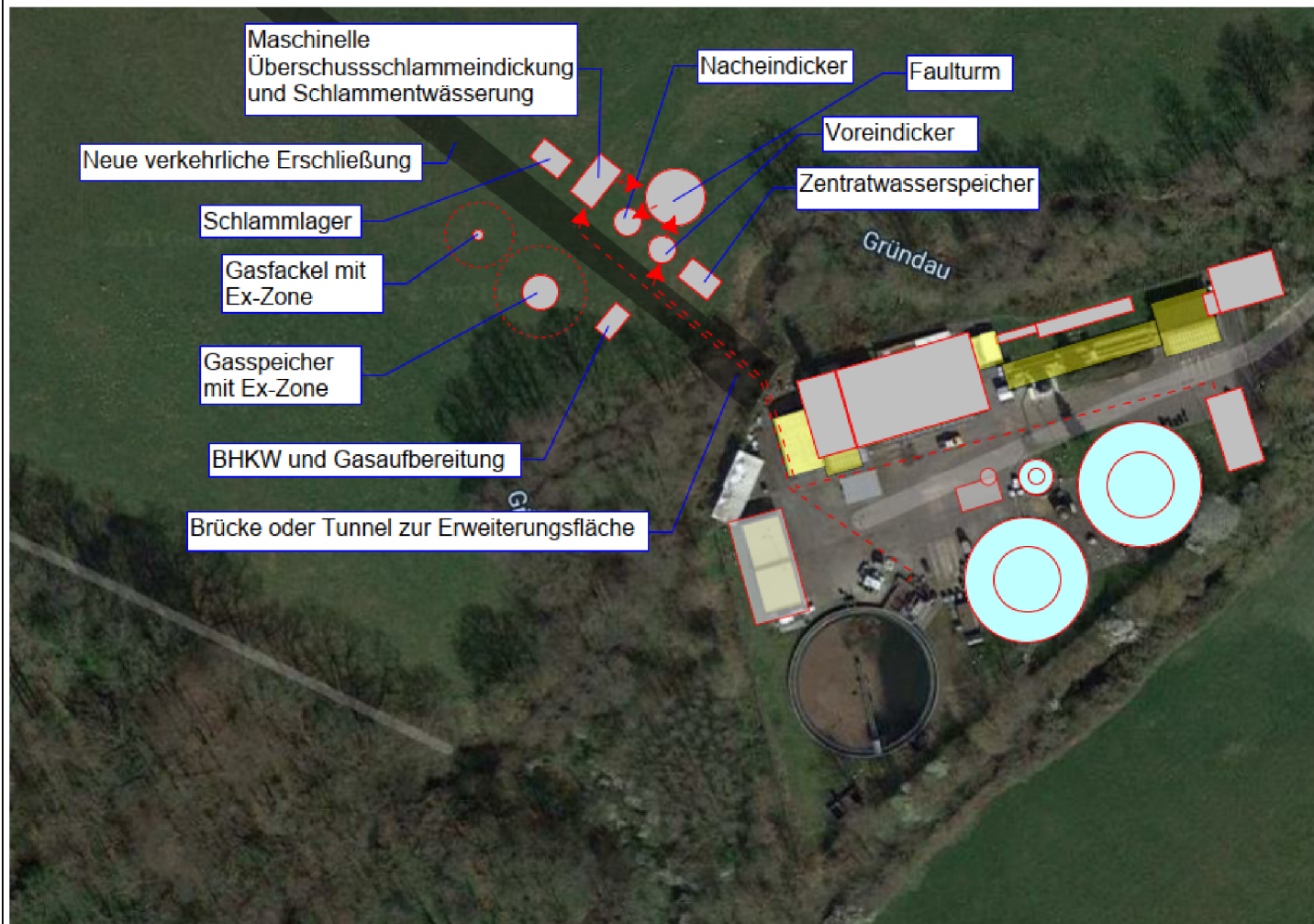
Name:	Datum:	Projekt Nr.:	Planstatus:
Bearbeitet: Stein		40863	Machbarkeitsstudie
Gezeichnet: Meierhöfer		Maßstab:	Zeichnungs Nr.:
Geprüft: Dr. Härtel		1:500	40863-SO / 1.1
Stand:	11.05.2021		

Auftraggeber:

Planverfasser:

den

Darmstadt, den



Legende Umbau

- Neubau
- Umbau
- Abbruch
- neue Leitung Abwasserweg
- neue Leitung Schlammweg
- neue Verkehrsführung

UNGER
ingenieure
Gemeinsam mit Weber-Ingenieure

Darmstadt ■ Freiburg ■ Homburg (Efze)
Heidelberg ■ Koblenz ■ Mainz ■ Offenburg

UNGER ingenieure
Ingenieurgesellschaft mbH

Julius-Reiber-Straße 19
64293 Darmstadt
da@unger-ingenieure.de
www.unger-ingenieure.de
Telefon 06151 603-0

Auftraggeber:

Langenselbold

Projekt:

Ertüchtigung der
Kläranlage Langenselbold

Planbezeichnung:

Variante 2
Bestandsausbau und Erweiterung Übersicht

Name:	Datum:	Projekt Nr.:	Planstatus:
Bearbeitet: Stein		40863	Machbarkeitsstudie
Gezeichnet: Meierhöfer		Maßstab:	Zeichnungs Nr.:
Geprüft: Dr. Härtel		~1:750	40863-SO / 2.0
Stand:	11.05.2021		

Auftraggeber:

Planverfasser:

....., den

Darmstadt, den



Legende Umbau

- Neubau
- Umbau
- Abbruch
- neue Leitung Abwasserweg
- neue Leitung Schlammweg
- neue Verkehrsführung

UNGER ingenieure
Gemeinsam mit Weber-Ingenieure
Darmstadt ■ Freiburg ■ Hornberg (Efze)
Heidelberg ■ Koblenz ■ Mainz ■ Offenburg

UNGER Ingenieure
Ingenieurgesellschaft mbH
Julius-Reiber-Straße 19
64293 Darmstadt
da@unger-ingenieure.de
www.unger-ingenieure.de
Telefon 06151 603-0

Auftraggeber:	Langenselbold			
Projekt:	Ertüchtigung der Kläranlage Langenselbold			
Planbezeichnung:	Variante 2 Bestandsausbau und Erweiterung			
Bearbeitet:	Name: Stein	Datum:	Projekt Nr.: 40863	Planstatus: Machbarkeitsstudie
Gezeichnet:	Meierhöfer		Maßstab:	Zeichnungs Nr.: 40863-SO / 2
Geprüft:	Dr. Härtel		1:500	
Stand:		11.05.2021		
Auftraggeber:	Planverfasser:			
....., den Darmstadt, den				



Legende Umbau

- Neubau
- Umbau
- Abbruch
- neue Leitung Abwasserweg
- neue Leitung Schlammweg
- neue Verkehrsführung

UNGER
ingenieure
Gemeinsam mit Weber-Ingenieure
Darmstadt ■ Freiburg ■ Homburg (Efze)
Heidelberg ■ Koblenz ■ Mainz ■ Offenburg

UNGER Ingenieure
Ingenieurgesellschaft mbH
Julius-Reiber-Straße 19
64293 Darmstadt
da@unger-ingenieure.de
www.unger-ingenieure.de
Telefon 06151 603-0

Auftraggeber:		Langenselbold		
Projekt:		Ertüchtigung der Kläranlage Langenselbold		
Planbezeichnung:		Variante 2 Bestandsausbau und Erweiterung Abrissmaßnahmen		
Bearbeitet:	Name: Stein	Datum:	Projekt Nr.: 40863	Planstatus: Machbarkeitsstudie
Gezeichnet:	Meierhöfer		Maßstab:	Zeichnungs Nr.:
Geprüft:	Dr. Härtel		1:500	40863-SO / 2.1
Stand:		11.05.2021		
Auftraggeber:		Planverfasser:		
....., den		Darmstadt, den		



Legende Umbau

- Neubau
- Umbau
- Abbruch
- neue Leitung Abwasserweg
- neue Leitung Schlammweg
- neue Verkehrsführung

UNGER
ingenieure
Gemeinsam mit Weber-Ingenieure

Darmstadt ■ Freiburg ■ Homberg (Efze)
Heidelberg ■ Koblenz ■ Mainz ■ Offenburg

UNGER ingenieure
Ingenieurgesellschaft mbH

Julius-Reiber-Straße 19
64293 Darmstadt
da@unger-ingenieure.de
www.unger-ingenieure.de
Telefon 06151 603-0

Auftraggeber:

Langenselbold

Projekt:

Ertüchtigung der
Kläranlage Langenselbold

Planbezeichnung:

Variante 3
Neubau auf Erweiterungsfläche

Name:	Datum:	Projekt Nr.:	Planstatus:
Bearbeitet: Stein		40863	Machbarkeitsstudie
Gezeichnet: Meierhöfer		Maßstab:	Zeichnungs Nr.:
Geprüft: Dr. Härtel		~1:750	40863-SO / 3.0
Stand:	11.05.2021		

Auftraggeber:

Planverfasser:

..... den

Darmstadt, den

Tabelle 1: Investitionskosten - detailliert

Investitionskosten	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Einheit	Anmerkungen
<i>Erwerb nördliche Baufläche</i>					
bebaute Fläche	0	3.200	16.000	m²	
unbebaute Fläche	0	12.800	16.000	m²	
Kaufpreis bebaute Fläche	50	50	50	€/m²	Angaben von Weckel
Kaufpreis unbebaute Fläche	5	5	5	€/m²	Angaben von Weckel
Erwerb nördliche Baufläche	0	224.000	880.000	€	
<i>Erwerb östliche FFH-Fläche</i>					
bebaute Fläche	250	250	0	m²	
Kaufpreis bebaute Fläche	50	50	50	€/m²	Annahme
Erwerb östliche FFH-Fläche	12.500	12.500	0	€	
<i>Ausgleichskosten nördliche Baufläche</i>					
überbaute Fläche	0	3.200	16.000	m²	
Wertpunkteverlust pro m²	55	55	55	€/m²	Annahme extensiv genutzte Feuchtwiede
aufgeforstete Fläche	0	0	9.000	m²	
Wertpunktegewinn pro m²	36	36	36	€/m²	Annahme Neuherstellung Auwald
Ausgleichskosten nördliche Baufläche	0	176.000	556.000	€	
<i>Ausgleichskosten östliche FFH-Fläche</i>					
überbaute Fläche	250	250	0	m²	
Wertpunkteverlust pro m²	66	66	66	€/m²	Annahme Hartholzauwald
Ausgleichskosten östliche FFH-Fläche	16.500	16.500	0	€	
<i>HQ100 Kläranlagengelände</i>					
aufzufüllende Fläche	0	0	32.000	m²	
aufzustockende Erdschicht	2	2	2	m	
Boden verfüllen und andecken	30	30	30	€/m³	aus UNGER-Projekten
durch Bestandsfläche gedeckter Anteil	0	0	75	%	
HQ100 Kläranlagengelände	0	0	480.000	€	
<i>HQ100 Zufahrtsstraße</i>					
Länge Zufahrtsstraße	550	550	550	m	
Breite Zufahrtsstraße	4,5	4,5	4,5	m	
aufzustockende Erdschicht	1	1	2	m	aus Hochwasserkarten entnommen
Boden verfüllen und andecken	30	30	30	€/m³	aus UNGER-Projekten
HQ100 Zufahrtsstraße	74.250	74.250	148.500	€	

Tabelle 2: Investitionskosten – detailliert (Fortsetzung)

<i>Neuer Zu- und Ablaufkanal</i>					
Normdurchmesser	0	0	700	mm	
Länge Kanal	0	0	500	m	
KRW Land Hessen	0	0	495	€/m	
KRW Zuschlag	0	0	25	%	
Preisanpassung	35	35	35	%	
Neuer Zu- und Ablaufkanal	0	0	417656	€	
<i>Zulaufgruppe</i>					
Ertüchtigungsanteil	32.000	32.000	32.000	EW	
KRW Land Hessen	25	25	25	€/EW	
Preisanpassung	35	35	35	%	
Zulaufgruppe	1.080.000	1.080.000	1.080.000	€	
<i>Vor- und Nachklärbecken</i>					
Ertüchtigungsvolumen	0	450	2.580	m³	
KRW Land Hessen	0	778	408	€/m³	
Preisanpassung	35	35	35	%	
Vor- und Nachklärbecken	0	472.635	1.421.064	€	
<i>Feinstsieb</i>					
Feinstsieb	676.261	0	0	€	Angebot + Bautechnik aus Massenermittlung
<i>Membranbioreaktor</i>					
Membranbioreaktor inkl. Anpassung Belebung	5.885.000	0	0	€	Angebot x 1,1 für Belebungsbeckenanpassung
<i>Belebungsbecken</i>					
Ertüchtigungsvolumen	0	1.600	5.900	m³	
KRW Land Hessen	0	624	422	€/m³	
Preisanpassung	35	35	35	%	
Belebungsbecken	0	1.347.840	3.361.230	€	
<i>Rücklaufschlammumpwerk</i>					
Rücklaufschlammumpwerk	100.000	100.000	100.000	€	aus UNGER-Vergleichsobjekt skaliert
<i>Schlammeindicker/-lagerbehälter</i>					
Ertüchtigungsvolumen	164	164	195	m³	
KRW Land Hessen	600	600	544	€/m³	
Preisanpassung	35	35	35	%	
Schlammeindicker/-lagerbehälter	132.840	132.840	143.208	€	

Tabelle 3: Investitionskosten – detailliert (Fortsetzung)

<i>Schlammstabilisierung</i>					
Ertüchtigungsanteil	32.000	32.000	32.000	EW	
KRW Land Hessen	41	41	41	€/EW	
Preisanpassung	35	35	35	%	
Schlammstabilisierung	1.771.200	1.771.200	1.771.200	€	
<i>Schlammmentwässerung</i>					
Ertüchtigungsanteil	32.000	32.000	32.000	EW	
KRW Land Hessen	18,6	18,6	18,6	€/EW	
Preisanpassung	35	35	35	%	
Schlammmentwässerung	803.520	803.520	803.520	€	
<i>EMSR-Technik</i>					
Ertüchtigungsanteil	32.000	32.000	32.000	EW	
KRW Land Hessen	136	136	136	€/EW	
Preisanpassung	35	35	35	%	
EMSR-Technik	5.875.200	5.875.200	5.875.200	€	
<i>Betriebsgebäude</i>					
Ertüchtigungsanteil	32.000	32.000	32.000	EW	
KRW Land Hessen	23	23	23	€/EW	
Preisanpassung	35	35	35	%	
Betriebsgebäude	993.600	993.600	993.600	€	
<i>Provisorien</i>					
Provisorien	260.000	260.000	0	€	Pumpenprovisorium, Rechenprovisorium, Betriebsgebäudecontainer
<i>Abrisskosten Betriebsgebäude</i>					
Betonvolumen	378	378	378	m³	
Betonmasse	983	983	983	Mg	
Abrisskosten Einheitspreis	55	55	55	€/Mg	Abrisskosten Beton + Zusätzliches
Abrisskosten Betriebsgebäude	54.054	54.054	54.054	€	
<i>Abrisskosten Zulaufgruppe</i>					
Betonvolumen	562	562	562	m³	
Betonmasse	1.461	1.461	1.461	Mg	
Abrisskosten Einheitspreis	55	55	55	€/Mg	Abrisskosten Beton + Zusätzliches
Abrisskosten Zulaufgruppe	80.366	80.366	80.366	€	

Tabelle 4: Investitionskosten – detailliert (Fortsetzung)

Abrisskosten Belebung + Verteilerbecken					
Betonvolumen	578	0	1.111	m³	
Betonmasse	1.503	0	2.889	Mg	
Abrisskosten Einheitspreis	55	55	55	€/Mg	Abrisskosten Beton + Zusätzliches
Abrisskosten Belebung + Verteilerbecken	82.654	0	158.873	€	
Abrisskosten Nachklärung					
Betonvolumen	1.342	0	1.342	m³	
Betonmasse	3.489	0	3.489	Mg	
Abrisskosten Einheitspreis	55	55	55	€/Mg	Abrisskosten Beton + Zusätzliches
Abrisskosten Nachklärung	191.906	0	191.906	€	
Abrisskosten Schlammbehandlung					
Betonvolumen	976	976	976	m³	
Betonmasse	2.538	2.538	2.538	Mg	
Abrisskosten Einheitspreis	55	55	55	€/Mg	Abrisskosten Beton + Zusätzliches
Abrisskosten Schlammbehandlung	139.568	139.568	139.568	€	
Sanierung Belebung					
Kosten pro Becken	450.000	450.000	450.000	€/Becken	Annahme alle Flächen sanierungsbedürftig; nur Kosten für Materialbehandlung
zu sanierende Becken	1	2	0	Becken	
Sanierung Belebung	450.000	900.000	0	€	
Sanierung Nachklärung					
Kosten pro Becken	430.000	430.000	430.000	€/Becken	Annahme alle Flächen sanierungsbedürftig; nur Kosten für Materialbehandlung
zu sanierende Becken	0	1	0	Becken	
Sanierung Nachklärung	0	430.000	0	€	
Provisorien Sanierung					
Sanierungsdauer	6	12	0	Monate	
Umpumpen von bis zu 168 l/s pro Monat	33.333	33.333	33.333	€/Monat	aus UNGER-Vergleichsobjekt skaliert
Fällmittelkosten pro Monat	5.000	5.000	5.000	€/Monat	
Faktor für Vorfällung während Sanierung	4	4	4	-	aus UNGER-Vergleichsprojekt
Fällmittelkosten während Sanierung	120.000	240.000	0	€	
Umpumpkosten während Sanierung	200.000	400.000	0	€	
Provisorien Sanierung	320.000	640.000	0	€	

Tabelle 2: Investitionskosten – Übersicht

Investitionskosten			
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Flächenmanagement			
Erwerb nördliche Baufläche		224.000	880.000
Erwerb östliche FFH-Fläche	12.500	12.500	
Ausgleichskosten nördliche Baufläche		176.000	556.000
Ausgleichskosten FFH-Fläche	16.500	16.500	
HQ100 Kläranlagengelände			480.000
HQ100 Zufahrtsstraße	74.300	74.300	148.500
Summe Flächenmanagement	103.300	503.300	2.064.500
Herstellung Bauwerke			
Neue Kanalisation			417.700
Zulaufgruppe	1.080.000	1.080.000	1.080.000
Vor- und Nachklärbecken		472.600	1.421.100
Feinstsieb	676.300		
Membranbioreaktor	5.885.000		
Belebung		1.347.800	3.361.200
RS-Pumpwerk	100.000	100.000	100.000
Schlammindicker/-lagerbehälter	132.800	132.800	143.200
Schlammstabilisierung	1.771.200	1.771.200	1.771.200
Schlammmentwässerung	803.500	803.500	803.500
EMSR-Technik	5.875.200	5.875.200	5.875.200
Betriebsgebäude	993.600	993.600	993.600
Provisorien	260.000	260.000	
Summe Herstellung Bauwerke	17.577.600	12.836.800	15.966.700

Tabelle 2: Investitionskosten – Übersicht (Fortsetzung)

Rückbau/Sanierung			
Betriebsgebäude	54.100	54.100	54.100
Zulaufgruppe	80.400	80.400	80.400
Belebung+Verteilerbecken	82.700		158.900
Nachklärung	191.900		191.900
Schlammbehandlung	139.600	139.600	139.600
Sanierung BB	450.000	900.000	
Sanierung NKB		430.000	
Provisorien Sanierung	320.000	640.000	
Summe Rückbau/Sanierung	1.318.500	2.244.000	624.800
Zwischensumme Herstellungskosten	18.999.400	15.584.100	18.655.900
	7.874.500	6.472.600	8.520.500
	5.249.700	3.236.300	4.260.200
	5.875.200	5.875.200	5.875.200
Baunebenkosten (15%)	2.849.900	2.337.600	2.798.400
Nettoherstellungskosten (inkl. 10% Preisst	24.034.300	19.713.900	23.599.800
Mehrwertsteuer (19%)	4.566.500	3.745.600	4.484.000
Gesamtbruttosumme	28.600.000	23.460.000	28.080.000

Tabelle 3: Betriebskosten - detailliert

Betriebskosten	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Einheit	Anmerkungen
<i>Fällmittelkosten</i>					
$C_{P,ZB}$	9,1	9,1	9,1	mg/l	aus Nachrechnung Biologie mit Mittelwerten
$C_{P,AN}$	0,7	0,7	0,7	mg/l	
$f_{ÜW,P}$	0,7	0,7	0,7	-	Hilfswert zur Abminderung des Überwachungswertes für die Kalkulation. Bereich: 0,6 bis 0,7
$C_{CSB,ZB}$	453	453	453	mg/l	aus Nachrechnung Biologie mit Mittelwerten
$X_{P,BM}$	2,265	2,265	2,265	mg/l	
$f_{BM,P}$	0,005	0,005	0,005	-	
$X_{P,BioP}$	0,906	0,906	0,906	mg/l	
f_{BioP}	0,002	0,002	0,002	-	
$X_{P,Fäll}$	5,4	5,4	5,4	mg/l	
JAM	1.715.929	1.715.929	1.715.929	m³/a	Zulaufmenge
$X_{P,Fäll}$	9333	9333	9333	kg P/a	
Stoffmenge _{P,Fäll}	301.063	301.063	301.063	mol P/a	31 g/mol
	2,8	2,8	2,8	mol Me^{3+} /mol P	für eine PO_4 -P Restkonzentration von 0,2 mg/l bei Simultanfällung ergibt sich nach Scheer ...
Stoffmenge _{Me3+}	842.975	842.975	842.975	mol Me^{3+} /a	
Stoffmenge _{Fe3+ in Eisen-III-Chlorid}	2,4	2,4	2,4	mol Fe^{3+} /kg Eisen-III-Chlorid	2,4-2,5 nach DWA 202 (2011)
Fällmittelmenge	351.240	351.240	351.240	kg Eisen-III-Chlorid/a	
	351	351	351	Mg Eisen-III-Chlorid/a	
Eisen-III-Chlorid-Preis	170	170	170	€/Mg	
Fällmittelkosten	59.711	59.711	59.711	€/a	
<i>Chemikalien (Membran)</i>					
Chemikalienkosten	0,59	0,59	0,59	€/m³	
JAM	1.715.929	0	0	m³/a	Permeatmenge
Chemikalien (Membran)	10.124	0	0	€/a	
<i>Schlamm Entsorgungskosten</i>					
entwässerter Schlamm	370	370	370	Mg/a	aus Nachrechnung und Betriebsdaten
spez. Entsorgungskosten	138,6	138,6	138,6	€/Mg	Angaben Weckel
Schlamm Entsorgungskosten	51.282	51.282	51.282	€/a	

Tabelle 3: Betriebskosten – detailliert (Fortsetzung)

Rechengutentsorgungskosten					
behandeltes Rechengut	29	29	29	Mg/a	aus Betriebsdaten
spez. Entsorgungskosten	179	179	179	€/Mg	Annahme
Rechengutentsorgungskosten	5.191	5.191	5.191	€/a	
Sandfanggutentsorgungskosten					
behandeltes Sandfanggut	14	14	14	Mg/a	Angaben Weckel
spez. Entsorgungskosten	80	80	80	€/Mg	Angaben Weckel
Sandfanggutentsorgungskosten	1.120	1.120	1.120	€/a	
Personalkosten					
Arbeitsaufwand Kläranlage mittel	6.000	6.000	6.000	h/a	nach DWA M-271
Arbeitsaufwand Kläranlage Spitze	8.000	8.000	8.000	h/a	nach DWA M-271
Zuschlagspauschale	10	10	10	%	nach DWA M-271
spez. Arbeitszeit pro Person	1.677	1.677	1.677	h/a	nach DWA M-271
Personalbedarf Mittel	4	4	4	Vollzeitstellen	
Personalbedarf Spitze	5	5	5	Vollzeitstellen	
Personalbedarf Kanal	2	2	2	Vollzeitstellen	nach Arbeitsstundenaufstellung Weckel
Personalbedarf gesamt	7	7	7	Vollzeitstellen	
Kosten Vollzeitstelle	60.000	60.000	60.000	€/a	Annahme
Personalkosten	420.000	420.000	420.000	€/a	
Instandhaltungskosten					
Gesamtanlagenwert	17.329.400	13.820.180	15.556.400	€	aus Herstellungswert Bauwerke
Bautechnik	6.874.320	5.298.653	6.456.133	€	anteilig abgeschätzt
Maschinentechnik	4.582.800	2.649.326	3.228.067	€	anteilig abgeschätzt
Elektrotechnik	5.872.200	5.872.200	5.872.200	€	oben berechnet
Instandhaltung BT	68.743	52.987	64.561	€/a	1% der BT
Instandhaltung MT	183.312	52.987	64.561	€/a	2% der MT (Ausnahme Var. 1 (Membran) --> 4% der MT)
Instandhaltung ET	146.805	146.805	146.805	€/a	2,5% der ET
Instandhaltungskosten	398.860	252.778	275.928	€/a	

Tabelle 3: Betriebskosten – detailliert (Fortsetzung)

Energiekosten					
SOTR	48,7	96,5	96,5	kg _{O2} /h	aus Nachrechnung (Var. 1 nur noch 1 Belebungsbecken)
SAE	3,4	3,4	3,4	kg _{O2} /kWh	aus DWA-A 229-1
Energiebedarf Belüftung	125.474	248.629	248.629	kWh/a	
Volumen umgewälztes Becken	713	1425	1425	m ³	Durchmischung Deni
spezifische Leistung Durchmischung	1,5	1,5	1,5	W/m ³	aus DWA-A 216
Energiebedarf Umwälzung	9.369	18.725	18.725	kWh/a	
Volumen Faulbehälter	2700	2700	2700	m ³	Durchmischung Faulbehälter
spezifische Leistungsdichte Umwälzung	5	5	5	W/m ³	aus DWA-A 216
Energiebedarf Umwälzung Faulbehälter	118.260	118.260	118.260	kWh/a	
mittlerer Durchfluss	196	196	196	m ³ /h	Zulaufförderung
Förderhöhe	8	9	8	m	
Gesamtwirkungsgrad aus Pumpe	50	50	50	%	
Energiebedarf Zulaufpumpen	74.173	83.444	74.173	kWh/a	
JAM	1.715.929	0	0	m ³ /a	Membran
spez. Verbrauch Crossflow- Belüftung	0,349	0	0	kWh/m ³ Permeat	Angaben Hersteller
spez. Verbrauch Permeatextraktion	0,013	0	0	kWh/m ³ Permeat	Angaben Hersteller
Energiebedarf Cross-Flow- Belüftung	621.166	0	0	kWh/a	
Stromverbrauch Belüftung, Umwälzung, Zulaufpumpen	948.442	469.058	459.787	kWh/a	Zwischensumme
Zuschlag für weitere Aggregate Kläranlage	0	15	15	%	
Stromverbrauch Gesamtanlage	948.442	539.417	528.755	kWh/a	Summe
Stromerzeugung aus BHKW	- 360.985	- 360.985	- 360.985	kWh/a	
Strombedarf abzgl Eigenerzeugung	587.457	178.432	167.770	kWh/a	
Eigenversorgungsgrad	38	67	68	%	

Tabelle 3: Betriebskosten – detailliert (Fortsetzung)

Rohschlammmenge	13.505	13.505	13.505	m³/a	
mittlere Zulauftemperatur	13	13	13	°C	
Betriebstemperatur Faulschlamm	37	37	37	°C	
spez. Wärmebedarf Schlamm	1,16	1,16	1,16	kWh/(m³*K)	aus DWA-A 216
Energiebedarf zur Schlamm aufheizung Faulbehälter	380.679	380.679	380.679	kWh/a	
Oberfläche des Faulbehälters	1.078	1.078	1.078	m²	
Wärmedurchgangskoeffizient	0,4	0,4	0,4	W/(m²*K)	aus DWA-A 216
Energiebedarf zum Ausgleich von Transmissionsverlusten	91.789	91.789	91.789	kWh/a	
beheizte Fläche Betriebsgebäude	1.468	1.468	1.468	m²	
mittlerer flächenspezifischer Wärmeverlust	70	70	70	kWh/(m²*a)	aus DWA-A 216
Energiebedarf zum Heizen des Betriebsgebäudes	102.760	102.760	102.760	kWh/a	
Wärmeverbrauch Gesamtanlage	575.228	575.228	575.228	kWh/a	
Wärmeerzeugung aus BHKW	620.500	620.500	620.500	kWh/a	
Wärmebedarf abzgl. Eigenerzeugung	0	0	0	kWh/a	
Wärmeüberschuss für weitere Zwecke	45.272	45.272	45.272	kWh/a	
Energiepreis	0,25	0,25	0,25	€/kWh	Annahme
Energiekosten	146.864	44.608	41.942	€/a	

Tabelle 4: Betriebskosten - Übersicht

Betriebskosten			
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Energiekosten	146.900	44.600	41.900
Betriebsmittelkosten	69.800	59.700	59.700
Entsorgungskosten	57.600	57.600	57.600
Personalkosten	420.000	420.000	420.000
Instandhaltungskosten	398.900	252.800	275.900
Zwischensumme	1.093.200	834.700	855.200
Preissteigerung bis Baubeginn (10%)	109.300	83.500	85.500
Endsumme	1.202.500	918.200	940.700

Tabelle 5: Kostenvergleichsrechnung - Jahreskosten

Allgemeine Angaben			
Zinsfaktor	3	3	3
Abschreibungszeitraum	30	30	30
Nutzungszeitraum Bautechnik	30	30	30
Nutzungszeitraum Maschinentechnik	15	15	15
Nutzungszeitraum EMSR-Technik	10	10	10
AFAKE(3;0) für einmalige Kosten	1	1	1
DFAKE(3;10) für Reinvestitionen	0,7441	0,7441	0,7441
DFAKE(3;15) für Reinvestitionen	0,6419	0,6419	0,6419
DFAKE(3;20) für Reinvestitionen	0,5537	0,5537	0,5537
DFAKR(3;30) für laufende Kosten	19,6004	19,6004	19,6004
KFAKR(3,30) für Kapitalkosten	0,0510	0,0510	0,0510
Investitionskosten (inkl. 10% Kostensteigerung)			
Baukosten	8.661.950	7.119.860	9.372.550
Maschinentechnik	5.774.670	3.559.930	4.686.220
EMSR-Technik	6.462.720	6.462.720	6.462.720
Baunebenkosten	3.134.890	2.571.360	3.078.240
Laufende Kosten (inkl. 10% Kostensteigerung)			
Energiekosten	161.551	49.069	46.137
Betriebsmittelkosten	76.818	65.682	65.682
Entsorgungskosten	63.352	63.352	63.352
Personalkosten	462.000	462.000	462.000
Wartungskosten	438.746	278.056	303.520
Projektkostenbarwerte der Investitionen			
Baukosten	8.661.950	7.119.860	9.372.550
Maschinentechnik	5.774.670	3.559.930	4.686.220
EMSR-Technik	6.462.720	6.462.720	6.462.720
Baunebenkosten	3.134.890	2.571.360	3.078.240
Projektkostenbarwerte der Reinvestitionen			
Maschinentechnik (nach 15 a)	3.706.541	2.284.984	3.007.906
EMSR-Technik (nach 10 a)	4.808.871	4.808.871	4.808.871
EMSR-Technik (nach 20 a)	3.578.251	3.578.251	3.578.251
Projektkostenbarwerte der laufenden Kosten			
Energiekosten	3.166.464	961.770	904.298
Betriebsmittelkosten	1.505.670	1.287.392	1.287.392
Entsorgungskosten	1.241.733	1.241.733	1.241.733
Personalkosten	9.055.404	9.055.404	9.055.404
Wartungskosten	8.599.620	5.450.017	5.949.135

Tabelle 6: Kostenvergleichsrechnung – Jahreskosten (Fortsetzung)

Jährliche Kapitalkosten (Investitionen + Reinvestitionen)				
Baukosten	441.926	363.250	478.181	
Maschinentechnik	483.724	298.203	392.549	
EMSR-Technik	757.628	757.628	757.628	
Baunebenkosten	159.940	131.189	157.050	
Jährliche Kapitalkosten (Laufende Kosten)				
Energiekosten	161.551	49.069	46.137	
Betriebsmittelkosten	76.818	65.682	65.682	
Entsorgungskosten	63.352	63.352	63.352	
Personalkosten	462.000	462.000	462.000	
Wartungskosten	438.746	278.056	303.520	
Jährliche Kapitalkosten (Gesamt)				
Summe der Projektkostenbarwerte	59.696.784	48.382.292	53.432.720	
Summe der jährlichen Kapitalkosten	3.050.000	2.470.000	2.730.000	
Spezifische Behandlungskosten	141,66	114,72	126,80	€/ (E x a)
Spezifische Behandlungskosten	1,78	1,44	1,59	€/m³JAM
Spezifische Behandlungskosten	3,50	2,84	3,14	€/m³JSM

Tabelle 1: Bewertungsschema Ertüchtigungsvarianten

Hauptkriterium	Gewichtung	Kriterien	Variante 1: Bestandsausbau	Variante 2: Bestandsausbau und Erweiterung	Variante 3: Neubau
	[%]		Punkte (1-5)	Punkte (1-5)	Punkte (1-5)
Planungssicherheit/ (Verfahrens)Technik	20	Referenzen	3	5	5
		Potential für Unerwartetes	2	3	4
		Teilbewertung	2,50	4,00	4,50
Betrieb	20	Flexibilität in der Fahrweise	3	2	5
		Personalaufwand	4	5	5
		Gefährdungspotential durch Betriebsmittel	3	3	4
		(Um)Bauphase	1	3	5
		Teilbewertung	2,75	3,25	4,75
Gesetzliche Rahmenbedingungen/ Nachhaltigkeit	30	Konformität für anstehende Anforderungen	5	5	5
		Konformität für zukünftige Anforderungen	3	3	5
		zukünftige Kapazitäten (Hydraul., stoffl.)	1	1	5
		Ökologisches Flächenmanagement/Genehmigungsfähigke	3	2	4
		CO2-Fußabdruck	2	3	4
		Teilbewertung	2,80	2,80	4,60
Ökonomie	30	Jahreskosten	2	5	3
		Erwartungswert nach Abschreibungszeit	2	2	5
		Teilbewertung	2	3,5	4
		Gesamtpunktzahl	2,5	3,3	4,4