

Konzept

**Langfristiger verfahrenstechnischer
Optimierungs- und Anpassungsbedarf der
Abwasserreinigungsprozesse in beiden
Klärwerken der Münchner Stadtentwässerung**

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII

Vorwort	1
---------------	---

Teil A

1	Einleitung	2
2	Strategische Herangehensweise und bisherige Befassung	4
3	Abwasserinhaltsstoffe und Grenzwerte in den Klärwerken	6
3.1	Abwasser: Definition, Ursprung, Menge und Zusammensetzung	6
3.2	Aktuelle Grenzwerte in beiden Klärwerken.....	9
4	Ist-Situation der Abwasserreinigung in beiden Münchner Klärwerken.....	11
4.1	Historische Entwicklungen bis hin zur heutigen Abwasserreinigung.....	11
4.1.1	Auflistung der abgeschlossenen Projekte aus dem GEP Klärwerke (1992)	11
4.1.2	Laufende und abgeschlossene Projekte und Maßnahmen in beiden Klärwerken	12
4.2	Abwasserverteilung und Behandlung in beiden Klärwerken	16
4.3	Verfahrensbeschreibungen der Klärwerke	18
5	Auslastung und heutige Herausforderungen in beiden Münchner Klärwerken.....	20
5.1	Hydraulische Leistungsfähigkeit.....	20
5.1.1	Trockenwetter	20
5.1.2	Mischwasser	20
5.2	Derzeitiger Auslastungsgrad der biologischen Abwasserreinigung.....	22
5.3	Saisonalität des Schmutzfrachtanfalls	22
5.4	Trockensubstanzgehalt und Mischwasserkapazität (Zusammenhang)	23
5.5	Aktuelle Prozesse bei der Stickstoffelimination	24
5.5.1	Vor- und Nachteile der Sandfilterdenitrifikation.....	25
5.5.2	Simultane Denitrifikation in den Belebungsbecken	26
5.5.3	Exkurs: Wechselwirkungen / Beeinflussungen durch das Kanalnetz	26
6	Zukünftige Anforderungen – Triebkräfte – Handlungsbedarf	28
6.1	Wegfall der Möglichkeit der Denitrifikation in den Sandfiltern und Mischwasserkapazität.....	28
6.2	Bevölkerungsentwicklungen (Prognose)	30
6.3	Schaffung der Möglichkeit einer Spurenstoffelimination im Klärwerk Gut Marienhof..	34
6.4	Einhaltung der Grenzwerte bei einer Abwassertemperatur von 12°C	35
6.5	Weitere Triebkräfte für die zusätzliche Kapazität in beiden Klärwerken.....	37
6.6	Weitere Stoffe von Interesse (zukünftig).....	38

6.7	Resultierender zusätzlicher Bedarf der biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund	40
7	Vorbefassung zur Deckung des zukünftigen Bedarfs – Studien und sonstige Befassung	41
7.1	Klärwerk Gut Großlappen - Studie zur Ermittlung des Auslastungsgrades und zur Kapazitätserweiterung bezüglich Stickstoffelimination (2020-2021)	42
7.2	Gut Marienhof	47
7.2.1	Studie zur kurz- bis mittelfristigen Optimierung der Stickstoffelimination am Klärwerk Gut Marienhof (2014-2015).....	47
7.2.2	Studie zur langfristigen Kapazitätserweiterung im Klärwerk II (2021-2023)	48
7.3	Spurenstoffelimination.....	55
7.3.1	Hintergrundinformationen – interne Recherchen	56
7.3.2	Machbarkeitsstudie – Ziele und Fristen	57
7.3.3	Exemplarische Darstellung einer Ozonanlage	58
8	Übergeordnete Ausbaustrategie des Klärwerkverbunds	59
8.1	Grundsätzlich mögliche Projekte zur Bedarfsdeckung.....	59
8.2	Szenarien zur Steigerung der biologischen Kapazitäten bis 2040	60
8.3	Umsetzung der Maßnahmen.....	64
8.4	Exkurs: Betrachtung von alternativen Reinigungskonzepten und Verfahrenstechniken zur Erweiterung der Bestandsanlagen	65
8.5	Überschlägige Angabe von Baukosten	66
9	Klimarelevanz.....	68
9.1	Erweiterung der biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund.....	69
9.2	Anlage zur Spurenstoffelimination (4. Reinigungsstufe)	71
10	Zusammenfassung.....	74
11	Anhang.....	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der zu erwartenden Einflussfaktoren / Anforderungen und Triebkräfte auf die bestehenden biologischen Kapazitäten in den beiden Münchner Klärwerken (Klärwerksverbund).	4
Abbildung 2: Einteilung der Abwasserinhaltsstoffe in gelöst und ungelöst sowie entsprechende Eliminationsverfahren der jeweiligen Stoffe.	8
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Einzugsgebiete (LHM und angeschlossene Umlandgemeinden) je Klärwerk.	17
Abbildung 4: Darstellung der prozentualen Abwasserverteilung auf beide Klärwerke von 2004 bis 2021.	17
Abbildung 5: Luftbilder der beiden Klärwerke Gut Großlappen (li) und Klärwerk Gut Marienhof (re) (© Bavaria Luftbild Verlags GmbH).....	18
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Bestandteile eines Klärwerks am Beispiel vom Klärwerk II mit den Wasser- und Schlammfließwegen (Quelle: Abschlussbericht Studie K LW II).....	19
Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der Ammonium- (NH ₄ -N) Zulauffrachten (K LW II) zur Verdeutlichung der Saisonalität für einen Zeitraum von 2014 bis 2019.	22
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Saisonalität (Stickstoffelimination in den Klärwerken) im Überwachungszeitraum.	23
Abbildung 9: Schematische Darstellung des Konfliktpotentials zwischen TS-Gehalt in der biologischen Stufe und der hydraulischen Leistungsfähigkeit in beiden Klärwerken.	24
Abbildung 10: Abschätzung des Anteils der Sandfilterdenitrifikation an der gesamten Stickstoffeliminationsleistung beider Klärwerke.	29
Abbildung 11: Entwicklungen der angeschlossenen Einwohner*innen (EW) und der behandelten Abwasser- bzw. Schmutzwassermengen von 2008 bis 2022.	31
Abbildung 12: Schematische Darstellung der Zusammensetzung des Schmutzwassers, das dann in den beiden Klärwerken behandelt wird, nach Herkunft.	32
Abbildung 13: Saisonalität der Abwassertemperatur im Zulauf zum Klärwerk II in den Jahren 2016 bis 2020.	36
Abbildung 14: In der Studie untersuchte und bewertete Varianten im Klärwerk I. Grau hinterlegte Varianten wurden intensiver untersucht und in unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten (Variante 8) zusammengefasst.....	44
Abbildung 15: Darstellung einer Vorzugsvariante zur Steigerung der biologischen Kapazitäten im Klärwerk II (grau hinterlegt der Bestand). Hier Variante 2.1.1- Einstufige Biologie und zwei Nachklärbecken auf der Freifläche neben dem Klärwerk.....	51
Abbildung 16: Darstellung einer Vorzugsvariante zur Steigerung der biologischen Kapazitäten im Klärwerk II (grau hinterlegt der Bestand). Hier Variante 6.0 – Neubau von Nachklärbecken auf der Freifläche und Errichtung von zusätzlichen Belebungsbecken im Bestand.....	52
Abbildung 17: Übersicht über mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination in einem Klärwerk (nach DWA-M 285-2).(Erläuterung zu den Pfeilen in der Abbildung: Ozon (orange), Pulveraktivkohle PAK (rot), und Fällmittel FM (grün)).....	56
Abbildung 18: Schematische Darstellung der Einbindung einer Anlage zur Ozonierung im Klärwerk II – zwischen Ablauf Nachklärbecken und Zulauf Sandfilter.....	58
Abbildung 19: Schematische Darstellung zur modularen Deckung des zukünftigen Bedarfs bei den biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund bei einem mittleren Bevölkerungszuwachs bis 2040 und gleichbleibenden Ablaufgrenzwerten für Stickstoff.	61
Abbildung 20: Schematische Darstellung zur modularen Deckung des zukünftigen Bedarfs bei den biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund bei einem maximalen Bevölkerungszuwachs bis 2040 bzw. einer signifikanten Grenzwertverschärfung der Ablaufwerte für Stickstoff.	63

Abbildung 21: Schematische Darstellung zur modularen Deckung des zukünftigen Bedarfs bei den biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund bei einem minimalen Bevölkerungszuwachs bis 2040.64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aktuell gültige Grenzwerte für beide Münchner Klärwerke (Angaben in mg/l)	9
Tabelle 2: Abwassermengen für beide Klärwerke, unterschieden nach gültigem Wasserrechtsbescheid ($Q_{m \text{ Bescheid}}$) und aktuell ($Q_{t \text{ aktuell}}$) für einen störungsfreien Betrieb ideale Abwassermengen je Klärwerk.	21
Tabelle 3: Prognose für drei mögliche Bevölkerungsszenarien bis 2040 (Bezugsjahr 2022) – Angaben in Mio. EW.	33
Tabelle 4: Darstellung der zu erwartenden Kapazitätssteigerungen (statische Berechnung und dynamische Simulation) bezogen auf den Ist-Zustand (2023) im Klärwerk I.	46
Tabelle 5: Gegenüberstellung der untersuchten Vorzugsvarianten aus der Studie (Klärwerk II).	54
Tabelle 6: Bewertung der Emissionsquellen für die konzeptionelle Erweiterung der biologischen Kapazitäten in beiden Klärwerken.	71
Tabelle 7: Kenngrößen und Spannweiten für den Primärenergieverbrauch und CO ₂ -Fußabdruck von frischer Aktivkohle (AK) und Reaktivat für verschiedene Ausgangsrohstoffe (Quelle: nach DWA Merkblatt M285-2, 2021).....	73

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
a.a.R.d.T	allgemein anerkannte Regeln der Technik	-
AfS	Abfiltrierbare Stoffe	mg/l
AbfklärV	Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung)	-
AbwAG	Abwasserabgabe	-
AWVIER	Förderprogramm des Freistaats Bayern für eine 4. Reinigungsstufe für ausgewählte Klärwerke	-
BB	Belebungsbecken	-
BHKW	Blockheizkraftwerk	-
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	-
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	mg/l
DOC	Dissolved Oxigen carbon - gelöster organisch gebundener Kohlenstoff	mg/l
EU	Europäische Union	-
EVAB	Erneuerung Verfahrens- und Anlagentechnik Biologie	-
EW	Einwohner*innen	-
EWG	Einwohnergleichwerte	-
GAK	Granulierte Aktivkohle	mg/l
GEP	Gesamtentwässerungsplan	-
HKWN	Heizkraftwerk Nord	-
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure	-
HSG	Hochschulgruppenansatz – Bemessung der Belebungsbecken	-
IFAS	Integrated Fixed Film Activated Sludge – Belebtschlammverfahren mit stationärem Biofilm	-
INB	Inbetriebnahme	-
KAG	Kommunalabgabengesetz	-
KLW I	Klärwerk (Gut Großlappen)	-
KLW II	Klärwerk (Gut Marienhof)	-
KVA	Klärschlammverbrennungsanlage	-
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt	-
LHM	Landeshauptstadt München	-
MBR	Membranbelebungsreaktor	-
MSE	Münchner Stadtentwässerung	-
N _{ges}	Gesamtstickstoff	mg/l
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff	mg/l
NKB	Nachklärbecken	-
NO ₃ -N	Nitratstickstoff	mg/l
O ₂	Sauerstoff	mg/l
O ₃	Ozon	mg/l

Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
PAK	Pulveraktivkohle	mg/l
P _{ges}	Gesamtkonzentration an Phosphor	mg/l
PO ₄	Orthophosphat	mg/l
REZI	Rezirkulation	-
SBR	Sequencing-Batch-Reactor - Sequenzielles Biologisches Reinigungsverfahren	-
TOC	total organic carbon - gesamter organisch gebundener Kohlenstoff	mg/l
TS	Trockensubstanz-/ Feststoffgehalt in der Biologie	g/l
TUM	Technische Universität München	-
VV	Vollversammlung	-
V _{BB}	Volumen der Belebung	m ³
V _D	Volumen der Denitrifikation	m ³
WHG	Wasserhaushaltsgesetz	-
WWA	Wasserwirtschaftsamt	-
ZBA	Zentratwasserbehandlungsanlage	-

Vorwort

Das Konzept zum verfahrenstechnischen Optimierungs- und Anpassungsbedarf der Abwasserreinigungsprozesse in beiden Klärwerken ist zum besseren Verständnis in einen Teil A und einen Teil B unterteilt.

Teil A befasst sich intensiv mit der heutigen und zukünftigen Bedarfsermittlung für beide Klärwerke. Aufbauend auf einer umfangreichen Bewertung der vorhandenen biologischen Kapazitäten in beiden Klärwerken werden zukünftige Triebkräfte skizziert, die Einflüsse auf die biologischen Abwasserreinigungsprozesse haben. Neben bereits bekannten Triebkräften werden auch noch Aspekte aufgeführt, die aktuell noch innerhalb der EU im Rahmen der Novelle der „Kommunalabwasserrichtlinie“ zur Diskussion stehen (u. a. Einführung einer 4. Reinigungsstufe, Verschärfungen der zulässigen Ablaufgrenzwerte).

Teil B beinhaltet Lösungsvorschläge zur Deckung des in Teil A ermittelten Bedarfs. Anhand von mehreren Studien wurden Einzelmaßnahmen für beide Klärwerke ermittelt, die sich strategisch kombinieren lassen. Exemplarisch wurde für drei zukünftige Szenarien eine modulare Ausbaustrategie abgeleitet, die ein hohes Maß an Flexibilität beinhaltet und optimal an die entstehenden Bedürfnisse und Rahmenbedingungen angepasst werden kann.

Abschließend werden in Teil B die zu ergreifenden Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Klima grob abgeschätzt. Des Weiteren erfolgt in Teil B eine Zusammenfassung des gesamten Konzepts.

Inhalt

Teil A: Bedarfsermittlung in den Kapiteln 1 bis 6

Teil B: Möglichkeiten der Bedarfsdeckung in den Kapiteln 7 bis 10

Teil A – Bedarfsermittlung

1 Einleitung

Die Münchner Stadtentwässerung, als ein Unternehmen der Daseinsvorsorge, ist für die sichere und zuverlässige Ableitung und Reinigung des anfallenden Abwassers aus München und den angeschlossenen Umlandgemeinden verantwortlich. Über das mehr als 2.400 km lange Münchner Kanalnetz gelangt das Abwasser in die beiden Großklärwerke (KLW I - Gut Großlappen und KLW II - Gut Marienhof). Die biologische Abwasserreinigung funktioniert auf Basis des Belebtschlammverfahrens, eines zuverlässigen und bewährten Prinzips. Bei dem Verfahren entfernen Mikroorganismen, sogenannter Belebtschlamm, die gelösten Inhaltsstoffe aus dem Abwasser. Kommunale Kläranlagen wie die in München mit drei Reinigungsstufen sind in der Lage, neben Feststoffen auch gelöste Kohlenstoffverbindungen und Nährstoffe so weit zu reduzieren, dass die rechtlich vorgeschriebenen Grenzwerte im Sinne des Gewässerschutzes sicher eingehalten werden.

Da jedoch die Anforderungen an die Abwasserreinigung und die Ressourceneffizienz ständig steigen, müssen auch die Klärwerke an die veränderten Anforderungen angepasst werden. Stoffgruppen bzw. Inhaltsstoffe, die heute von der Politik und der Fachwelt diskutiert werden (u. a. Arzneimittelrückstände, Chemikalien, Spurenstoffe, Mikroplastik, Keime), lassen sich mit konventionellen Reinigungstechniken teilweise nur unzureichend entfernen. Um diese Verunreinigungen dennoch sicher und gezielt entfernen zu können, spricht man dann von einer weitergehenden Abwasserreinigung bzw. einer 4. oder sogar 5. Reinigungsstufe.

Steigende Anforderungen machen es erforderlich, dass die Münchner Stadtentwässerung Strategien im Rahmen eines Konzeptes entwickelt, um ihrer Kernaufgabe, der sicheren und den gesetzlichen Anforderungen entsprechenden Abwasserreinigung, auch in Zukunft zuverlässig nachkommen zu können. Zu den Themen, die hierbei neben einer fundierten Bewertung der aktuellen verfahrenstechnischen Situation und möglichen demographischen Bevölkerungsentwicklungen zusätzlich Berücksichtigung finden, zählen eine Verschärfung der Ablaufgrenzwerte für Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die Spurenstoffelimination, der Mikroplastikrückhalt sowie eine Keimreduktion. Neben den Herausforderungen, beispielsweise der Einbindung der neuen Techniken in die bestehende Verfahrenstechnik der Klärwerke, müssen auch die ökologischen Auswirkungen der zu erwartenden Anforderungen und der Lösungsmöglichkeiten berücksichtigt werden.

Um sich gerade den aktuellen Themen, die in der Fachwelt diskutiert werden, fundiert und möglichst allumfassend zu nähern, engagiert sich die Münchner Stadtentwässerung bereits im Rahmen von Forschungsprojekten zu den Themen Spurenstoffelimination und Mikroplastikrückhalt (u. a. PLASTRAT oder SubMueTrack aus dem BMBF-Programm „Plastik in der Umwelt“) als assoziierter Partner.

Der Fokus dieses Konzeptes liegt auf der Skizzierung der aktuellen Situation, den zu erwartenden (u. a. gesetzlichen) Anforderungen und dem Aufzeigen einer Strategie, wie die vorhandenen Klärwerke angepasst werden müssen, um auch in Zukunft die Abwasserreinigung zu gewährleisten. Besonderer Fokus liegt dabei auf den biologischen Kapazitäten, die in den beiden Klärwerken erforderlich sein werden. Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen, die den Abwasserreinigungsprozess betreffen, werden soweit möglich berücksichtigt, aber hier nicht explizit thematisiert. Diese über dieses Konzept hinaus ergänzenden Maßnahmen werden innerhalb der MSE von zuständigen Fachabteilungen koordiniert und dem Stadtrat entsprechend der Vorgaben der Betriebsatzung in Einzelprojekten vorgelegt. Ebenfalls nicht enthalten sind detaillierte Betrachtungen und Bewertungen der Themen Energie und Klärschlamm. Zu diesen beiden Themen werden eigene Konzepte / Strategien entwickelt.

Im Weiteren wird der Ist-Zustand der Abwasserreinigungsprozesse in beiden Klärwerken („Status quo“) detailliert dargestellt und bewertet. Aufbauend darauf werden die internen und externen Triebkräfte, die in Zukunft diesen Status quo beeinflussen, skizziert und quantifiziert. Für den sich daraus ergebenden Bedarf in beiden Klärwerken wird eine mögliche Bedarfsdeckung in Form einer verfahrenstechnischen Optimierungs- und Anpassungsstrategie abgeleitet. Abgerundet wird das Konzept mit einer groben Abschätzung der möglichen Maßnahmen zur Bedarfsdeckung im Hinblick auf eine Klimarelevanz.

2 Strategische Herangehensweise und bisherige Befassung

Aktuelle Entwürfe von Gesetzestexten indizieren, dass zukünftig die bis heute etablierten Abwasserreinigungsprozesse / -verfahren, wie sie an den Münchner Klärwerken und aktuell noch an den meisten Klärwerken dieser Größenklasse zum Einsatz kommen, nicht mehr ausreichend sein könnten, um strengeren Reinigungsanforderungen nachzukommen. Diese zum Teil noch sehr vage formulierten Aussagen bspw. aus dem Entwurf zur EU-Kommunalabwasserrichtlinie (Stand 10/2022), der Nationalen Wasserstrategie (2022) und dem Referentenentwurf der Novellierung der Abwasserabgabe (Stand 2020) (Umsetzungszeitpunkt unklar) machen eine intensive Befassung mit diesen möglichen Triebkräften und die Erarbeitung einer Strategie unabdingbar. Hinzu kommen Aspekte, die aus den vorhandenen Münchner Randbedingungen (u. a. Besonderheiten der Verfahrenstechnik in beiden Klärwerken und Bevölkerungsentwicklung) hervorgehen. In Abbildung 1 sind die Triebkräfte und Einflussfaktoren auf die Klärwerke, insbesondere die biologischen Kapazitäten, sowie der daraus resultierende Bedarf, die Schaffung von zusätzlichem Belebungsvolumen, dargestellt. Wie und wo das zusätzliche Belebungsvolumen in beiden Klärwerken geschaffen werden kann, wird folglich (Kapitel 8) in einer möglichen Ausbaustrategie skizziert.

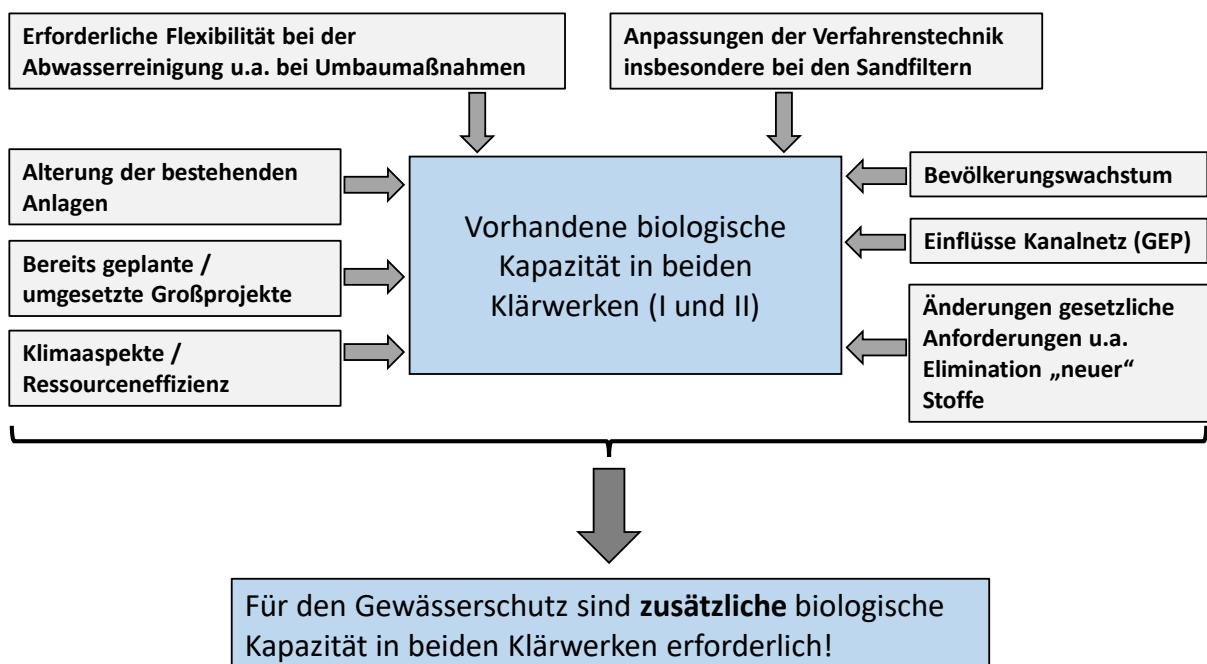


Abbildung 1: Darstellung der zu erwartenden Einflussfaktoren / Anforderungen und Triebkräfte auf die bestehenden biologischen Kapazitäten in den beiden Münchner Klärwerken (Klärwerksverbund).

Die letzte übergeordnete intensive Befassung erfolgte im Rahmen des Gesamtentwässerungsplans Klärwerke (GEP Klärwerke) 1992. Dieser GEP Klärwerke wurde in den Jahren vor 1992 erstellt und durch den Stadtrat genehmigt. Die Maßnahmen daraus

sowie aus der Folgezeit und deren Nutzen für die beiden Klärwerke werden in Kapitel 4.1 dargestellt.

Der GEP Klärwerke war erforderlich, da die MSE gerade zu dieser Zeit durch viele Veränderungen geprägt war. Mit dem im Jahr 1989 errichteten Klärwerk Gut Marienhof (KLW II) verfügte die MSE schlagartig über eine sehr große, neue technische Anlage. Durch das zweite Klärwerk war es möglich, die Abwasserbeseitigung und -reinigung der Münchner Stadtentwässerung gänzlich neu zu ordnen.

Das bis 1989 einzige Klärwerk (KLW I - Gut Großlappen) der Münchner Stadtentwässerung wurde über die Jahre immer wieder verfahrenstechnisch umgebaut und modernisiert. Eine Erneuerung der alten Anlagenteile und die damalige Verschärfung der wasserrechtlichen Anforderungen an die Reinigungsleistung führten im Jahr 1986 zu einem separaten Gesamtkonzept Klärwerk Gut Großlappen. Um die Anforderungen an die damals geltenden rechtlichen Vorgaben (insbesondere weitergehende Nährstoffelimination) einzuhalten, wurde das Klärwerk um eine 2. Biologische Reinigungsstufe erweitert.

Eine weitere Grenzwertverschärfung der Ablaufwerte für Stickstoff von 18 auf 13 mg/l (N_{ges}) führte zu einer Optimierung der bestehenden Verfahrenstechnik im Klärwerk I (s. Kapitel 4.1.2 Verfahrenstechnische Optimierung der 2. Biologischen Stufe).

Der Neubau des zweiten Klärwerks und die Maßnahmen im Klärwerk Gut Großlappen führten dazu, dass die Münchner Stadtentwässerung bis heute gut für eine sichere und zuverlässige Abwasserreinigung aufgestellt ist. Mit dem vorliegenden Konzept soll dies auch für zukünftige Anforderungen sichergestellt werden.

3 Abwasserinhaltsstoffe und Grenzwerte in den Klärwerken

Um die aktuelle Situation und die Abwasserreinigungsprozesse zu skizzieren, soll vorab ein Blick auf Abwasser und dessen Inhaltsstoffe sowie die aktuell gültigen Wasserrechtsbescheidswerte gelegt werden. Eine umfangreiche Beschreibung der einzelnen Abwasserinhaltsstoffe sowie deren Auswirkungen auf das Gewässer sind dem Anhang A1 zu entnehmen.

3.1 Abwasser: Definition, Ursprung, Menge und Zusammensetzung

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) definiert Abwasser wie nachstehend aufgeführt (WHG, Kapitel 3 § 54):

„Abwasser ist das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser (Niederschlagswasser). Als Schmutzwasser gelten auch die aus Anlagen zum Behandeln, Lagern und Ablagern von Abfällen austretenden und gesammelten Flüssigkeiten.“

Abwasserursprung (München)

Neben dem Abwasser aus der Landeshauptstadt München (LHM) wird in den beiden Klärwerken auch noch Abwasser aus elf angeschlossenen Umlandgemeinden, Regionen bzw. Zweckverbänden behandelt. Diese Umlandgemeinden haben eine Zweckvereinbarung mit der Landeshauptstadt München für die Übernahme der Abwasserreinigung geschlossen. Prozentual betrachtet entspricht der Anteil der Einwohner*innen aus den angeschlossenen Umlandgemeinden etwa 14 % (ca. 260.000 Einwohner) der insgesamt angeschlossenen Einwohner*innen (ca. 1,85 Mio. Einwohner; Stand 2022).

Abwasserzusammensetzung

Das Abwasser der LHM besteht bei Trockenwetter überwiegend aus häuslichem Schmutzwasser sowie gewerblichen und industriellen Abwässern. Aus den ehemaligen Abfalldeponien im Norden der Stadt fällt zudem Deponiesickerwasser an, welches im Klärwerk Gut Großlappen mitbehandelt wird. Neben den messbaren Abwasserströmen enthält der Trockenwetterzufluss, der in die Klärwerke gelangt, noch einen Anteil Fremdwasser, welches durch Undichtigkeiten im öffentlichen Netz und den privaten Haus- sowie Fehllanschlüssen in das Kanalnetz eingetragen wird.

Bei Niederschlagsereignissen gelangt über versiegelte Flächen Regen- oder Schmelzwasser in die Kanalisation. Die Ableitung dieses Wassers kann dabei über eine sog. Trennkanalisationen oder eine Mischkanalisationen erfolgen. Bei der Trennkanalisation wird Abwasser getrennt vom Regenwasser in je einem eigenen Kanal abgeleitet, bei einer

Mischkanalisation werden Abwasser und Niederschlagswasser in einem Kanal gesammelt. In einer Mischkanalisation führt das Regenwasser dazu, dass das eigentliche Schmutzwasser verdünnt wird.

Historisch bedingt besteht das Kanalnetz der LHM vorwiegend aus diesen beiden unterschiedlichen Entwässerungssystemen und einigen spezifisch angepassten Modifikationen. Um möglichst wenig Niederschlagswasser (die Menge ist bei der Auslegung einer Kläranlage zu berücksichtigen) den Klärwerken zuzuleiten, ist die Münchner Stadtentwässerung darauf bedacht, dass so viel Niederschlagswasser wie möglich vor Ort behandelt und einer Versickerung zugeführt und nicht in das Kanalnetz eingeleitet wird. Eine ortsnahe Versickerung des wenig verschmutzten Niederschlagswassers wirkt sich zusätzlich positiv auf den lokalen Wasserhaushalt aus. Das entspricht auch den Vorgaben aus dem WHG § 55 (2023). In den Klärwerken behandelt werden sollte nur Niederschlagswasser, welches stark verschmutzt ist, z. B. der Abfluss von stark befahrenen Straßen. Durch diese Vorgabe ist auch in Zukunft davon auszugehen, dass, selbst wenn die Bevölkerung in München wächst, der Anteil an zu behandelndem Niederschlagswasser nicht zwangsläufig im gleichen Maße ansteigen muss.

Fremd- und Niederschlagswasser sind hinsichtlich ihrer zu eliminierenden Schmutzfracht, gemessen an der Gesamtbelastung der Kläranlagen, zu vernachlässigen und belasten die Klärwerke nur unter hydraulischen Gesichtspunkten.

Die größten Schmutzfrachtemittenten stellen die Haushalte sowie das Gewerbe dar. Im Folgenden wird auf die Bestandteile des Abwassers und deren Wirkung in Gewässern eingegangen. Chemisch betrachtet lässt sich Abwasser anhand der nachfolgend aufgeführten Inhaltsstoffe charakterisieren.

- Kohlenstoffverbindungen
- Stickstoffverbindungen
- Phosphorverbindungen
- Sonstige Inhaltsstoffe (u. a. Abfiltrierbare Stoffe (AfS), Schwermetalle, Spurenstoffe, Mikroplastik)

Anhand der physikalischen Eigenschaften können die Abwasserinhaltsstoffe übergeordnet noch weiter unterteilt werden. In Abbildung 2 sind die Einteilung zwischen gelösten und ungelösten Stoffen sowie entsprechende Eliminationsverfahren dargestellt.

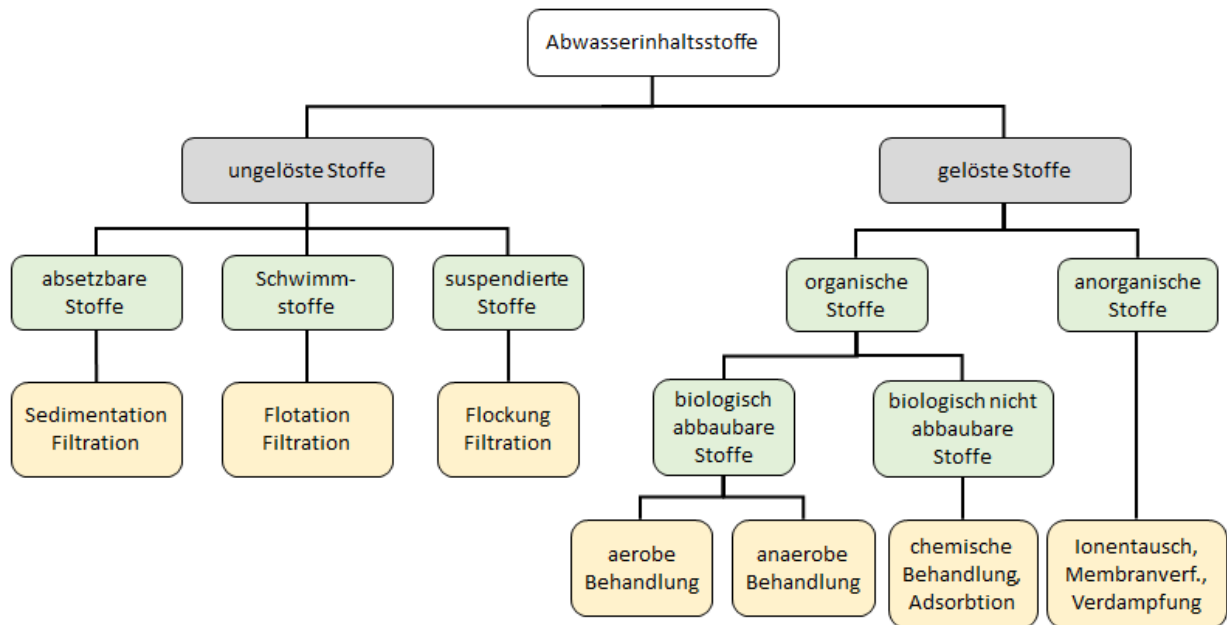


Abbildung 2: Einteilung der Abwasserinhaltsstoffe in gelöst und ungelöst sowie entsprechende Eliminationsverfahren der jeweiligen Stoffe.

Entscheidend für die weiteren konzeptionellen Betrachtungen sind in erster Linie die gelösten, biologisch abbaubaren Stoffverbindungen. Diese werden durch die vorhandenen bzw. erforderlichen biologischen Kapazitäten (Abbildung 2: aerobe Behandlung) in den beiden Klärwerken eliminiert. Im Bereich der ungelösten (partikulären) Inhaltstoffe sind die Klärwerke verfahrenstechnisch sehr gut aufgestellt bzw. sind bereits Projekte in der Planung zur Erneuerung bzw. Anpassung der Anlagenteile (z. B. Projekte zur Ertüchtigung der Zulaufbereiche beider Klärwerke).

Fast alle Abwasserinhaltsstoffe werden in der Regel in Konzentrationen (mg/l) angegeben. Zusammen mit der gesamten Abwassermenge lassen sich dann aus den beiden Angaben (Schmutz-)Frachten (kg/d) ermitteln. Diese Frachten fließen den Klärwerken zu und müssen behandelt werden. Aus den Frachten lassen sich über sog. einwohnerspezifische Frachten die angeschlossenen Einwohner*innen bzw. Einwohnergleichwerte ableiten. Mit den Angaben lässt sich für den Stickstoffsummenparameter (TKN) eine rechnerisch angeschlossene Bevölkerung von ca. 2,4 Millionen (Klärwerk I + II) ermitteln.

Abwassermenge

Die Abwassermenge bzw. der Abwasseranfall unterliegt in München Schwankungen. Diese treten sowohl in Form von Tagesgängen als auch bedingt durch saisonale Aspekte wie die Sommerferien oder das Oktoberfest über das Jahr verteilt auf. Für die Bemessung bzw. den Betrieb der Klärwerke sind diese Schwankungen zu berücksichtigen. Grob abgeschätzt fließen den beiden Klärwerken im Tagesmittel ca. 3,3 m³/s (KLW I) und 1,8 m³/s (KLW II) zu. Bezogen auf ein ganzes Jahr ergaben sich in der Vergangenheit behandelte Abwassermengen von ca. 155 Mio. m³ Abwasser bzw. 140 Mio. m³ Schmutzwasser. (Hinweis: In der Abwassermenge ist neben Abwasser und Fremdwasser auch der Anteil an Niederschlagswasser enthalten, der

über die Kanalisation zum Klärwerk gelangt. Schmutzwasser ist der Trockenwetterzufluss ohne Niederschlagswasser.)

3.2 Aktuelle Grenzwerte in beiden Klärwerken

Die unsachgemäße oder unzureichende Abwasserreinigung kann für Gewässer auf Dauer negative Folgen haben. Um dem entgegenzuwirken, schreibt der Gesetzgeber mithilfe des übergeordneten Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) vor, dass Abwasser im Sinne des Gemeinwohls zu beseitigen ist. Grenzwerte für einzelne Abwasserinhaltsstoffe werden dann von den nachgeordneten Rechtsvorschriften wie der Abwasserverordnung vorgeschrieben. In einer anlagen- und gewässerspezifischen Einzelfallbetrachtung können diese Grenzwerte von den zuständigen Wasserwirtschaftsämtern (WWA) verschärft werden. Für Klärwerke gibt es Grenzwerte für Kohlenstoffverbindungen, die durch die Summenparameter CSB und BSB₅ (die die sauerstoffzehrende Wirkung der Kohlenstoffverbindungen im Gewässer quantifizieren) vorgegeben werden. Zusätzlich gibt es Grenzwerte für Stickstoff- (NH₄-N und N_{ges}) und Phosphorverbindungen (P_{ges}) sowie eine Vorgabe für die zulässige Menge an Schwebstoffen im gereinigten Abwasser (abfiltrierbare Stoffe - AfS). Verschärfungen sind meist dann erforderlich, wenn der Vorfluter einer Kläranlage eine geringe Selbstreinigungskraft, geringe Wasserführung bzw. einen schlechten chemischen bzw. ökologischen Zustand (EG-Wasserrahmenrichtlinie, 2000) aufweist.

Klärwerke dürfen grundsätzlich nur betrieben werden und gereinigtes Abwasser in ein Gewässer einleiten, wenn sie über einen gültigen Wasserrechtsbescheid verfügen. Neben der maximal zulässigen Menge an Abwasser, die innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls in das Gewässer eingeleitet werden darf, sind in den Bescheiden auch Grenzwerte für einzelne Abwasserinhaltsstoffe als Konzentrationen (mg/l) vorgegeben. Ob die Grenzwerte das ganze Jahr über eingehalten werden müssen oder sie nur in ausgewählten Zeiträumen einzuhalten sind, ist von Bundesland zu Bundesland verschieden. In fast allen Bundesländern sind die Grenzwerte an eine vorgegebene Abwassertemperatur gekoppelt. In Bayern gibt es die Besonderheit eines sog. Überwachungszeitraums. Die Grenzwerte müssen hier innerhalb des Überwachungszeitraums (April/Mai bis Oktober) vom Betreiber des Klärwerks eingehalten werden (weitere Erklärungen s. Kapitel 6.4). Die aktuell gültigen Grenzwerte für beide Klärwerke sind in der nachfolgenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Aktuell gültige Grenzwerte für beide Münchner Klärwerke (Angaben in mg/l)

	AfS*	CSB	BSB₅	NH₄-N**	N_{ges}***	P_{ges}****
KLW I	15,0	35,0	15,0	5,0	13,0	1,0
KLW II	13,0	35,0	15,0	2,3	13,0	1,0

* nur bei Trockenwettertagen

** von April bis Oktober

*** von Mai bis Oktober

**** ab 7/2024 (KLW II) bzw. voraussichtlich 2025/2026 (KLW I) auf 0,5 mg/l gesenkt

Neben den zulässigen Grenzwerten bei den Abwasserinhaltsstoffen (Konzentrationen) geben die Abwasserbescheide auch Abwassermengen an, die maximal in das Gewässer eingeleitet werden dürfen. Hierbei ist zwischen Trockenwetter und Mischwasser (= Trockenwetter + Niederschlagswasser) zu unterscheiden. Detaillierte Angaben zu den Mengen werden in Kapitel 5.1 dargestellt.

Strengere Anforderungen an die Phosphorelimination (ab 2024 bzw. 2026)

Bis zum 01.01.2022 lag die zulässige Konzentration von Gesamtphosphor im Ablauf bei $1 \text{ mg}_{\text{P}_{\text{Ges}}}/\text{l}$. Mittels Simultanfällung, also der Zugabe von Fällmittel in die Belebungsbecken oder in das Rücklaufschlammsystem, konnte diese sehr zuverlässig eingehalten werden. Um die ab dem Jahr 2024 geltenden Grenzwerte von $0,5 \text{ mg/l}$ zukünftig sicher einhalten zu können, muss die Simultanfällung eventuell um eine Nachfällung erweitert werden. Die Zugabe von Fäll- und Flockungsmittel in den Zulauf der Sandfilter bewirkt eine Koagulation (d. h. ein „Zusammenklumpen“) der im Abwasser enthaltenen Kleinstpartikel sowie gelösten Phosphorverbindungen. Diese werden dann in den Filtern abgeschieden. Das Erreichen des geforderten Reinigungsziels ist mit dieser Technik erfahrungsgemäß zuverlässig möglich. Da es sich bei der Nachfällung um ein erprobtes Verfahren handelt, sind der Aufwand hinsichtlich der notwendigen Investitionen sowie die Mehrkosten für die zusätzlich benötigten Betriebschemikalien gut abzuschätzen. Problematisch ist dabei jedoch der Konflikt mit der aktuell praktizierten Denitrifikation in den Sandfiltern, welche deshalb perspektivisch durch ein anderes Verfahren (außerhalb der Sandfilter) ersetzt werden muss.

4 Ist-Situation der Abwasserreinigung in beiden Münchner Klärwerken

4.1 Historische Entwicklungen bis hin zur heutigen Abwasserreinigung

Um sich mit den zukünftigen Entwicklungen in den beiden Klärwerken auseinander setzen zu können, erfolgt vorab ein Blick auf die bisherigen Entwicklungen / Projekte seit dem letzten GEP Klärwerke (1992). Erst durch die Maßnahmen aus dem GEP Klärwerke und die zusätzlichen erforderlichen Anpassungen ist die sichere Abwasserreinigung in beiden Klärwerken heute überhaupt in jetziger Form möglich. Zusätzlich lassen sich so auch einige verfahrenstechnische Besonderheiten innerhalb der beiden Klärwerke besser verstehen. Zu den wichtigsten und größten Maßnahmen aus dem GEP Klärwerke (1992), welche realisiert wurden und schon lange in Betrieb sind, zählen die nachfolgend skizzierten Projekte.

4.1.1 Auflistung der abgeschlossenen Projekte aus dem GEP Klärwerke (1992)

Neubau der Rechen- und Sandfanganlage Zulauf Ost (Klärwerk I)

Die damals vorhandenen Rechen zur Grobstoffabscheidung wurden im Jahr 1960 errichtet. Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts entsprachen diese nicht mehr dem Stand der Technik, zudem erwies sich der Instandhaltungsaufwand als unverhältnismäßig hoch. Gleiches traf auf die bestehenden Sandfänge zu, welche die Anforderungen an die Abscheidung abrasiver Partikel sowie Leichtstoffen wie Fette und Öle nicht mehr erfüllten.

Neubau der Faulbehälteranlage (Klärwerk I)

Die Faulbehälter wurden ebenfalls, wie die Gewerke am Zulauf Ost, im Jahr 1960 errichtet. Neben altersbedingten Verschleißerscheinungen erlaubte das Volumen der Faulbehälteranlagen keine ausreichend lange Verweilzeit (schlechter Stabilisierungsgrad des Schlammes), um das energetische Potential (Gewinn von Methangas) des Klärschlammes optimal auszunutzen.

Neubau der Sandfilteranlage (Klärwerk I)

Die Einhaltung der verschärften Anforderungen an die Einleitung von abfiltrierbaren Stoffen konnte, ähnlich wie im Klärwerk II, auch nur mit der Errichtung einer nachgeschalteten Sandfiltrationsstufe erreicht werden. Zur gezielten (nachgeschalteten) Denitrifikation wurden die Sandfilter um eine Kohlenstoffträgerdosierstation (Methanol oder Ethanol) ergänzt. So war es möglich, die im Jahr 2002 eingeführten Grenzwerte für den anorganischen Gesamtstickstoff im Ablauf der Kläranlage einzuhalten.

Modernisierung der Klärgasaufbereitung (Klärwerk I)

Aufgrund der Modernisierung der im Maschinenhaus befindlichen Anlagentechnik war ebenfalls eine Modernisierung der Gasaufbereitung sowie der Ersatz des stillgelegten Hochdruckgasspeichers erforderlich.

Ausbau der Sandfiltrationsanlage zur Denitrifikationsstufe sowie Neubau einer provisorischen Phosphateliminationsanlage (Klärwerk II)

Nach Baubeginn des Klärwerks Gut Marienhof wurde der Parameter N_{ges} in die Mindestanforderungen der damals gültigen Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift (Vorläufer der Abwasserverordnung) aufgenommen. Gleiches galt für die Konzentration des Gesamtphosphors P_{ges} , welcher ab dem Jahr 1992 im Ablauf der Kläranlage $1 \text{ mg}_{P_{ges}}/\text{l}$ nicht mehr überschreiten durfte.

4.1.2 Laufende und abgeschlossene Projekte und Maßnahmen in beiden Klärwerken

In der Zeitspanne zwischen dem GEP Klärwerke (1992) und dem hier vorliegenden Konzept (2023/24) wurden noch weitere Maßnahmen / Projekte in beiden Klärwerken projektiert, dem Stadtrat zur Genehmigung vorgelegt und (teilweise) schon umgesetzt. Nachfolgend sind die wichtigsten Maßnahmen (Großprojekte) aufgeführt, die direkte oder indirekte Auswirkungen auf die aktuell vorhandene Verfahrenstechnik (Abwasserreinigungsprozesse) haben und für die späteren konzeptionellen Überlegungen von Bedeutung sind.

Projekte im Klärwerk Gut Großlappen (Klärwerk I)

Klärwerk München Gut Großlappen - Verfahrenstechnische Optimierung der 2. Biologischen Stufe (abgeschlossen)

Im Jahr 2002 wurden die Mindestanforderungen in der Abwasserverordnung (AbwV) für Gesamtstickstoff für die Klärwerke der Größenklasse 5 (> 100.000 Einwohnerwerte) von 18 mg/l auf $13 \text{ mg/l } N_{ges}$ verschärft. Diese Verschärfung betraf auch die beiden Klärwerke der MSE. Für eine kosteneffiziente Stickstoffelimination war es erforderlich, einen möglichst großen Teil der Denitrifikation in der 1. Biologischen Reinigungsstufe unter Ausnutzung abwasserinterner Kohlenstoffquellen durchzuführen. Hierfür wurde eine höhere hydraulische Leistungsfähigkeit der Nachklärung benötigt. Die zielführendste und wirtschaftlichste Maßnahme, diese Leistungssteigerung zu erreichen, war die Umgestaltung der Nachklärung von der bisher zweistufigen auf eine einstufige Betriebsweise. Die Maßnahme wurde im Jahr 2004 abgeschlossen.

Erneuerung der 1. Biologischen Stufe (abgeschlossen)

Die stark sanierungsbedürftigen Belebungs- und Zwischenklärbecken der 1. Biologischen Reinigungsstufe mussten zurückgebaut werden und, den aktuellen technischen Standards entsprechend, neu errichtet werden. Neben den Betonbauwerken war die komplette Erneuerung der Maschinen-, Anlagen-, Elektro-, Mess- und Regeltechnik sowie des Belebtschlammumpwerks samt zugehöriger Leitungsführung für die Rücklaufschlammzirkulation aus den Zwischenklärbecken erforderlich.

Neuordnung der Zentratbehandlung (inkl. Zentratleitung vom Heizkraftwerk Nord (Stadtwerke München – HKWN)) (abgeschlossen)

Auf dem Klärwerk Gut Großlappen wurde aufgrund der Erneuerung der 1. Biologischen Stufe während der Bauzeit die Mitbehandlung von nur mechanisch gereinigtem Abwasser in der 2. Biologischen Stufe notwendig. Diese Mehrbelastung führte zu eingeschränkten Kapazitäten in dieser Verfahrensstufe. Diese sog. Bypassfahrweise hat Auswirkungen auf die Stickstoffeliminationsleistung des Klärwerks. Um diese während der Bauphase der 1. Biologischen Stufe sicherzustellen, ist eine Volumenvergrößerung in der 2. Biologischen Stufe notwendig gewesen. Ursprünglich erfolgte die Behandlung des Zentrats, also des hochbelasteten Prozesswassers aus der Entwässerung der ausgefaulten Klärschlämme, auf dem Klärwerk Gut Großlappen in den Belebungsbecken 9 und 10 der 2. Biologischen Reinigungsstufe. Das Zentrat des zur Mitverbrennung ins Heizkraftwerk Nord (HKWN) gepumpten Faulschlammes wurde vor Ort beim HKWN in den Kanal eingeleitet und gelangte über den Düker Leinthaler Brücke in den Hauptzulauf des Klärwerks.

Im Rahmen einer vorgelagerten Studie (Machbarkeitsstudie zur Zentratbehandlung; 2015) wurde ein alternatives Konzept zur Behandlung der Zentrates aus der Faulschlamm-entwässerung entwickelt. Bis dahin wurde das mit Stickstoffverbindungen hochbelastete Zentratswasser in zwei Becken der 2. Biologischen Stufe (Becken 9 und 10) behandelt. Das führte zu einer Volumenreduzierung in dieser für die Stickstoffelimination sehr wichtigen biologischen Stufe. Als geeignetste Lösung wurde von dem beauftragten Ingenieurbüro der Umbau eines Nachklärbeckens zum Belebungsbecken zur Nitrifikation des Prozesswassers identifiziert.

Im Rahmen des Projekts wurde die Zentratsbehandlung (ZBA) aus den Belebungsbecken in ein umgebautes Nachklärbecken verlagert. Infolgedessen ließen sich die Becken 9 und 10 wieder zur Abwasserbehandlung im Hauptstrom nutzen. Eine optimale Ergänzung fand das Bauprojekt durch die wasserrechtliche Auflage, die im HKWN aus der Mitverbrennung von Klärschlamm anfallenden Zentratswasser separat zu sammeln und gezielt in der Zentratswasserbehandlungsanlage (ZBA) mitzubehandeln. Durch die neu errichtete Zentratsleitung zwischen dem HKWN und dem Klärwerk Gut Großlappen konnten die hochbelasteten Zentratabwässer aus dem Hauptstrom entfernt werden. Die umgebaute Zentratsbehandlungsanlage und die Zentratsleitung wurden 2021 in Betrieb genommen.

Neubau der Anlagen zur chemischen P-Fällung (abgeschlossen)

Ziel und Anlass der Maßnahme war die langfristige sichere Einhaltung des gesetzlichen Ablaufgrenzwertes für Gesamtphosphor durch die Modernisierung bestehender Anlagenteile der Phosphorelimination sowie durch den Ersatz der veralteten und teilweise defekten Anlagenteile. Das neue P-Fällungskonzept sieht eine 3-Punkt-Fällung vor. Die Dosierung erfolgt in den Sandfang (Vorfällung), in den Ablauf der 1. Biologischen Stufe (Simultanfällung) und in den Ablauf der 2. Biologischen Stufe (Simultanfällung). Optional wird eine Nachfällung, d. h. die Dosierung in den Zulauf zum Sandfilter, ermöglicht. Die Bemessung der Anlagentechnik (Pumpen, Leitungen und Steuerung) zielt auf einen Überwachungswert von $0,5 \text{ mg}_{\text{P}_{\text{Ges}}}/\text{l}$ ab.

Dieser Wert wurde zum Zeitpunkt der Projektierung als mögliche Grenzwertverschärfung angesehen und ist nun durch eine Auflage des WWA ab 2025 verpflichtend einzuhalten. Als Belastungsszenario wurde von einer gegenüber dem Ist-Zustand zu Beginn der Planungen um 20 % gestiegenen Zulauffracht ausgegangen und es sollen möglichst alle auf dem Markt verfügbaren Fällmittel einsetzbar sein. Zudem ist die Möglichkeit des gleichzeitigen Einsatzes zweier verschiedener Produkte an den einzelnen Dosierstellen vorgesehen.

Kapazitätserweiterung Zulauf West (in Planung/ Projektierung)

Im Rahmen einer vorgelagerten Studie (Studie zur Untersuchung der hydraulischen Verhältnisse im Zulaufbereich; 2020) wurde der Zulauf des Klärwerks Gut Großlappen unter hydraulischen und verfahrenstechnischen Aspekten betrachtet und verschiedene Maßnahmen entwickelt, um die Zulaufkapazität des Klärwerks zu steigern. In puncto Leistungsfähigkeit und baulichem Zustand wird dem Zulauf Ost ein insgesamt guter Zustand und auch eine ausreichende Leistungsfähigkeit, allerdings mit Kapazitätsdefiziten in der Vorklärung, bescheinigt. Als potentielle Schwachstelle wurde in der Studie eher der zweite Zulauf „Zulauf West“ lokalisiert. Dieser ist eines der letzten Anlagenteile des ursprünglichen Klärwerks (aus dem Jahr 1926). Altersbedingt befindet sich dieser in einem schlechten bau- und anlagentechnischen Zustand und ist nur eingeschränkt betriebsbereit. Eine wirkliche Redundanzfunktion ist derzeit nicht gegeben. Daher bestand hier ein konkreter Handlungsbedarf. Nach Untersuchung verschiedener Lösungsvarianten wurde der Neubau des Zulauf West mit einer Auslegung auf 4 m³/s Trockenwetterzufluss als Vorzugsvariante identifiziert. Diese Menge entspricht einer vollständigen Redundanz, sollte es am Zulauf Ost einmal zu technischen Störungen kommen. In diesem Projekt soll der Neubau eines zusätzlichen Nachklärbeckens zur Leistungssteigerung der 2. Biologischen Stufe integriert werden (detaillierte Erklärungen dazu in Kapitel 8).

Neubau einer Klärschlammverbrennungsanlage (in Umsetzung)

Mit der Novellierung der Klärschlammverordnung (AbklärV; 2017) besteht ab 01.01.2029 die Pflicht, den im Klärschlamm bzw. der Klärschlammasche enthaltenen Phosphor zurückzugewinnen. Voraussetzung dafür ist eine Monoverbrennung, d. h. der Verzicht auf die Beimischung von anderem Material. Eine Rückgewinnung aus der Asche, die bei der Mitverbrennung des Klärschlammes (derzeit ca. 30 %) mit dem Müll im HKWN anfällt, ist daher nicht möglich. Die Entsorgung der gesamten Klärschlammmenge über die bestehende Klärschlammverbrennungsanlage ist aufgrund Kapazitätslimitierungen nicht möglich. Eine Ertüchtigung der Bestandsanlage, auch altersbedingt, ist dahingehend unwirtschaftlich. Es wird daher eine ausreichend dimensionierte und der neusten Emissionsschutzverordnung entsprechende Klärschlammverbrennungsanlage errichtet (genehmigt durch den Städtentwässerungsausschuss am 04.07.2023, Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 09787).

Projekte im Klärwerk Gut Marienhof (Klärwerk II)

Neuordnung der Energieanlagen und Neuordnung Luftversorgung (in Umsetzung)

Die Baumaßnahme mit der Bezeichnung „Klärwerk II, Neuordnung der Energieanlagen“ umfasst die Neuordnung der Energieanlagen im Klärwerk Gut Marienhof im Bereich des derzeitigen Maschinenhauses. Das Projekt ist in zwei Phasen unterteilt worden. Im ersten Bauabschnitt erfolgt der Neubau der Energiezentrale zur Verstromung des Klärgases in effizienten Gas-Otto-Motoren, der Neubau der Gasstation sowie die Errichtung einer provisorischen Luftversorgung der biologischen Reinigung mit Turboverdichtern. Im zweiten Bauabschnitt sollen diese dann in ein neu zu errichtendes Maschinenhaus umgesetzt werden.

Modernisierung mechanische Reinigung (in Planung / Projektierung)

Aufgrund des Alters von Bau-, Maschinen- und Elektrotechnik (Inbetriebnahme 1989) sind eine umfangreiche Sanierung und ein eventueller Neubau verschiedener Gewerke der derzeitigen mechanischen Reinigung am Klärwerk Gut Marienhof erforderlich. Davon betroffen sind in erster Linie die Rechenanlagen, welche nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen und dadurch teilweise zur Kapazitätslimitierung der Kläranlage beitragen. Des Weiteren sind das Einlaufhebewerk, die Sandfanganlage sowie die Rechengut- und Sandlogistik betroffen. Die Erneuerung der Peripheriebauwerke, wie das Entleer- und Dekantatpumpwerk, das Verteilerbauwerk der Vorklärung sowie die Errichtung eines Gebäudes für die Elektrotechnik, sind ebenfalls in die Planungsarbeiten miteinbezogen.

Erneuerung Verfahrens- und Anlagentechnik Biologie – EVAB (in Entwurfsplanung)

Ziel der Maßnahme ist die Erhöhung der Betriebssicherheit in den biologischen Stufen durch Optimierung der Verfahrenstechnik (in den bestehenden Belebungsbeckenvolumina) hinsichtlich Stickstoffelimination, bei gleichzeitiger Erneuerung sanierungs- bzw. austauschbedürftiger Anlagen- und Elektrotechnik. Verfahrenstechnische Optimierungen sollen Leistungsreserven der Belebungsbecken nutzen, um hinsichtlich der Stickstoffelimination die Sandfilter zu entlasten. Die Erneuerung der Abdeckung der 1. Biologischen Reinigungsstufe, Beton- und Leitungssanierungsarbeiten sowie die Erneuerung der Messtechnik wurden ebenfalls in dem Projekt berücksichtigt.

Erneuerung der Anlagen- und Elektrotechnik im Bereich Schlammbehandlung und Sandfiltration (in Umsetzung)

Da sich der in diesem Konzept ermittelte Bedarf zwar primär auf die biologischen Kapazitäten erstreckt, es aber auch zu Wechselwirkungen bzw. Mehrbelastungen im Bereich der Schlammbehandlung kommt, soll dieses Projekt hier kurz skizziert werden. Aktuell sind die Sandfilter noch als ein fester Bestandteil der Denitrifikationskapazität des gesamten Klärwerks erforderlich. Zusätzlich sind sie für den Rückhalt von abfiltrierbaren Stoffen erforderlich. Die Funktionsweise wird sich in Zukunft ändern (s. Kapitel 6.1). Ziel des Projekts ist die Erneuerung der Maschinen- und Elektrotechnik im Bereich der Sandfilter sowie der Schlammbehandlung. Darüber hinaus erfolgt die Migration (Ablösung und Ersatz) des veralteten Prozessleitsystems zur Anlagensteuerung und Überwachung auf die bei der MSE für die Klärwerke

standardisierten Systeme. Das Projekt umfasst auch eine Optimierung der Rohrleitungsführung und den Rückbau defekter oder mittlerweile nicht mehr benötigter Aggregate und Anlagentechnik.

Weitere Aktivitäten in beiden Klärwerken

Ergänzt wurden und werden die oben beschriebenen Großprojekte durch zahlreiche „kleinere Projekte und Maßnahmen“ in beiden Klärwerken. Diese Maßnahmen an Elektro-, Anlagen- und Bautechnik umfassten und umfassen Modernisierungen, Sanierungen und verfahrenstechnische Optimierungen aller Bereiche.

Alle hier namentlich genannten (Groß-) Projekte und auch die nicht explizit genannten Maßnahmen führen dazu, dass mit der heute bestehenden Verfahrenstechnik das Abwasser aus München und den angeschlossenen Umlandgemeinden sicher, zuverlässig und nach den gesetzlichen Anforderungen gereinigt werden kann.

Wie eingangs beschrieben, ergeben sich weitere zukünftige Anforderungen, die eine konzeptionelle, übergeordnete, strategische Betrachtung erforderlich machen.

4.2 Abwasserverteilung und Behandlung in beiden Klärwerken

Aufgrund der geographischen Lage der beiden Klärwerke und auch vorgegeben durch das bestehende Kanalnetz ist es nicht uneingeschränkt möglich, das anfallende Abwasser beliebig auf beide Klärwerke aufzuteilen. In Abbildung 3 sind die Einzugsgebiete der beiden Klärwerke schematisch dargestellt. Neben dem Stadtgebiet der LHM sind in der Abbildung auch die südlich gelegenen Umlandgemeinden dargestellt, deren Abwasser in den beiden Klärwerken mitbehandelt wird.

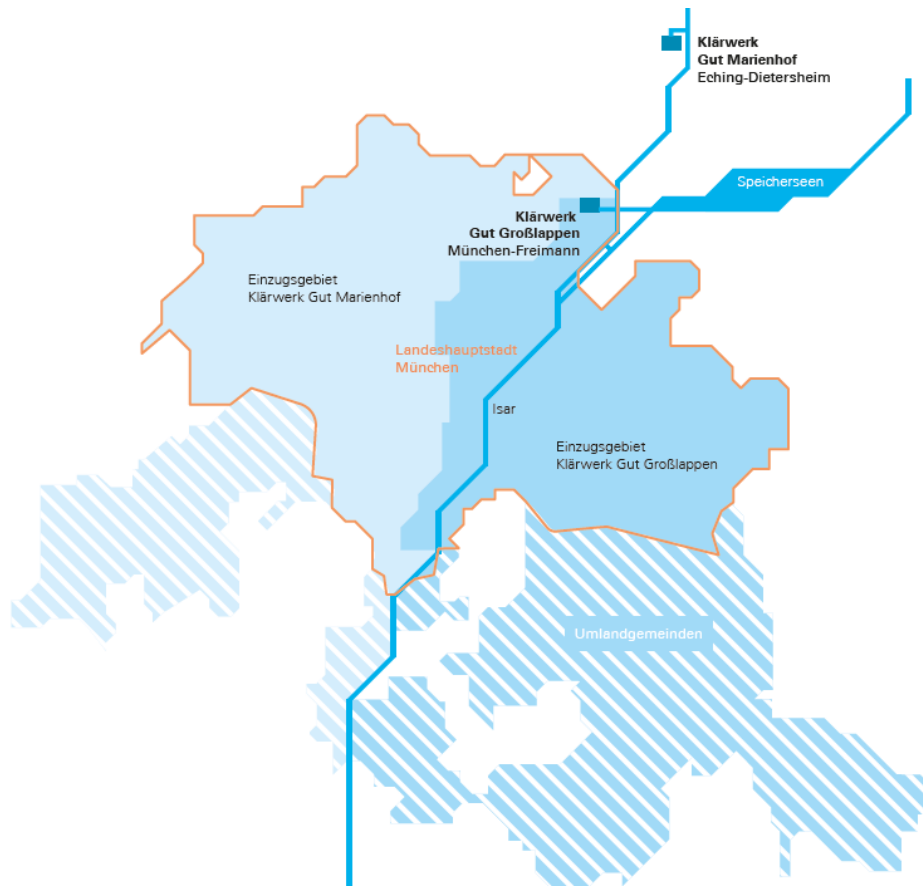


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Einzugsgebiete (LHM und angeschlossene Umlandgemeinden) je Klärwerk.

Bedingt durch die Randbedingungen innerhalb der Klärwerke (Umbaumaßnahmen etc.) hat sich in den letzten Jahren, die in Abbildung 4 gezeigte Verteilung der Abwasservolumenströme auf diese ergeben (ca. 2/3 KLW I und 1/3 KLW II).

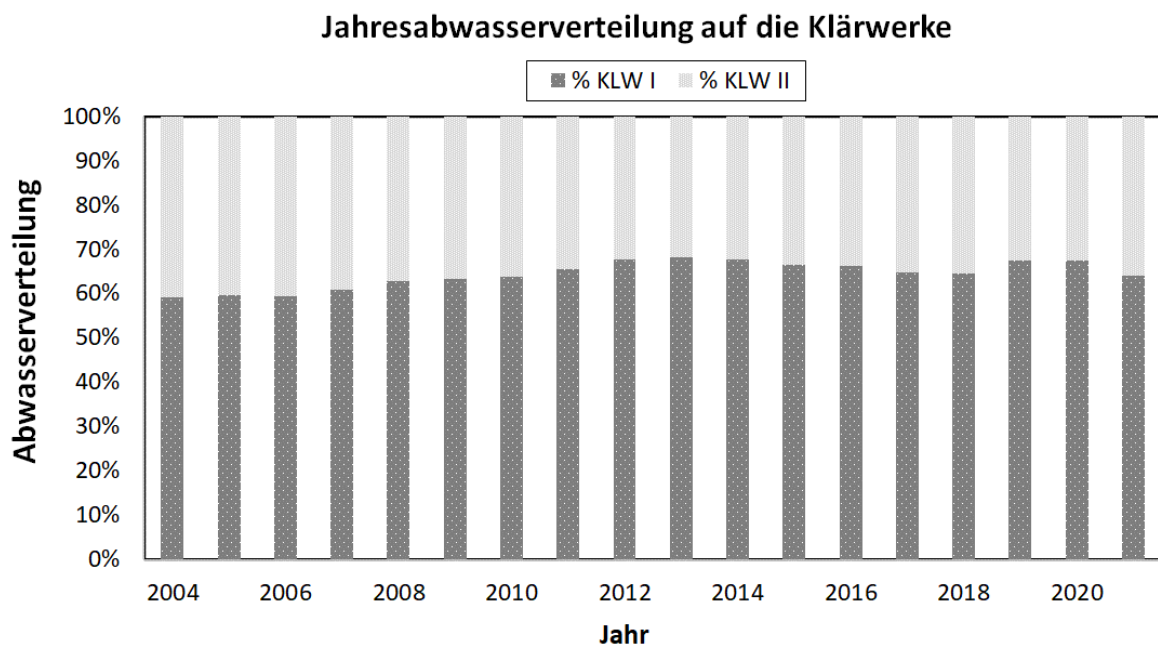


Abbildung 4: Darstellung der prozentualen Abwasserverteilung auf beide Klärwerke von 2004 bis 2021.

4.3 Verfahrensbeschreibungen der Klärwerke

Um sich mit den zukünftigen Entwicklungen in den beiden Klärwerken auseinander setzen zu können, muss vorab die aktuelle Situation (Ist-Situation bzw. der Status quo) der verfahrenstechnischen Ausstattung beider Klärwerke betrachtet werden. Ergänzend zur konventionellen Abwasserreinigung mittels Belebtschlamm verfügen beide Münchner Klärwerke über einige verfahrenstechnische Besonderheiten.

Die beiden Klärwerke Gut Großlappen sowie Gut Marienhof (Abbildung 5) unterscheiden sich in ihrer Verfahrenstechnik nicht wesentlich von anderen Großkläranlagen zur kommunalen Abwasserbehandlung. Zu Beginn des Reinigungsprozesses werden im Abwasser enthaltene Grobstoffe mittels Rechenanlagen abgetrennt. Die Abscheidung von Kies und Sand erfolgt in den dafür vorgesehen Sandfängen, bevor das Abwasser der Vorklärung zufließt. Der energiereiche Primärschlamm sedimentiert an der Beckensohle und kann zur Klärgaserzeugung und Stabilisierung in die Schlammbehandlung abgezogen werden. Diese drei Verfahrensschritte werden auch als mechanische Reinigung (1. Reinigungsstufe) bezeichnet.



Abbildung 5: Luftbilder der beiden Klärwerke Gut Großlappen (li) und Klärwerk Gut Marienhof (re)
(© Bavaria Luftbild Verlags GmbH)

Die biologische Abwasserbehandlung (2. Reinigungsstufe – Kohlenstoffelimination und Stickstoffelimination) zur Entfernung nicht absetzbarer oder gelöster Stoffe geschieht in beiden Kläranlagen zweistufig. In der 1. Biologischen Reinigungsstufe werden vorwiegend Kohlenstoffverbindungen abgebaut, in der 2. Biologischen Stufe Stickstoffverbindungen mittels eingetragener Luft oxidiert. Die Trennung der beiden Verfahrensschritte bewirkt, dass sich in den jeweiligen Biologischen Stufen eine auf ihre Aufgabe spezialisierte Biozönose (Mikroorganismen) bildet, welche eine höhere Effizienz (Umsatzleistung pro Volumeneinheit) aufweist. Im Gegensatz zu einstufigen Anlagen ist bei zweistufigen Kläranlagen daher deutlich weniger Belebungsbeckenvolumen zur Abwasserreinigung erforderlich. Ab dem Jahr 1997 ergaben sich aus dem Wasserrecht neue gesetzliche Anforderungen, die Emission von anorganischem Gesamtstickstoff (N_{ges}) ebenfalls zu begrenzen (18 mg/l). Für diese Aufgabe

sind zweistufige Kläranlagen jedoch nicht ausgelegt (zu geringes Belegungsvolumen) und es waren verfahrenstechnische Alternativen erforderlich, um den neuen bzw. strengeren Anforderungen gerecht werden zu können. Dazu gehörte auch die Installation einer nachgeschalteten Denitrifikation im Sandfilter, um bei Bedarf die Konzentration an anorganischem Gesamtstickstoff (N_{ges}) im Kläranlagenablauf senken und die geforderten Grenzwerte einhalten zu können. Für die nachgeschaltete Denitrifikation in den nach den biologischen Stufen angesiedelten Sandfiltern sind Mikroorganismen und eine leicht abbaubare Kohlenstoffquelle (z. B. Methanol) erforderlich. Beides zusammen hat keinerlei negative Auswirkungen auf den eigentlichen Bestimmungszweck des Sandfilters, den Rückhalt von abfiltrierbaren Stoffen (AfS). In Kapitel 5.5.1 werden die Grenzen dieses Verfahrens noch einmal näher erläutert. Zusätzlich wird noch darauf eingegangen, warum diese Art der nachgeschalteten Stickstoffelimination zukünftig nicht mehr möglich ist.

Als 3. Reinigungsstufe wird die gezielte Nährstoffelimination (insb. für Phosphor) durch die Zugabe von Chemikalien (Fällmittel) bezeichnet. Durch das Fällmittel werden gelöste Stoffe in ungelöste Stoffe überführt. Für die 3. Reinigungsstufe sind in der Regel keine separaten Becken erforderlich. Die Dosierung des Fällmittels erfolgt häufig in die Belebungsbecken (Simultanfällung). Die oben skizzierte Funktionsweise und die Fließwege der Schlamm- und Wasserströme innerhalb eines Klärwerks werden in Abbildung 6 am Beispiel vom Klärwerk Gut Marienhof noch einmal verdeutlicht.

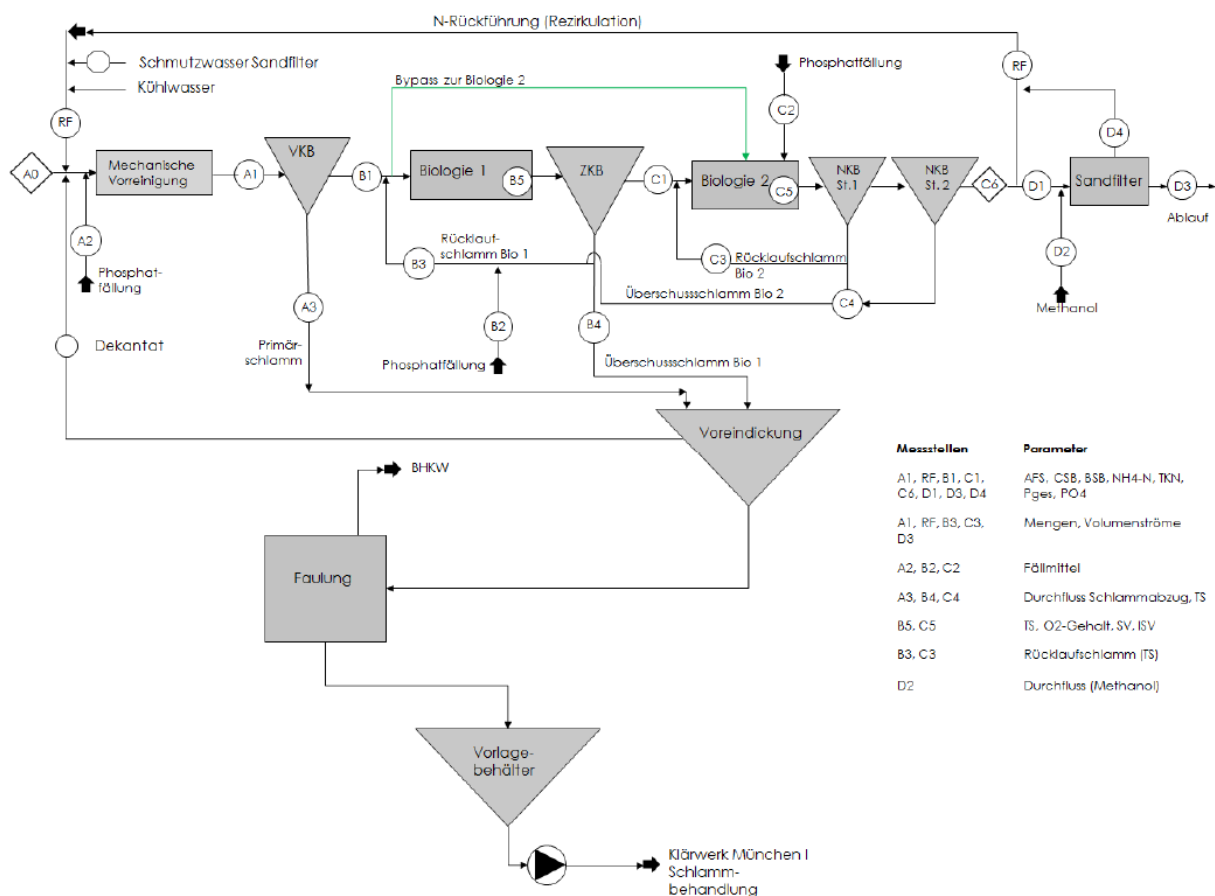


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Bestandteile eines Klärwerks am Beispiel vom Klärwerk II mit den Wasser- und Schlammfließwegen (Quelle: Abschlussbericht Studie K LW II)

5 Auslastung und heutige Herausforderungen in beiden Münchner Klärwerken

5.1 Hydraulische Leistungsfähigkeit

Neben der biologischen Kapazität der Verfahrenstechnik sind die Abwassermengen, die in einem Klärwerk behandelt werden können, für die ordnungsgemäße Auslegung / Bemessung eines Klärwerks unerlässlich. Bei der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Klärwerke ist zwischen den wasserrechtlich genehmigten Werten und zwischen den derzeit tatsächlich möglichen Werten zu differenzieren. Zudem muss zwischen Trockenwetter- und Mischwasserfall unterschieden werden.

5.1.1 Trockenwetter

Im Trockenwetterfall setzt sich der Zulauf zu den Klärwerken aus dem im Einzugsgebiet anfallenden Abwasser und dem Fremdwasser (s. Kapitel 3.1) zusammen. Historisch betrachtet haben sich die Abwasser- und Fremdwassermenge seit den 1980er Jahren merklich reduziert. Als Grund für die Abnahme der Fremdwassermenge sind vor allem Sanierungsmaßnahmen im Kanalnetz und die Behebung von Fehleinleitungen als auch der gesunkene Wasserverbrauch pro Stadtbewohner zu nennen. Die Schmutzfracht ist dagegen konstant geblieben bzw. leicht angestiegen (s. Kapitel 6.2 – Bevölkerungsentwicklungen). Bei Trockenwetter ist nicht die Abwassermenge an sich limitierend, sondern die mit dem Abwasser auf die Kläranlage treffende Schmutzfracht. Aus der Behandlungskapazität der Kläranlagen ergibt sich daher die maximal mögliche Trockenwettermenge, welche in den Kläranlagen behandelt werden kann (s. Tabelle 2). Beide Klärwerke sind mit der derzeit anfallenden Abwassermenge/Schmutzfracht ausgelastet, nennenswerte freie Kapazitäten bestehen momentan nicht.

5.1.2 Mischwasser

Nach Regenereignissen gelangt das Niederschlagswasser aus versiegelten und an das Kanalnetz angeschlossenen Flächen in das Kanalnetz, wodurch das Abwasser verdünnt wird. Bei entsprechend starken Niederschlägen füllen sich die Rückhaltevolumina im Kanalnetz (Regenrückhalte-/Überlaufbecken sowie Stauraumkanäle) sehr rasch. In den Klärwerken und in den Staubereichen der Zulaufkanäle befindet sich jedoch noch stärker verschmutztes Trockenwetterabwasser, welches zuvor behandelt werden muss. Erst wenn das verdünnte Mischwasser in der Kläranlage angekommen ist und die Schmutzkonzentration auch an den ablaufseitigen Teilen der Kläranlagen zu sinken beginnt, kann die Abnahmemenge aus dem Kanalnetz erhöht werden. Zwischen dem Beginn der Niederschläge bis zum reinen Mischwasserbetrieb der Klärwerke können 24 Stunden oder mehr vergehen. Aufgrund der geographischen Lage des Klärwerks Gut Marienhof nördlich von Garching muss das Abwasser aus dem Einzugsgebiet einen langen Streckenabschnitt bestehend aus Nord-West Sammelkanal sowie Doppel- und Speicherkanal passieren. Die Länge dieser Kanäle führt im

Mischwasserfall dazu, dass das Gemisch aus Abwasser und Niederschlagswasser erst deutlich verspätet das Klärwerk erreicht.

Im Mischwasserbetrieb bedarf das verdünnte Abwasser zur Reinigung keiner langen Verweilzeiten in der Kläranlage. Die Limitation durch die begrenzte Leistungsfähigkeit der biologischen Reinigung entfällt somit. Jedoch ergeben sich durch die erhöhte Hydraulik neue Engpässe an anderen Stellen der Abwasserreinigung. Zum einen werden bei Regenereignissen im Kanalnetz abgelagerte Grobstoffe mobilisiert, welche oft geballt auf die Rechenanlagen der Klärwerke treffen und diese an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit bringen. Ist der Rechengutanfall zu hoch, muss die Abnahmemenge aus dem Kanalnetz gedrosselt werden, bis die mechanische Vorreinigung den Rechengutanfall verarbeitet hat.

Innerhalb der Kläranlage wird bei erhöhter Hydraulik mehr Belebtschlamm aus den Belebungsbecken in die Absetzbecken verlagert. Der Schlamm muss dann in den Zwischen- und Nachklärbecken sedimentieren und über die Rücklaufschlammförderung wieder in die Belebungsbecken zurück gepumpt werden. Im Mischwasserbetrieb liegt eine höhere Beaufschlagung der Becken vor, was das Pumpen größerer Schlammengen erforderlich macht. Gleichzeitig verringern sich die Verweil- und damit die Absetzzeit in den Nachklärbecken. Je nach Feststoffgehalt in den biologischen Reinigungsstufen kommen die Nachklärbecken früher oder später ebenfalls an ihre Kapazitätsgrenzen. Um einen Abtrieb von Belebtschlamm aus den Nachklärbecken zu vermeiden, darf die Abnahmemenge aus dem Kanalnetz nicht über bestimmte Werte gesteigert werden.

Nach aktuell gültigen Wasserrechtsbescheiden ergeben sich für beide Klärwerke die in Tabelle 2 angegebenen Werte $Q_{m \text{ Bescheid}}$. Ergänzt wurde die Tabelle um aktuelle Betriebswerte (Q_{aktuell}). Anhand der Tabelle sind deutliche Unterschiede zwischen $Q_{m \text{ Bescheid}}$ und $Q_{t \text{ aktuell}}$ zu erkennen.

Tabelle 2: Abwassermengen für beide Klärwerke, unterschieden nach gültigem Wasserrechtsbescheid ($Q_{m \text{ Bescheid}}$) und aktuell ($Q_{t \text{ aktuell}}$) für einen störungsfreien Betrieb ideale Abwassermengen je Klärwerk.

	$Q_{m \text{ Bescheid}}$	$Q_{t \text{ Bescheid}}$	$Q_{m \text{ aktuell}}$	$Q_{t \text{ aktuell}}$
KLW I	10 m ³ /s	6,66 m ³ /s	6 m ³ /s	3,3 m ³ /s
KLW II	6 m ³ /s	3,33 m ³ /s	4 m ³ /s	1,8 m ³ /s

Die Angaben in Tabelle 2 könnten zu der Annahme führen, dass für beide Klärwerke noch ausreichend Reserven vorhanden sind. Dieser Rückschluss kann leider nicht getroffen werden, da die Bescheidswerte die maximal zulässige Beaufschlagung der Vorfluter darstellen und die aktuellen Werte die tatsächlich mit den vorhandenen Anlagen sicher behandelbaren (Ab-) Wassermengen zeigen. Für die Bemessung von Klärwerken ist das Zusammenspiel zwischen Hydraulik und biologischer Kapazität unerlässlich. Im Kapitel 5.4 werden die Zusammenhänge zwischen diesen beiden Bemessungsgrößen dargestellt und die Gründe für die Abweichungen erläutert.

5.2 Derzeitiger Auslastungsgrad der biologischen Abwasserreinigung

Wie im Kapitel 4.3 beschrieben, handelt es sich bei den Münchner Klärwerken ursprünglich um reine Nitrifikationsanlagen, welche durch verfahrenstechnische Anpassungen ertüchtigt wurden, die Anforderungen an die weitergehende Stickstoffelimination zu erfüllen. Infolgedessen ist es auch die Stickstoffelimination und damit die auf die Klärwerke treffende Stickstofffracht, welche den Auslastungsgrad und damit die Kapazitätsreserve der Klärwerke bestimmt. In Konzeptstudien, welche zusammen mit externen Ingenieurdienstleistern durchgeführt wurden, erfolgte unter anderem eine Auswertung von Betriebsdaten aus den Jahren 2008 bis 2014 sowie 2014 bis 2021. Hinsichtlich der Stickstoffelimination sind beide Klärwerke ausgelastet und die Grenzwerte für den anorganischen Gesamtstickstoff können nur mithilfe der nachgeschalteten Denitrifikation im Sandfilter zuverlässig eingehalten werden.

5.3 Saisonalität des Schmutzfrachtanfalls

Der Abwasseranfall und auch die Schmutzfracht unterliegen neben täglichen Schwankungen (Tagesgang) auch jahreszeitlichen Schwankungen. Um die jahreszeitlichen Schwankungen im Zulauf zu verdeutlichen, sind in Abbildung 7 die Ammoniumfrachten (Zulauf) für einen Zeitraum von 2014 bis 2019 exemplarisch für das Klärwerk Gut Marienhof skizziert.

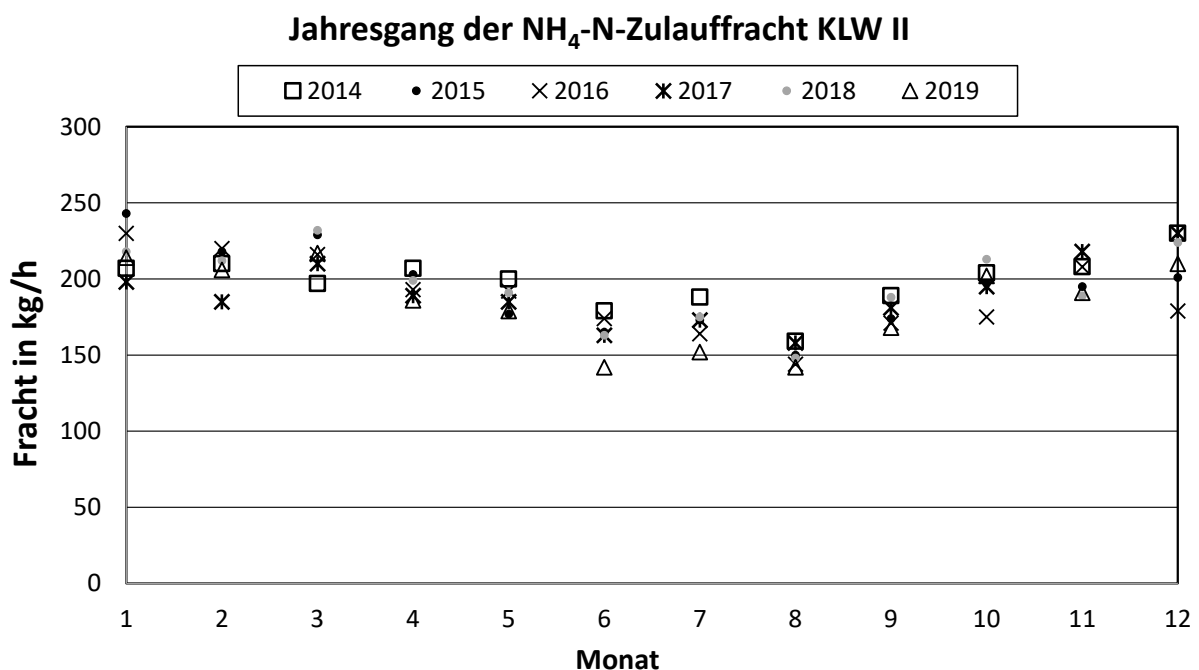


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der Ammonium- (NH₄-N) Zulauffrachten (KLV II) zur Verdeutlichung der Saisonalität für einen Zeitraum von 2014 bis 2019.

Ein detaillierter Blick (Abbildung 7) auf die Schwankungen innerhalb eines Jahres zeigt, dass die im Winterhalbjahr den Kläranlagen zufließenden Schmutzfrachten etwas höher sind als im Sommerhalbjahr. Für die Stickstoffelimination ist jedoch vor allem das Sommerhalbjahr

relevant, in welchem die wasserrechtlichen Grenzwerte für die Stickstoffparameter durch die Kläranlagenbetreiber in Bayern verpflichtend einzuhalten sind. Dabei ist der Anfang des Überwachungszeitraums (April, Mai, Juni) sowie das Ende des Überwachungszeitraums (September und Oktober) mit betrieblichen Herausforderungen verbunden. Ursächlich dafür sind die höheren Frachten im Zulauf zu den Kläranlagen, welche die verstärkte Nutzung der Sandfilter zur Denitrifikation erfordern (siehe Kap 5.5.1).

Die Monate Juli und August dagegen gelten als Hauptreisezeit, was sich in spürbar verringerten Schmutzfrachten bemerkbar macht, die in den Kläranlagen behandelt werden müssen. Die Saisonalität der Zulauffrachten und der resultierende Handlungsbedarf innerhalb des Überwachungszeitraums im Klärwerkverbund sind in Abbildung 8 dargestellt.

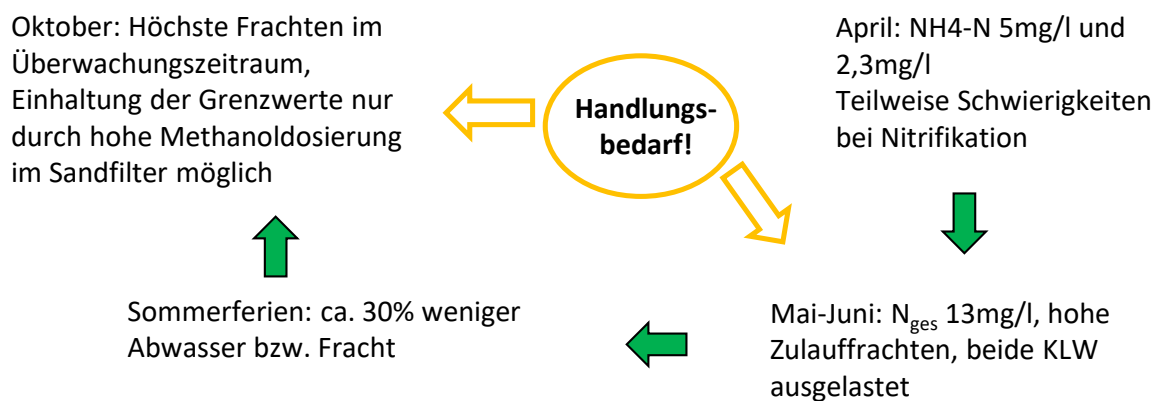


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Saisonalität (Stickstoffelimination in den Klärwerken) im Überwachungszeitraum.

5.4 Trockensubstanzgehalt und Mischwasserkapazität (Zusammenhang)

Die Höhe des Trockensubstanzgehalts (TS) des Belebtschlammes in den Belebungsbecken und damit die Anzahl der Mikroorganismen im System bestimmen maßgeblich die Leistungsfähigkeit der biologischen Abwasserreinigungsprozesse. Hohe Trockensubstanzgehalte (= viele Bakterien/Biomasse) sind daher wünschenswert, wenn bei Trockenwetter hohe Schmutzfrachten auf die Kläranlage treffen. Im Mischwasserfall dagegen ist ein hoher Trockensubstanzgehalt ungünstig, wenn die Nachklärbecken am Ende der biologischen Reinigung an die Grenze ihrer hydraulischen Leistungsfähigkeit stoßen und nicht im Stande sind, die größeren Schlammengen zu bewältigen (Sedimentation des Schlammes ist dann nur bedingt möglich). Je niedriger dagegen der TS-Gehalt, desto unproblematischer ist die Bewältigung großer Abwassermengen. Jedoch verliert die Kläranlage aufgrund verminderter Bakterienmasse Behandlungskapazität bei Trockenwetter. Eine kurzfristige Veränderung der TS-Gehalte in den Belebungsbecken um mehrere Gramm pro Liter ist nicht möglich. Da es sich um aktive Biomasse handelt, die sehr sensibel auf kurzfristige Veränderungen der Milieubedingungen reagiert, sollte der TS-Gehalt so gewählt werden, dass mit den vorhandenen biologischen und hydraulischen Kapazitäten (inkl. Nachklärbecken)

sowohl das Abwasser im Mischwasser- als auch im Trockenwetterfall gut gereinigt werden kann. Die Zusammenhänge sind schematisch in Abbildung 9 dargestellt und zeigen das Konfliktpotential, welches sich in beiden Klärwerken mit der vorhandenen Infrastruktur ergibt.

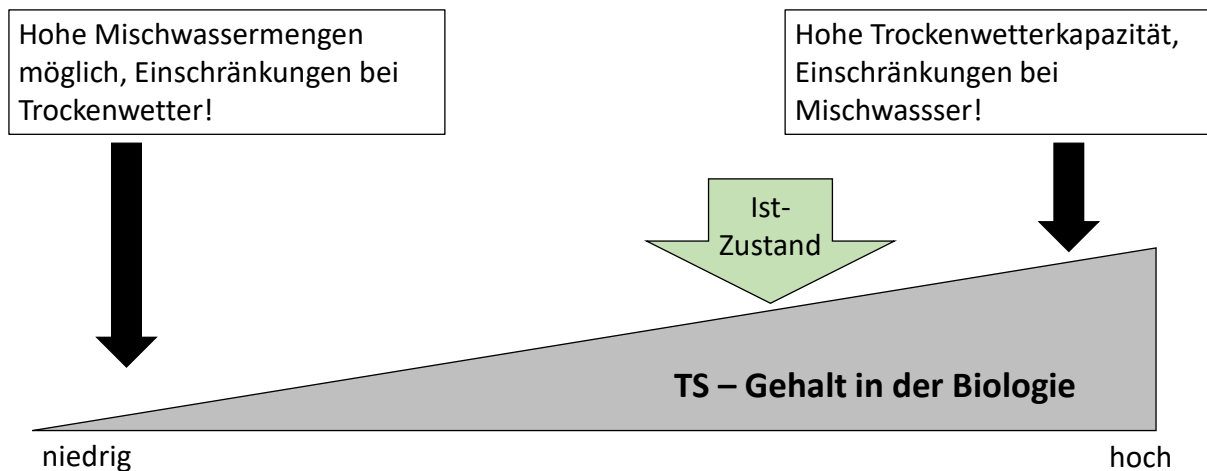


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Konfliktpotentials zwischen TS-Gehalt in der biologischen Stufe und der hydraulischen Leistungsfähigkeit in beiden Klärwerken.

5.5 Aktuelle Prozesse bei der Stickstoffelimination

Innerhalb der Abwasserreinigungsprozesse ist die Stickstoffelimination in den biologischen Stufen die anspruchsvollste. Die Stickstoffelimination läuft zweistufig ab. In der Nitrifikation wird der Stickstoff unter Verbrauch von zugeführtem Luftsauerstoff von autotrophen (verstoffwechseln anorganische Verbindungen) Mikroorganismen zu Nitrat oxidiert. Das Nitrat muss daraufhin von heterotrophen (verstoffwechseln organische Verbindungen) Mikroorganismen in der Denitrifikation zu elementarem (gasförmigen) Stickstoff reduziert werden. Die heterotrophen Mikroorganismen benötigen hierfür eine Kohlenstoffquelle. In beiden Münchner Klärwerken erfolgt die Stickstoffelimination sowohl in den Belebungsbecken als auch nachgeschaltet in den Sandfiltern.

- Vorgeschaltete Denitrifikation in der 1. Biologischen Stufe: Gereinigtes Abwasser wird vor der Sandfiltration entnommen und in den Zulauf zur 1. Biologischen Stufe zurückgepumpt. In eigens dafür eingerichteten unbelüfteten Zonen verstoffwechseln die Mikroorganismen im Belebtschlamm den im Nitrat (NO_3) chemisch gebundenen Sauerstoff (O_2).
- Simultane Denitrifikation in der 2. Biologischen Stufe: Seit dem Jahr 2013 wird an beiden Klärwerken mechanisch gereinigtes Abwasser in die zweiten Biologischen Stufen geleitet. Dieses Rohabwasser fungiert als Kohlenstoffquelle, womit die Mikroorganismen in der Lage sind, das von den Nitrifikanten gebildete Nitrat ähnlich wie in der 1. Biologischen Stufe zu verstoffwechseln.
- Nachgeschaltete Denitrifikation im Sandfilter: Bei Bedarf wird Methanol als externe Kohlenstoffquelle auf die Filterzellen des Sandfilters gegeben und eine

bedarfsgerechte Denitrifikation erzielt. Dies ist jedoch mit verfahrenstechnischen Nachteilen verbunden (s.u.).

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird daher auf diese spezielle Form der Stickstoffelimination noch einmal gesondert eingegangen.

5.5.1 Vor- und Nachteile der Sandfilterdenitrifikation

Mit Verschärfung der Grenzwerte für Stickstoff (gezielte Nährstoffelimination) um die Jahrtausendwende, bestand der größte Vorteil der Sandfilterdenitrifikation in den geringen Investitions- und Betriebskosten sowie der Möglichkeit, durch die Anpassung der dosierten Methanolmenge die Denitrifikation gezielt zu steuern. Der Bau der Methanoldosieranlagen sowie die Lagerbehälter (Klärwerk II – 1996 und Klärwerk I – 2008) waren im Vergleich zu einer baulichen Erweiterung der biologischen Kapazitäten in beiden Klärwerken wesentlich ökonomischer und die Betriebskosten, welche hauptsächlich durch den Betriebsmittelverbrauch (Methanol) bestimmt werden, waren in der Vergangenheit ebenfalls relativ gering. Die Sandfilterdenitrifikation ist zudem ein in der biologischen Abwasserreinigung vergleichbar dynamisches System. Nach einer mehrwöchigen „Einfahrphase“, in welcher kontinuierlich eine gewisse Menge Methanol auf die Filter dosiert wird, hat sich im Sandbett der Filter eine spezialisierte Biozönose gebildet. Diese veratmet schließlich den in Form von Methanol gegebenen Kohlenstoff und entfernt damit Nitrat aus dem Abwasser. Die Methanolgabe wirkt sich nach erfolgreicher „Einfahrphase“ unmittelbar auf die Nitratkonzentration im Ablauf aus. Das System insgesamt ist deshalb prädestiniert, um in sog. „Polizeifunktion“ schnell auf Konzentrationsanstiege von Nitratstickstoff zu reagieren und damit die Sicherheit der Einhaltung der zulässigen Ablaufkonzentrationen zu gewährleisten. Als sich das System damals gegen die Alternativoptionen der Erweiterung der Kläranlagen durchgesetzt hat, wurde zudem von einer erheblichen Skalierungsmöglichkeit des Systems ausgegangen. Nach jahrelanger Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass die zugegebene Methanolmenge nicht beliebig gesteigert werden kann. Neben wirtschaftlichen Aspekten führte eine zu umfangreiche Methanoldosierung dauerhaft zu einer graduellen Verschlammung des Sandfilterbettes. Nach der weiteren Verschärfung der Anforderungen für Gesamtstickstoff (N_{ges}) von 18 mg/l auf 13 mg/l ab dem Jahr 2005 musste die Sandfilterdenitrifikation im Überwachungszeitraum annähernd durchgehend betrieben und große Mengen Methanol auf die Sandfilter der Klärwerke dosiert werden. Nach den ersten Jahren des Dauerbetriebs verschlechterte sich die Permeabilität des Filtermaterials merklich. Bei Mischwasser musste häufig die aus dem Zulaufkanal abgenommene Abwassermenge reduziert werden, da die schlechte Durchlässigkeit der Filter einen hydraulischen Engpass darstellte. Weiterhin zeigte sich über die Jahre, dass die Denitrifikation in den Filtern teilweise nicht vollständig ablief und Nitrit (NO_2) als unerwünschtes Nebenprodukt entsteht.

5.5.2 Simultane Denitrifikation in den Belebungsbecken

Die Schwierigkeiten bei der Denitrifikation in den Sandfiltern führten dazu, dass andere technische Möglichkeiten zur Stickstoffelimination in Betracht gezogen wurden. So wurde ab dem Jahre 2013 an beiden Klärwerken eine gewisse Menge mechanisch vorgeklärtes Abwasser anstatt in die 1. Biologische Stufe direkt in die Becken der 2. Biologischen Stufe eingeleitet. Zudem wurden in den Becken unbelüftete Zonen eingerichtet, um dort den Mikroorganismen mittels der leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen aus dem Rohabwasser die Denitrifikation von Nitrat zu ermöglichen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass die sogenannten autotrophen Mikroorganismen in der 2. Biologischen Stufe nicht zur Denitrifikation fähig sind. Es muss sich daher erst im Belebtschlamm eine ausreichende heterotrophe Biomasse (analog zur 1. Stufe) bilden, um die Denitrifikation in der 2. Biologischen Stufe in Gang zu setzen. Der Umfang, in welchem dieses Verfahren angewandt werden kann, ist jedoch durch die/das nutzbare Reservekapazität/Belebungsbeckenvolumen der 2. Biologischen Stufe begrenzt. Wenn der Anteil der heterotrophen Biomasse oder der Anteil der unbelüfteten Zonen in den Belebungsbecken über einen gewissen Grad zunimmt, kann keine zuverlässige Nitrifikation und damit die Einhaltung des Grenzwerts für Ammoniumstickstoff gewährleistet werden. Nach mehreren Jahren Betriebserfahrung und Versuchen wurden nun Einstellungen gefunden, um die Denitrifikation in den 2. Biologischen Stufen der Klärwerke stabil zu etablieren. Reservekapazitäten für die Nitrifikation bestehen seitdem jedoch nicht mehr im gewohnten Umfang. Bei der Steuerung der Kläranlagen wird dieser Umstand vom Schichtdienstpersonal berücksichtigt, welches seitdem verstärkt auf eine möglichst gleichmäßige Beaufschlagung der Kläranlagen fokussiert ist.

Fazit

Die bis zum heutigen Zeitpunkt getroffenen Entscheidungen für Maßnahmen, Projekte und die optimierte Betriebsweise der beiden Klärwerke haben sich für die aktuell geltenden rechtlichen Anforderungen als zielführend erwiesen. Mit der vorhandenen Verfahrenstechnik und der Betriebsweise lassen sich die geltenden Grenzwerte innerhalb des Überwachungszeitraum sicher einhalten. Auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten können die Entscheidungen als Erfolg verbucht werden. Der aktuelle Betrieb beider Klärwerke zeigt aber auch, dass aufgrund hoher Auslastung nur eine eingeschränkte Flexibilität der Abwasserverteilung auf beide Klärwerke vorhanden ist. Weitere Leistungssteigerungen der Behandlungskapazitäten aufgrund von zukünftigen Anforderungen (vgl. Kapitel 6) sind ohne große, weitreichende Erweiterungen der biologischen Kapazitäten in beiden Klärwerken nicht möglich.

5.5.3 Exkurs: Wechselwirkungen / Beeinflussungen durch das Kanalnetz

Auch wenn der Fokus dieses Konzeptes auf den biologischen Abwasserreinigungsprozessen liegt, sollten Einflüsse aus dem Kanalnetz hier kurz skizziert und in der weiteren Befassung berücksichtigt werden. Neben dem Nachweis ausreichender hydraulischer Leistungsfähigkeit der Kanalisation (Überstaufreiheit) wird in der Gesamtentwässerungsplanung (GEP) überprüft,

ob sich die Gewässerbelastung durch die Mischwassereinleitungen aus dem Kanalnetz innerhalb der durch die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) gesetzten Grenzen hält. Zusätzlich wird im Rahmen des GEP auch noch die Gewässerleistungsfähigkeit sowie die Ökologie in einem separaten gewässerökologischen Gutachten bewertet. Dabei ist der erforderliche Umfang der Mischwasserbehandlung im Kanalisationsnetz neben der angeschlossenen Fläche, dem Trockenwetterabfluss (Bevölkerung, Gewerbe und Fremdwasser), der Verschmutzung der Komponenten Schmutz- und Regenwasser und der Netzsteuerung vor allem von der Regenwetterklärleistung der Klärwerke abhängig und wie schnell diese Leistung gegenüber dem Trockenwetterbetrieb abgerufen werden kann (Anlauftrampe). Eine zu geringe Klärwerksleistung führt evtl. zu zusätzlich erforderlichem Beckenvolumen im Netz, aber auch zu längeren Entleerungszeiten des Kanalnetzes und der Stauräume und damit zu einer verlängerten Beaufschlagung der Klärwerke mit gegenüber dem Trockenwetterabfluss gering verschmutztem Mischwasser.

6 Zukünftige Anforderungen – Triebkräfte – Handlungsbedarf

Wie bereits oben skizziert, sind die beiden Münchner Klärwerke mit der vorhandenen Verfahrenstechnik gut an die aktuellen Gegebenheiten angepasst. Das anfallende Abwasser wird so gereinigt, dass es den gesetzlichen Anforderungen entspricht. Triebkräfte / Einflussfaktoren führen allerdings dazu, dass die vorhandenen biologischen Kapazitäten mit der aktuellen Infrastruktur und Betriebsweise nicht mehr ausreichen werden, um dann auch den zu erwartenden (rechtlichen) Anforderungen / Änderungen gerecht zu werden.

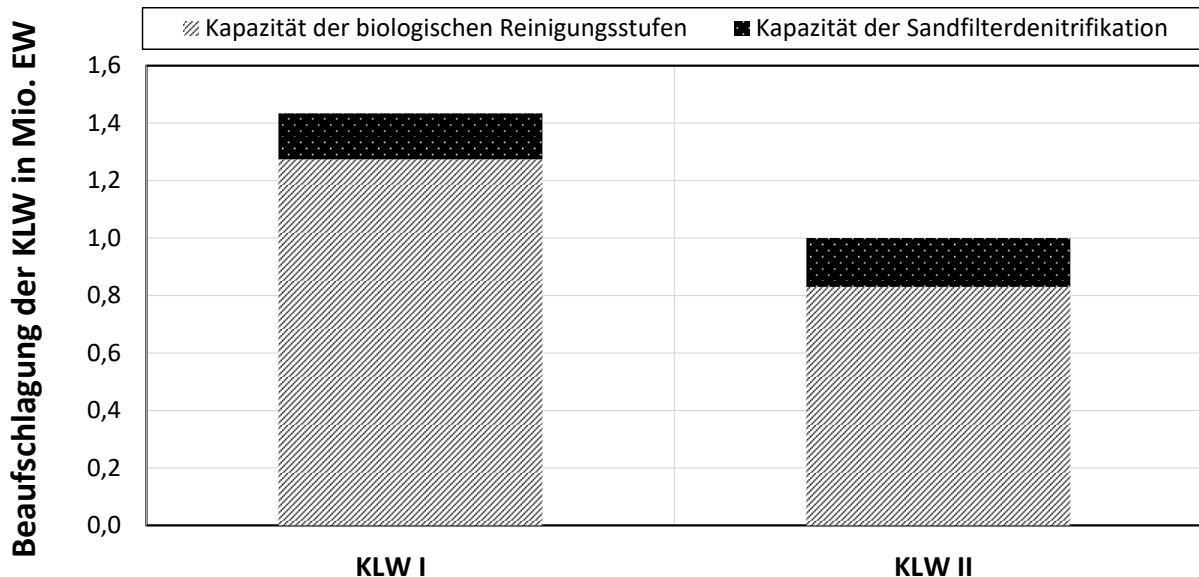
6.1 Wegfall der Möglichkeit der Denitrifikation in den Sandfiltern und Mischwasserkapazität

Die in Kapitel 5.5 skizzierte Form der Stickstoffelimination (inkl. der Denitrifikation in den Sandfiltern) ist aufgrund der dargestellten Probleme bzw. Limitierungen kein ausbaufähiges Modell. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass die vorhandene Verfahrenstechnik in beiden Klärwerken angepasst und erweitert werden muss. Diese Überlegungen und Zielsetzungen werden durch die aktuell diskutierten rechtlichen Änderungen (u. a. EU-Kommunalabwasserrichtlinie – insb. Spurenstoffelimination) bestärkt. Sollte die Richtlinie in der aktuellen Entwurfsversion oder auch leicht abgewandelt in nationales Recht überführt werden, bedeutet das für München, dass in beiden Klärwerken jeweils Anlagen zur Spurenstoffelimination (4. Reinigungsstufe) erforderlich sein werden. Die Umsetzungsfristen sehen aktuell eine Verpflichtung ab 2030 vor (Entwurfsstand). Alle Verfahren zur Spurenstoffelimination nutzen Fitrationsanlagen (Sandfilter o. ä.) als einen festen Bestandteil der Reinigungs- / Eliminationsstrategie. Mit der heutigen Nutzungsform der (Deni-) Sandfilter wäre das aber aus chemisch / physikalischer Sicht nicht möglich. Somit ergibt sich ein zwingender Bedarf, die Denitrifikation aus den Sandfiltern auszulagern. Einen weiteren Zwang, auf die Denitrifikation in den Sandfiltern zu verzichten, stellt die wahrscheinlich erforderliche Nachfällung zur P-Elimination in den Sandfiltern dar. Um die verschärften Grenzwertanforderungen für Phosphor (s. Kapitel 3) einzuhalten, ist ggf. eine Nachfällung in den Sandfiltern erforderlich. Der gleichzeitige Einsatz von Fäll- (für die P-Elimination) und Flockungshilfsmitteln (für die Spurenstoffelimination mit Aktivkohle) sowie einer Kohlenstoffquelle zur Denitrifikation lässt eine noch stärkere Verschlammung der Sandfilter erwarten und wäre im Hinblick auf den potentiellen Nutzen der Sandfilter als Bestandteil einer Spurenstoffeliminationsanlage nicht möglich. Diese Randbedingungen führen unweigerlich dazu, dass mehr biologische Kapazität im Bereich der Biologie geschaffen werden muss.

Um die Denitrifikationskapazität der beiden Sandfilter zu kompensieren, muss die Stickstoffelimination / Denitrifikation verstärkt in den vorgeschalteten verfahrenstechnischen Stufen, also den Belebungsbecken, erfolgen. Zur Entlastung der Sandfilterdenitrifikation wurden bis heute bereits Maßnahmen getroffen, um das Potential zur Denitrifikation in den Belebungsbecken weitestgehend auszuschöpfen. Da die Sandfilterdenitrifikation in den

vergangenen Jahren nur in unbedingt notwendigem Umfang benutzt wurde, erlaubt die Analyse aktueller Betriebsdaten den Bedarf zur Substitution der Sandfilterdenitrifikation abzuschätzen. Abbildung 10 zeigt, dass in den Sandfiltern beider Klärwerke zusammen eine zu denitrifizierende Stickstofffracht eliminiert wird, die rechnerisch ca. 300.000 EW (ohne Sicherheitsfaktoren) entspricht.

Abschätzung der Kapazitäten bei momentaner Zulaufbelastung



	KLW I	KLW II
Zulaufbelastung	1,4 Mio. EW	1,0 Mio. EW
Abgeschätzte Kapazität der biologischen Stufen	1,274 Mio. EW	0,830 Mio. EW
Rechnerisches Defizit in %	9,0 %	17,0 %
Abgeschätztes Defizit in EW	0,126 Mio. EW	0,170 Mio. EW*

* Diese Zahl wurde im Rahmen einer Studie im KLW II (Kapitel 7) unter Einbeziehung aller bemessungsrelevanten Sicherheitsfaktoren noch konkretisiert.

Abbildung 10: Abschätzung des Anteils der Sandfilterdenitrifikation an der gesamten Stickstoffeliminationsleistung beider Klärwerke.

Verfahrenstechnisch lässt sich das Defizit beim Stoffumsatz durch mehr Biomasse (höherer TS-Gehalt) in den Biologien realisieren. Eine höhere Biomassenkonzentration in der Belebung muss in der nachfolgenden Separationsstufe (Nachklärbecken) auch wieder von der Flüssigphase getrennt werden. Da die vorhandenen Nachklärbecken vor knapp 40 Jahren nach damaligem Stand der Technik geplant und umgesetzt wurden, weisen sie im direkten Vergleich mit neuen Nachklärbecken einige Unzulänglichkeiten auf. So wirkt sich bspw. der vorhandene konstruktive Sohl sprung an der Beckensohle in Kombination mit der vorhandenen Zweistufigkeit der Nachklärbecken (Klärwerk II) aus verfahrenstechnischer Sicht nachteilig auf die Effizienz aus. Nachklärbecken nach aktuellem Stand der Technik erlauben eine deutlich höhere Oberflächenbeschickung sowie verbesserte Abscheidegrade (Schlamm / Wasser). Alternativ bzw. zusätzlich kann durch Schaffung von mehr Belebungsvolumen mehr Biomasse im System der Abwasserreinigung gehalten und somit die Reinigungskapazität der gesamten Kläranlage gesteigert werden. Eine Erweiterung der biologischen Kapazitäten bzw. die

Schaffung von Nachklärbecken volumens würde den in Kapitel 5.4 skizzierten Interessenskonflikt zwischen TS-Gehalt und Mischwasseranfall in den Klärwerken deutlich entschärfen. Perspektivisch lässt sich durch die Schaffung von zusätzlichem Belebungs volumens der TS-Gehalt in der biologischen Stufe möglichst konstant auf einem betrieblich optimalen Niveau stabilisieren und im Mischwasserfall können die Klärwerke deutlich mehr Abwasser behandeln (bis zu den genehmigten Mengen von 10 m³/s bzw. 5 m³/s /Klärwerk I bzw. II). Ebenso wäre der Wechsel zwischen Trockenwetterbetrieb und Mischwasserbetrieb in den beiden Klärwerken schneller möglich.

Fazit

Durch den Wegfall der Denitrifikation in den Sandfiltern entsteht im Klärwerksverbund bei aktueller Zulaufbelastung ein abgeschätztes Defizit bei der Stickstoffelimination (insb. bei der Denitrifikation) von ca. 300.000 EW (ohne Sicherheitsfaktoren), welches durch die Schaffung von zusätzlichem Belebungsbecken volumens (inkl. Nachklärbecken) kompensiert werden muss. Diese erste Abschätzung für den Verbund wurde durch zwei Studien (vgl. Kapitel 7) verifiziert bzw. unter Einbeziehung aller bemessungsrelevanten Sicherheitsfaktoren auf 390.000 EW angepasst. Ohne die Denitrifikation in den Sandfiltern konnte für beide bestehenden Klärwerke kein rechnerischer Nachweis der Einhaltung der Ablaufgrenzwerte erbracht werden.

6.2 Bevölkerungsentwicklungen (Prognose)

Eine weitere Triebkraft, die aus Sicht der MSE in der strategischen Neuausrichtung der beiden Klärwerke Berücksichtigung finden muss, sind die zukünftigen Bevölkerungsentwicklungen in München. Die Ermittlung der zukünftigen Bedarfe insbesondere im Hinblick auf Bevölkerungsentwicklungen ist jedoch mit vielen Unsicherheiten behaftet. Neben individuellen Triebkräften der Menschen (z. B. der Jobwechsel) wird der Zuzug nach München auch von weiteren Faktoren wie der Kaufkraft beeinflusst. Zwar liefern die offiziellen Prognosen der LHM und der Umlandgemeinden eine gute Basis, in der viele Aspekte Berücksichtigung finden. Unvorhersehbare Ereignisse wie Pandemien, Konflikte, Energieknappheiten, starker Anstieg bei der Migration, steigende Inflationsraten oder steigende (Bau-) Zinsen können jedoch einen erheblichen, unkalkulierbaren Einfluss auf die Bevölkerungsentwicklung im Großraum München nehmen.

Für die Bemessung von Klärwerken spielen die angeschlossenen Einwohnerwerte nur eine indirekte Rolle. Deutlich aussagekräftiger sind in diesem Zusammenhang die von den Einwohner*innen verursachten (Schmutz-)Frachten und ggf. die Abwassermenge. Dass sich eine Zunahme bei der Bevölkerung nicht direkt in der Fracht bzw. in der Abwassermenge widerspiegelt, wird anhand der Abbildung 11 deutlich. In der Abbildung sind neben Einwohner*innen auch die Jahresabwassermenge, als auch die in den Klärwerken behandelte Menge Abwasser (Schmutzwasser + Niederschlagswasser) und die Jahresschmutzwassermenge (nur Schmutzwasser) dargestellt. Anhand der Daten ist ein

kontinuierlicher Bevölkerungszuwachs innerhalb der letzten 14 Jahre zu erkennen. Bei den Abwassermengen ist eher eine Stagnation (2013 hohe Niederschlagsmengen) zu erkennen. Hier spielen vermutlich vielfältige Faktoren, u. a. ein geänderter Umgang mit der Ressource "Wasser", eine Rolle, so dass intensiv beobachtet werden muss, ob sich die beobachteten Entwicklungen auch künftig so fortsetzen.

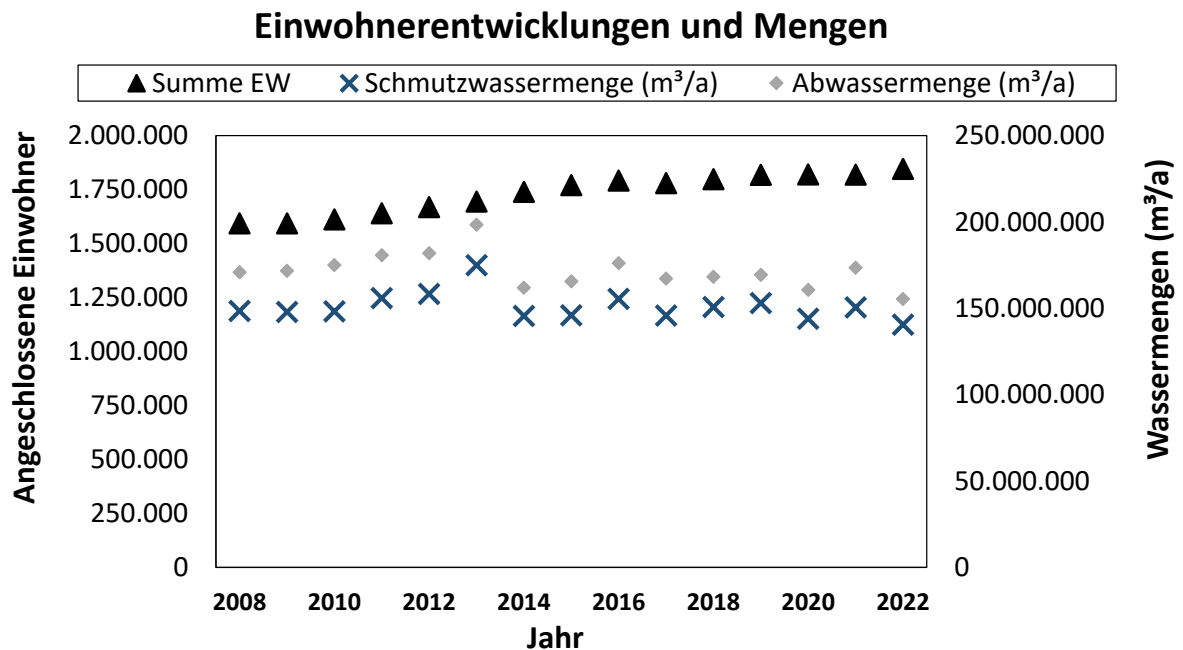


Abbildung 11: Entwicklungen der angeschlossenen Einwohner*innen (EW) und der behandelten Abwasser- bzw. Schmutzwassermengen von 2008 bis 2022.

Auch im Hinblick auf die einwohnerspezifischen Frachten führten Gesetzesänderungen (u. a. das Verbot von Phosphaten in Wasch- und Spülmitteltabs im Jahr 2017) zu stagnierenden bzw. sogar rückläufigen Frachten. Ob dieser Trend sich auch in Zukunft so fortsetzen wird, ist ungewiss. Unabhängig von den oben skizzierten Unsicherheiten, die derzeit nicht belastbar vorhersehbar sind, muss dieses Thema in eine langfristige Strategie mit aufgenommen werden.

Für ein besseres Verständnis dieser komplexen und sehr schwer greifbaren Triebkraft wird im Folgenden das Vorgehen bei der Ermittlung dieser Eingangsgröße auf den zukünftigen Bedarf skizziert werden. Ausgehend von der heutigen Ist-Situation beim Schmutzwasseranfall werden dann drei mögliche Entwicklungsszenarien abgeleitet. Neben den Bevölkerungsszenarien fließen in die Entwicklungsszenarien noch die Bedarfe aus den anderen Triebkräften mit ein (s. Kapitel 8).

Die Grundlage dieser Bevölkerungsszenarien bilden die realen Einwohner*innen aus München und den Umlandgemeinden. Die Literatur liefert Anhaltswerte für die Ermittlung von einwohnerspezifischen Frachten, um den Einfluss von industriellen und gewerblichen Einleitern zu bestimmen. Mittels darin aufgeführter spezifischer Kenngrößen lässt sich somit

für die unterschiedlichen Einleiter ein einheitlicher Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall je Gewerbeeinheit angeben (Einwohnergleichwerte aus Industrie und Gewerbe). Neben diesen beiden doch sehr stabilen Eingangsgrößen, die für die Ermittlung des Schmutzwasseranfalls herangezogen werden müssen, gibt es noch zwei Faktoren, die sehr volatil sind und stark von äußeren Faktoren geprägt sind. Im Einzelnen sind das die Zahl an Touristen, die in München übernachten, und Pendlerbewegungen von und nach München. Wie volatil diese beiden Faktoren sind, wurde während der Corona-Pandemie in einem Extrembeispiel deutlich, als wegen diverser Lockdowns diese beiden Verursacher von Schmutzwasser fast gänzlich zum Erliegen kamen. Auch wenn die Pandemie weitestgehend als beendet gilt, bleiben die Auswirkungen bei den zurückgegangenen Pendlerströmen bestehen (Stichwort: Homeoffice). Im Hinblick auf die Touristen normalisiert sich die Lage langsam wieder. In Abbildung 12 sind schematisch die Komponenten dargestellt, aus denen sich der Schmutzwasseranfall für die beiden Münchner Klärwerke zusammensetzt (nicht maßstabsgetreu).

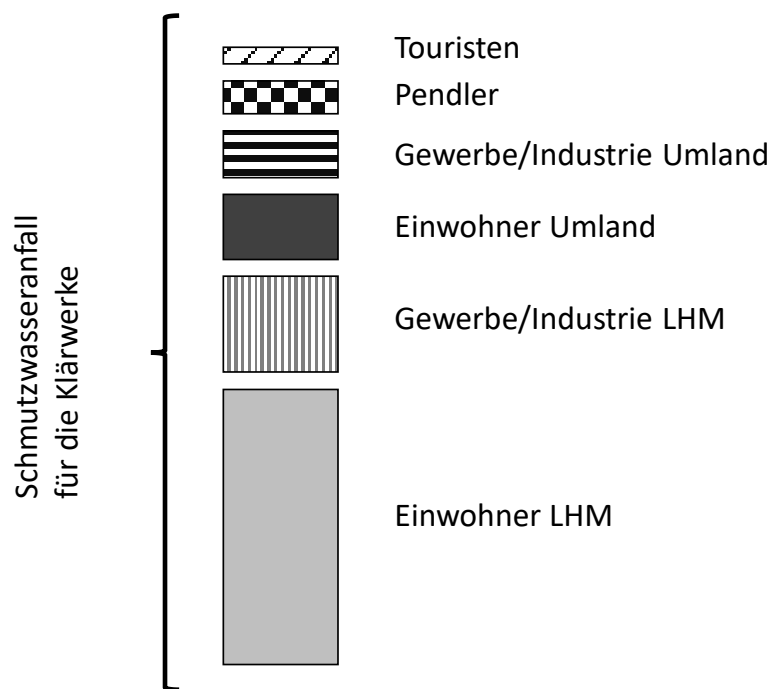


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Zusammensetzung des Schmutzwassers, das dann in den beiden Klärwerken behandelt wird, nach Herkunft.

Die letzten pandemiegeprägten Jahre sind zwar kein Dauerzustand, verdeutlichen aber auf eine anschauliche Weise die Auswirkungen auf die Schmutzfrachten sehr gut. Erschwert wird die Konkretisierung dieser Triebkraft noch dadurch, dass sich die Bevölkerungsentwicklungen auch nur bedingt in den Abwasserfrachten widerspiegeln. Somit ist es empfehlenswert, die Einwohnerentwicklungen und die daraus resultierenden einwohnerspezifischen Frachten mit Sorgfalt und mit dem Wissen, dass diese mit einer gewissen Unschärfe einhergehen, zu betrachten und im Laufe der weiteren Planungsschritte regelmäßig zu verifizieren. Die nachfolgend genannten Entwicklungen können nur ein Anhaltswert sein, um den aus heutiger Sicht sowieso schon vorhandenen Bedarf bei den biologischen Kapazitäten um einen entsprechenden Anteil zu ergänzen.

Um ein möglichst breites Spektrum bei dieser unsicheren Eingangsgröße abzudecken, werden im Rahmen der weiteren Betrachtung drei mögliche Bevölkerungsszenarien betrachtet.

- Minimales Szenario
- Mittleres Szenario
- Maximales Szenario

Anmerkung: Die Ermittlung dieser Prognosedaten orientiert sich an dem Vorgehen zur Ermittlung der Klärschlammprognose im Rahmen der Planungen der Klärschlammverbrennungsanlage. Möglich ist das, da der Schlammanfall auch näherungsweise Rückschlüsse auf die behandelte Fracht in den Klärwerken zulässt.

Bezugsgröße der Prognose sind Angaben aus dem Jahr 2022. Für die Ermittlung dieser Daten wurden verschiedenste Quellen wie das Statistische Jahrbuch der LHM, Planungsprognosen der Stadt München und des Planungsverbandes Äußerer Wirtschaftsraum München, Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung sowie diverse interne Quellen herangezogen und mit Hilfe der darin aufgeführten Prognosemodelle zusammengetragen. Bzgl. der industriellen und gewerblichen Einleiter wurden zusätzlich noch Annahmen über spezifische Frachten getroffen, um Rückschlüsse auf die Einwohner*innen bzw. Einwohnergleichwerte zu treffen.

Unter Berücksichtigung der in Abbildung 12 skizzierten Verursacher lassen sich für das Jahr 2022 und das Prognosejahr 2040 die in der Tabelle 3 aufgeführten Werte für die drei oben genannten Szenarien abschätzen

Tabelle 3: Prognose für drei mögliche Bevölkerungsszenarien bis 2040 (Bezugsjahr 2022) – Angaben in Mio. EW.

Einwohner/ Einwohnergleichwerte	Bezugsjahr 2022	Szenarien 2040		
		Minimal	Mittel	Maximal
Einwohner LHM	1,59	1,69	1,81	1,95
Industrie/Gewerbe LHM	0,36	0,34	0,38	0,42
Einwohner Umland	0,26	0,29	0,30	0,33
Einwohnergleichwerte Umland	0,08	0,09	0,09	0,10
Pendler	0,06	0,11	0,11	0,11
Touristen	0,04	0,06	0,06	0,06
Summe	2,39	2,56	2,75	2,95
Zuwachs bezogen auf 2022		0,178	0,360	0,568

Anhand der vorliegenden Daten lässt sich bis 2040 ein Bevölkerungszuwachs zwischen 178.000 und 568.000 EW abschätzen. In einem mittleren Szenario wird für die modulare die Konzeptentwicklung in Kapitel 8 ein Bevölkerungszuwachs von ca. 360.000 EW und eine dementsprechende Schmutzfracht im Abwasser angenommen.

Fazit

Zwar ist der Einfluss der Bevölkerungsentwicklungen nicht zu unterschätzen, aber dies ist auch der Faktor, der mit den größten Unsicherheiten behaftet ist. Allerdings zeigt ein Blick in Vergangenheit, dass sich der Bevölkerungszuwachs innerhalb der LHM und den angeschlossenen Umlandgemeinden nicht unbedingt direkt in den Abwasserfrachten widerspiegelt. Die Abwasserfrachten sind aber für die Bemessung bzw. die Auslegung eines Klärwerks der maßgebliche Faktor. Die Gründe für die Abweichungen zwischen Bevölkerungsentwicklungen und Frachten sind vermutlich sehr vielschichtig und bieten viel Interpretationsspielraum, was eine fundierte Erklärung erschwert. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, die Daten und Entwicklungen permanent zu beobachten und direkt vor der konkreten Planung der Projekte zu den Bedarfsdeckungen noch einmal zu verifizieren und dann in den weiteren Planungsschritten (Bemessung der Anlagenteile) zu berücksichtigen.

6.3 Schaffung der Möglichkeit einer Spurenstoffelimination im Klärwerk Gut Marienhof

Aktuell (März 2024) existiert weder auf EU-, Landes- oder Bundes-Ebene eine allgemeingültige gesetzliche Verpflichtung der Kläranlagenbetreiber, Maßnahmen zur Entfernung von Mikroschadstoffen (4. Reinigungsstufe) zu ergreifen. Zukünftig ist aber davon auszugehen, dass sich die rechtlichen Rahmenbedingungen spätestens mit der Umsetzung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie in nationales Recht ändern und Betreiber von größeren Klärwerken dann ihre Anlagen um eine 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Spurenstoffen erweitern müssen. In der aktuellen Entwurfsfassung der Richtlinie (Stand 10/2022) ist für eines der Münchner Klärwerke (Gut Marienhof) eine Verpflichtung ab 2030 vorgesehen. Das zweite Klärwerk Gut Großlappen wäre dann ab 2035 dazu verpflichtet, eine Anlage zur Spurenstoffelimination zu betreiben. Bisher basieren alle aktuellen Aktivitäten der Abwasserentsorger in Deutschland auf Freiwilligkeit. Wie die in Deutschland gebauten Anlagen finanziert werden, ist verschieden und rechtlich nicht eindeutig geklärt.

In Bayern hat sich durch die Veröffentlichung eines Sonderförderprogramms für ausgewählte Anlagenbetreiber die Möglichkeit ergeben, eine Teilförderung der Investitionskosten zu erhalten, wenn sich die MSE freiwillig mit diesem Thema auseinandersetzt. Aufgrund eines bayernweiten Stoffflussmodells (Gewässer) wurde das Klärwerk Gut Marienhof neben zwölf weiteren Klärwerken vom Freistaat Bayern als Prioritär eingestuft. Voraussetzung für die Beantragung einer Teilförderung aus dem Förderprogramm des Freistaates Bayern (AWVIER - Az. 58g-U4414.0-2021/4-3, 2023) ist eine Machbarkeitsstudie zu diesem Thema.

Aktuell lässt die MSE im Rahmen einer solchen Machbarkeitsstudie (Beginn 09/2023) mögliche Verfahren und Kombinationsmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination technisch und monetär untersuchen und bewerten. Die Laufzeit der Studie wird mit ungefähr neun Monaten abgeschätzt (Ende Sommer 2024). Nach Abschluss der Studie soll diese dann im Herbst 2024 dem Freistaat bzw. dem WWA zur Begutachtung vorgelegt werden. Eine Entscheidung seitens des WWA ist dann bei Ende 2024 vorgesehen. Aufgrund der Fristen, die an den Förderbescheid geknüpft sind und dem benötigten Vorlauf bis zu einer potentiellen

Inbetriebnahme dieser Anlage im Klärwerk Gut Marienhof, ist eine zeitnahe Befassung mit diesem Thema zwingend erforderlich. Anmerkung: Wie eine solche technische Anlage zur Deckung des Bedarfs bei der Spurenstoffelimination aussehen kann, wird in Kapitel 8 exemplarisch anhand einer Ozonanlage für das Klärwerk Gut Marienhof dargestellt.

Fazit

Aktuell geht die MSE davon aus, dass im Jahr 2024 auf EU-Ebene eine Verpflichtung zum Bau und Betrieb einer Anlage zur Spurenstoffelimination beschlossen wird. Die bisher bekannten Umsetzungsfristen in dem Entwurf der Kommunalabwasserrichtlinie machen in Kombination mit dem Zeitbedarf für Planung und Bau einer solchen Anlage eine zeitnahe Befassung mit dem Thema unabdingbar. Sollte sich die Frist zum Betrieb einer solchen Anlage noch weiter in die Zukunft verschieben und die MSE die Anlage vorab schon im Sinne des Gewässerschutzes freiwillig betreiben, müssten die Kosten (abzüglich der Teilförderung aus dem Förderprogramm) auf die Gebührenzahler*innen umgelegt werden. Unter dem Gesichtspunkt, dass diese rechtliche Verpflichtung in absehbarer Zeit kommen wird, sollte, um die finanziellen Mehrbelastungen für die Gebührenzahler*innen möglichst gering zu halten, die Teilförderung der Anlage über das Förderprogramm unbedingt wahrgenommen werden. Sollten sich zukünftig die gesetzlichen Rahmenbedingungen inkl. einer Vollfinanzierung der Investitions- und Betriebskosten z. B. durch die „erweiterte Herstellerverantwortung“ (EU-Kommunalabwasserrichtlinie) abzeichnen, wird die MSE, auch im Sinne der Gebührenzahler*innen, diese Option genau prüfen und ggf. auf die Förderung vom Freistaat verzichten.

6.4 Einhaltung der Grenzwerte bei einer Abwassertemperatur von 12°C

Als weitere Triebkraft kann die Reinigungsleistung der Klärwerke (Einhaltung der Grenzwerte) an die vorhandene Abwassertemperatur gekoppelt werden. Neben der Menge an Mikroorganismen sind optimale Milieubedingungen für das Wachstum der Organismen sowie deren Aktivität verantwortlich. Naturgemäß ist es in unseren Breitengraden in den Wintermonaten deutlich kälter als in den Sommermonaten. Dieser natürliche Umstand spiegelt sich auch in der Abwassertemperatur wider (Abbildung 13). Da sich die Abwassertemperatur nicht beeinflussen lässt, ist es in Bayern Standard, dass im Winter bei einigen Inhaltstoffen andere Grenzwerte gelten als in den Sommermonaten. Diese Differenzierung zwischen Winter und Sommer ist innerhalb der Bundesrepublik für Bayern einmalig. Alle anderen Bundesländer haben eine feste Temperaturvorgabe (12°C), ab der die Grenzwerte der Abwasserreinigung eingehalten werden müssen. Eine deutschlandweite Vereinheitlichung der Reinigungsleistung in Verbindung mit der Abwassertemperatur wird vielfach diskutiert und könnte mit der Umsetzung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie in nationales Recht neuen „Schub“ bekommen.

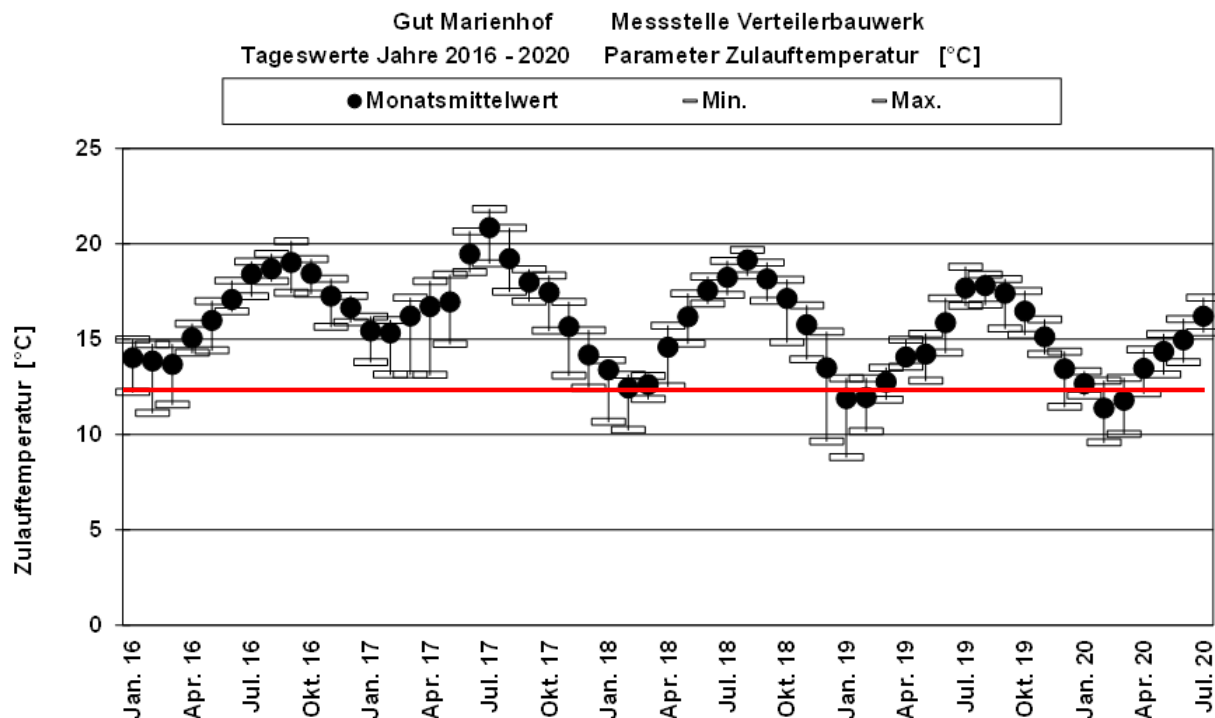


Abbildung 13: Saisonalität der Abwassertemperatur im Zulauf zum Klärwerk II in den Jahren 2016 bis 2020.

Die Qualität des Belebtschlamm (z. B. der Anteil der Nitrifikanten im Schlamm) ist praktisch das Resultat der Abwassertemperatur der vorhergehenden zwei bis drei Wochen. Zu Beginn des Überwachungszeitraums für $\text{NH}_4\text{-N}$ am ersten April des Jahres ist daher auch die Abwassertemperatur des Vormonats März mitzubetrachten.

Fazit

Mit der Einführung der Bemessungstemperatur von 12°C würde die aktuelle Trennung zwischen Sommer- (Überwachungszeitraum) und Winterbetrieb wegfallen. Grenzwerte müssten dann ganzjährig bei Abwassertemperaturen über 12°C eingehalten werden. Im Vergleich zur heutigen Situation steigen somit die betrieblichen Anforderungen in beiden Klärwerken.

Das Einhalten der Grenzwerte bei einer Abwassertemperatur über 12°C erfordert, dass mehr Biomasse benötigt wird, um die langsameren Stoffumwandlungsprozesse der Mikroorganismen zu kompensieren. Mehr Biomasse kann im Klärwerk aber nur etabliert werden, wenn dafür zusätzliches Belebungsvolumen geschaffen wird. Dieser Bedarf ergibt sich auch schon ohne weitere Frachtzuwächse im Zulauf der Klärwerke. Somit ist eine Bemessungstemperatur von 12°C als Auslegungsgröße für die erforderliche Kapazitätserweiterung auch ohne die gesetzliche Verpflichtung sinnvoll und zukunftssicher.

6.5 Weitere Triebkräfte für die zusätzliche Kapazität in beiden Klärwerken

Steigende Anforderungen bei der Reinigungsleistung der Klärwerke

Im aktuellen Entwurf der EU-Kommunalabwasserrichtlinie wird u. a. eine weitere Verschärfung der zulässigen Ablaufgrenzwerte der Klärwerke, insbesondere für Stickstoffverbindungen, vorgeschlagen. Dieser Vorschlag ist aktuell noch sehr unkonkret und wird in den Fachgremien und von Seiten der Abwasserentsorger über entsprechende Dachverbände kontrovers diskutiert. Die, für die MSE in Zukunft einzuhaltenden Grenzwerte sind zudem abhängig von der Überführung der EU-Richtlinie in nationales Recht. Für die weitere Planung der Kapazitätserweiterungen in beiden Klärwerken ist diese Entwicklung mit Sorgfalt zu verfolgen und bei der Projektierung der einzelnen Maßnahmen ggf. als Bemessungsgröße zu berücksichtigen.

Da die Stickstoffelimination heute schon den kapazitätslimitierenden Faktor der beiden Klärwerke darstellt, hätte eine Verschärfung der Ablaufgrenzwerte für Stickstoff signifikanten Einfluss auf die Bemessung der Klärwerke. Sollten die Grenzwerte so in nationales Recht einfließen, wie es aktuell diskutiert wird, würde das einen signifikanten Mehrbedarf an biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund erforderlich machen und ggf. sogar größere Anpassungen der vorhandenen verfahrenstechnischen Gestaltung im Klärwerk Gut Marienhof in Betracht gezogen werden müssen. Die MSE wird sich intensiv damit beschäftigen, eine bedarfsgerechte Lösungsstrategie abzuleiten. Erste Überlegungen / Abschätzungen des zusätzlichen biologischen Bedarfs werden auch schon im Rahmen dieses Konzeptes in Kapitel 7 (maximales Szenario) aufgegriffen.

Strengere Ablaufgrenzwerte für Stickstoff (aktueller Entwurf der EU-Kommunalabwasserrichtlinie)

Aktuell gilt in beiden Klärwerken im Überwachungszeitraum ein Ablaufgrenzwert von 13 mg/l N_{ges} (vgl. Tabelle 1). Im Rahmen der aktuellen Novellierung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie ist im Entwurf auch eine Grenzwertverschärfung für die Stickstoffkonzentration (N_{ges}) vorgesehen. Bezogen auf die Zulaufkraft für Stickstoffverbindungen ist für Klärwerke ab 150.000 EW z. B. ein Eliminationsziel von 80 % oder ein Grenzwert von 8 mg/l in den 24h-Mischproben, eventuell auch als Jahresmittelwert, vorgesehen. Ebenfalls Gegenstand der Diskussionen ist eine weitere Grenzwertverschärfung auf 6 mg/l. Dieser Wert würde jedoch die MSE sowie andere Klärwerksbetreiber vor immense Herausforderungen stellen und würde die Schaffung von zusätzlichem Belebungsvolumen (über das in diesem Konzept ermittelte) oder eine grundlegende Änderung der bestehenden Verfahrenstechnik erforderlich machen. Diese gravierenden Auswirkungen werden daher auch innerhalb der EU sehr kritisch bewertet und daher als eher unwahrscheinlich eingestuft.

Unabhängig davon, welcher Grenzwert durch die Richtlinie vorgegeben wird, wäre dieser einzuhalten sofern die Abwassertemperatur über 12°C liegt. Die Verknüpfung der

Eliminationsleistung und der zulässigen Ablaufgrenzwerte würde daher bei entsprechender Umsetzung der Richtlinie in Wasserrecht auf nationaler Ebene und Länderebene einen Wegfall des, in Bayern aktuell gültigen Sommer-/Winter-Betriebs mit einem Überwachungszeitrum vom Mai bis Oktober bedeuten.

Noch ist absolut unklar, ob sich die Forderung nach einer Grenzwertverschärfung innerhalb der EU-Kommunalabwasserrichtlinie in dieser Form durchsetzen wird und welcher Grenzwert dann einzuhalten ist. Zu diesem Thema gibt es unterschiedliche Positionen, die in der weiteren Diskussion in der EU erörtert werden müssen.

Um aber auch für diese mögliche gesetzliche Verschärfung in Zukunft gerüstet zu sein, wird in Kapitel 8 das Thema im Rahmen eines Entwicklungsszenarios aufgegriffen und eine Lösungsstrategie zur Bedarfsdeckung abgeleitet.

6.6 Weitere Stoffe von Interesse (zukünftig)

Neben den, im vorherigen Kapitel beschriebenen Stoffen bzw. Abwasserinhaltsstoffen gibt es weitere, die es zukünftig zu berücksichtigen gilt. Aktuell gibt es für die Gruppen von Abwasserinhaltsstoffen

- Spurenstoffe
- Mikroplastik
- Keime

keine gesetzlichen Vorgaben bzw. Eliminationsziele. Auch wenn es noch keine festen Grenzwerte für diese Stoffe gibt, werden sie, soweit möglich, durch die vorhandene Verfahrenstechnik in den Klärwerken, (mit-)entfernt. Es ist zu erwarten, dass sich das für die eine oder andere Stoffgruppe aber innerhalb der kommenden Jahre ändern wird. In Ausnahmefällen, wie im Klärwerk Gut Marienhof, kann heute schon eine Keimreduktion sinnvoll bzw. vorgeschrieben sein, um Ziele wie die Badegewässerqualität in der Isar zu gewährleisten. Dort erfolgt durch den gezielten UV-Einsatz eine Desinfektion des gereinigten Abwassers in den Sommermonaten. Da sich dieses Konzept mit zukünftigen Entwicklungen und potentiellen Triebkräften befasst, sollen diese für die drei Inhaltsstoffgruppen kurz skizziert werden. Eine ausführlichere Beschreibung sowie Eliminationsverfahren dieser Stoffe sind im Anhang A 1.6 -1.8 zu finden.

Spurenstoffe

Da das Thema Spurenstoffelimination für das Klärwerk Gut Marienhof aufgrund eines vom Freistaat Bayern aufgelegten Sonderförderprogramms (AWVIER) und einer damit verbundenen Machbarkeitsstudie derzeit detailliert betrachtet und bewertet wird, wird in Kapitel 6 und 7 noch einmal gesondert auf das Thema eingegangen.

Mikroplastik

Bei Mikroplastik ist zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik zu unterscheiden. Während primäres Mikroplastik gezielt hergestellt und eingesetzt wird, beispielsweise in Kosmetika oder Reinigungsmitteln, entsteht sekundäres Mikroplastik aus größeren Plastikprodukten. Kunststoffmüll gelangt in die Umwelt und zerfällt dort zu Mikroplastik, das in vielen Umweltkompartimenten nachweisbar ist. Um sich diesem sehr komplexen Themenfeld vorrausschauend zu nähern, hat die MSE im Zeitraum von 2017-2020 an mehreren Forschungsprojekten als assoziierter Partner mitgewirkt. Anhand von Analysen konnte im Klärwerk Gut Marienhof nachgewiesen werden, dass ca. 99,9 % des ursprünglich im Abwasser enthaltenen Mikroplastiks im Klärwerk zurückgehalten werden. Einen extrem positiven Einfluss auf die hohe Rückhalterate hat der vorhandene Sandfilter. Diese Ergebnisse decken sich mit anderen Studien und Erfahrungen von Klärwerken, die über eine zusätzliche Filtration im Anschluss an die Nachklärbecken verfügen. Nach aktuellem Stand besteht somit beim Thema Mikroplastik kein Handlungsbedarf.

Keime

Auch dieses Thema ist aktuell durch die Medien präsent. Als multiresistente Keime werden pathogene Keime bezeichnet, welche durch natürliche Mutation Gene zum Schutz vor der Wirkung bekannter Antibiotika erworben haben. In Krankenhäusern, Alten- und Pflegeheimen, vor allem aber in der Nutztiermast werden verstärkt Antibiotika eingesetzt, was den Selektionsdruck hin zu resistenten Mikroorganismen in diesen Habitaten befördert. In der Vergangenheit traten jedoch keine relevanten Ereignisse in Zusammenhang mit antibiotikaresistenten Keimen in München, im Münchner Umland, dem Kanalnetz oder der Münchner Klärwerke auf. Ein Handlungszwang hinsichtlich dieser Thematik liegt daher heute und in absehbarer Zeit nicht vor. Sollte eine Keimreduktion in den Klärwerken doch gefordert werden, wäre das Klärwerk Gut Marienhof durch die vorhandene UV-Desinfektionsanlage zur Sicherstellung der Badegewässerqualität in der Isar in den Sommermonaten gut aufgestellt. Wie die UV-Desinfektion dann im konkreten Fall zu betreiben wäre und welche Auswirkungen die Spurenstoffelimination (insbesondere mit Ozon) auf die Keime hätte, müsste dann im Rahmen von Studien / Forschungsprojekten untersucht werden. Die Ergebnisse aus dem Klärwerk Gut Marienhof würden dann auch in einer Strategie für das Klärwerk Gut Großlappen Berücksichtigung finden.

Hinweis

Im Kontext der Spurenstoffelimination soll an dieser Stelle die von der EU angedachte Art der Finanzierung einer solchen gewässerbessernden Maßnahme Erwähnung finden. Erwähnenswert ist das, da abweichend von der aktuellen Gesetzgebung nicht die Abwassereinleiter, die bei der Abwasserableitung und Reinigung anfallenden Kosten über Gebühren finanzieren sollen, sondern Hersteller von Produkten. Das im Entwurf der EU-Kommunalabwasserrichtlinie skizzierte Finanzierungsmodell über die „erweiterte Herstellerverantwortung“ stellt ein Novum dar. Wie diese Besonderheit dann von der Richtlinie in nationales Recht überführt werden soll, ist aber aus heutiger Sicht noch fraglich. Sollte sich eine vollständige Finanzierung der Investitionskosten und der Betriebskosten einer

4. Reinigungsstufe auf die Hersteller umlegen lassen, würde diese gewässerschützende Maßnahme zu keiner zusätzlichen Belastung der Gebührenzahler*innen führen. Ohne eine Finanzierung durch „Dritte“, müssten die ganzen Kosten auf die Gebührenzahler*innen umgelegt werden.

6.7 Resultierender zusätzlicher Bedarf der biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund

Unter Berücksichtigung der Bevölkerungsentwicklungen im Einzugsgebiet der beiden Klärwerke, dem Bedarf, der aus verfahrenstechnischen Anpassungen (Wegfall der Denitrifikation der Sandfilter) und der sonstigen Triebkräfte auf die Abwasserreinigungsprozesse resultiert, ergibt sich bei aktuell gültigen Grenzwerten für Stickstoff ein Bedarf für zusätzliche biologische Kapazität. Der aktuell ermittelte Bedarf setzt sich dabei wie folgt zusammen:

Bevölkerungsentwicklung (mittleres Szenario)	+360.000 EW
Wegfall der Denitrifikation in den Sandfiltern	+390.000 EW

Somit ergibt sich nach heutigem Wissenstand ein zusätzlicher Erweiterungsbedarf für den Klärwerksverbund von ca. 750.000 EW bei aktuellen Grenzwerten für Stickstoff ($N_{ges} = 13 \text{ mg/l}$). Sollten sich die Grenzwerte, wie im Entwurf der EU-Kommunalabwasserrichtlinie gefordert, drastisch verschärfen (8 mg/l oder $6 \text{ mg/l } N_{ges}$), ist die Schaffung von zusätzlichem Belebungsvolumen in beiden Klärwerken über die genannten Bedarfswerte hinaus erforderlich und muss dementsprechend in den weiteren Planungen Berücksichtigung finden.

Hinweis

Durch die rechnerischen Nachweise bzw. die Bemessungen beider Klärwerke, ist der Bedarf aus den sonstigen Triebkräften wie Temperatur oder Grenzwertverschärfung für Phosphor bereits in dem angegebenen Bedarf, der sich aus dem Wegfall der Sandfilterdenitrifikation ergibt, enthalten, s. Kapitel 7.2. Dieser ermittelte Wert, insbesondere der Anteil aus der Bevölkerungsentwicklung und der noch im Entwurf befindlichen gesetzlichen Regelungen (u. a. weitere Verschärfung der Ablaufgrenzwerte) muss regelmäßig überprüft und dann für die konkrete Planung der Projekte angepasst werden.

Der aus der Bevölkerungsentwicklung resultierende Mehrbedarf (mittleres Bevölkerungsszenario) von 360.000 EW, verursacht eine zusätzlich zu behandelnde Abwassermenge von ca. $0,7 - 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (bei Trockenwetter). Bezogen auf die aktuell behandelten Trockenwettermengen im Verbund ($3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (KLW I)) und $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (KLW II)) entspricht das einem Zuwachs von ca. 15%. Da der Verzicht der Sandfilterdenitrifikation eine rein verfahrenstechnische Maßnahme ist, fällt aus dieser keine zusätzliche Abwassermenge bzw. Fracht im Zulauf der Klärwerke an.

Teil B: Möglichkeiten der Bedarfsdeckung

Aufbauend auf den in Teil A ermittelten Bedarf, werden nachfolgend in Teil B Lösungsstrategien ermittelt, um diesen möglichst flexibel und bedarfsgerecht zu kompensieren. Angepasst an die örtlichen Randbedingungen der beiden Klärwerke wurden Studien vergeben, in denen das Potential für die Schaffung von zusätzlichen biologischen Kapazitäten in den jeweiligen Klärwerken abgeschätzt wurde (Kapitel 7.1. und 7.2.). Im Rahmen der Studien wurde ein Ablaufgrenzwert für Stickstoff (N_{ges}) von 13 mg/l angesetzt. Mögliche Grenzwertverschärfungen waren zum Zeitpunkt der Studien nicht bekannt. Diese Ergebnisse und weitere Erkenntnisse werden dann in eine flexible Ausbaustrategie (Kapitel 8) für beide Klärwerke zusammengeführt. Abgeschlossen wird der Teil B mit einer ganzheitlichen Zusammenfassung von Teil A und B.

7 Vorbefassung zur Deckung des zukünftigen Bedarfs – Studien und sonstige Befassung

In den vorherigen Kapiteln (Teil A) wurden die aktuellen und die zukünftigen Herausforderungen bei der Abwasserreinigung umfangreich dargestellt und der grundsätzliche Bedarf ermittelt. Welche Auswirkungen dieser auf die bestehende Abwasserreinigung hat und welche Wechselwirkungen damit verbunden sind, muss im Detail betrachtet werden.

Beide Klärwerke sind hochkomplexe Anlagen, an denen ständige Wartungs-, Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen vorgenommen werden müssen. Damit sollen für beide Klärwerke optimale Betriebsbedingungen geschaffen bzw. diese erhalten werden. Daher wurden aufbauend auf eigenen Betriebserfahrungen und internen Überlegungen zielgerichtete Studien durch verschiedene Ingenieurbüros angefertigt. Einige Studien wurden bereits in laufende bzw. abgeschlossene Projekte überführt (s. Kapitel 4.1). Nachfolgend sind die für die nachfolgende Ausbaustrategie wichtigsten Studien skizziert.

Hinweis

Die vor kurzem abgeschlossenen Studien in den beiden Klärwerken wurden explizit für die zukünftige Abwasserreinigungsstrategie (Kapitel 8) bearbeitet. Da auch die Befassung mit einer Anlage zur Spurenstoffelimination im Klärwerk II Gegenstand dieses Konzeptes ist, wird das Thema im letzten Unterkapitel 7.3 gesondert beschrieben.

7.1 Klärwerk Gut Großlappen - Studie zur Ermittlung des Auslastungsgrades und zur Kapazitätserweiterung bezüglich Stickstoffelimination (2020-2021)

Das Klärwerk München Gut Großlappen befand sich im Erstellungszeitraum der Studie in der Umbauphase mit eingeschränkter biologischer Kapazität. Folgende Einzelprojekte waren damals in der Umsetzung:

- Großprojekt: Erneuerung der 1. Biologischen Stufe mit Zwischenklärbecken (2014-2023)
- Errichtung eines geregelten Bypasses zur 2. Biologischen Stufe mit der Möglichkeit zur Denitrifikation des Rücklaufschlammes in der 2. Biologischen Stufe
- Integration der Prozesswasserbehandlung in ein Nachklärbecken der 2. Biologischen Stufe (bedeutet: Wegfall eines Nachklärbeckens für die neue Zentratbehandlung; s. Kapitel 4.1)
- Umsetzung der wasserrechtlichen Vorgabe: Getrennte Ableitung des Zentrates aus dem Heizkraftwerk Nord (HKWN) zum Klärwerk Gut Großlappen mit Behandlung in der Zentratbehandlungsanlage
- Wiedereingliederung der Belebungsbecken 9 und 10 der 2. Biologischen Stufe in den Hauptstrom (bedeutet: Mehr Belebungsvolumen für die 2. Biologische Stufe)

Ermittlung des theoretischen Ist-Zustands (2023)

Alle sich in der Umsetzung befindlichen Projekte und Maßnahmen wurden für sich betrachtet und hinsichtlich der Auswirkungen und Effektivität für das Klärwerk separat ermittelt und bewertet. Aber offen bzw. unklar war, wie sich die Maßnahmen im Zusammenspiel mit der vorhandenen komplexen Verfahrenstechnik, den anderen Projekten und den biologischen Prozessen beeinflussen. Ein Zwischenziel der Studie war es, die Auswirkungen der sich in der Planung bzw. im Bau befindlichen Projekte (s. Auflistung oben) im Hinblick auf die Gesamtkapazität und Reinigungsleistung des Klärwerks zusammenzuführen und zu bewerten. Da zum Zeitpunkt der Studie die Projekte noch nicht abgeschlossen waren und somit reale Daten (Messergebnisse) fehlten, mussten Messergebnisse aus dem Jahr 2018 als Basis genutzt werden. Mit diesen Daten / Ergebnissen und den ermittelten Angaben der einzelnen Projekte konnte ein theoretischer Ist-Zustand für das Jahr 2023 abgeleitet werden. Dieser wurde anschließend in ein vorhandenes mathematisches Simulationsmodell (Software: SIMBA# des ifak e. V.) überführt. Dieser Zwischenschritt war notwendig, um eine Ausgangslage (Ist-Situation, 2023) für die Ermittlung des zukünftigen Bedarfs zu erhalten. Nachfolgend sind die wichtigsten Ergebnisse / Erkenntnisse der Studie für den theoretischen Ist-Zustand (2023) aufgelistet:

- Alle bisher getroffenen Einzelmaßnahmen/ Projekte waren im Hinblick auf die heutigen Abwasserfrachten sehr wirksam.

- Durch die bereits hohe Zulaufbelastung (insb. Stickstoff) sind diese aber langfristig nicht ausreichend. Hinweis: Die Bemessungswerte für die Auslegung der Erneuerung der 1. Biologischen Stufe aus der Entwurfsplanung von 2007 wurden bereits erreicht.
- Die Nitrifikationskapazität ist in der 2. Biologischen Stufe bereits jetzt auch bei Nutzung der Belebungsbecken 9 und 10 an der Belastungsgrenze.
- Ammoniumspitzen im Ablauf können nicht ausgeschlossen werden (Prozessfaktor für die Nitrifikation zu gering). (Anmerkung: Der Prozessfaktor berücksichtigt Schwankungen in der Wachstumsrate, pH-Wert, Spitzenablaufwerte etc. Je höher dieser ausfällt, desto weniger anfällig sind die biologischen Prozesse gegenüber Störungen)
- Die 2. Biologische Stufe muss zukünftig als Engpass gesehen werden.
- Die Dosierung einer Kohlenstoffquelle (z. B. Methanol) auf die Sandfilter ist weiterhin erforderlich, um den rechnerischen Nachweis zur Einhaltung der Grenzwerte zu erbringen.
- Kapazitäten für zukünftige Belastungssteigerungen (u. a. Bevölkerungsentwicklung oder Grenzwertverschärfungen) sind mit der heutigen Anlage nicht vorhanden.
- Die Nachklärbecken weisen einen Optimierungsbedarf auf. Somit bestätigte die Studie die intern angestellten Überlegungen (vgl. Kapitel 6.1).

Entwicklung von Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung der Stickstoffelimination

Der Ist-Zustand (2023) wurde noch um weitere kleinere Maßnahmen / Sondereffekte ergänzt. Diese kleinen Maßnahmen befinden sich bereits in Umsetzung bzw. sind geplant (Optimierung der Vorklärung, Aktivierung Schlammkreislauf 2, Denitrifikation im Nachklärbecken). Um diese Punkte zu berücksichtigen, wurde aus dem Ist-Zustand und den kleinen Maßnahmen eine Grundvariante 0 geschaffen. Diese Variante 0 wurde durch Berechnungen mittels angepasster Bemessungsansätze (nach DWA-A 131; 2015) und dynamischer Simulationen (Software: SIMBA#) in Bezug auf ihre Kapazität zur Stickstoffelimination quantifiziert. Aufbauend darauf wurden Varianten für eine zusätzliche Kapazität bei der Stickstoffelimination entwickelt (s. Abbildung 14) und berechnet, wie groß die jeweilige Kapazitätssteigerung pro Variante ist. Für die Potentialabschätzung wurden alle bereits bekannten bzw. zu erwartenden Triebkräfte und Randbedingungen (u. a. Wegfall der Sandfilterdenitrifikation und eine Abwassertemperatur von 12°C) berücksichtigt (s. Kapitel 6). Da im Klärwerk I nur begrenzte Freiflächen zur Verfügung stehen, wurden die Varianten so entwickelt, dass sie sich eher auf den Umbau oder die Umnutzung bestehender Becken konzentrierten, große Neubaumaßnahmen wurden hier nicht weiterverfolgt. Der Fokus lag eher darauf, welches Potential sich kurz- bis mittelfristig noch zur Kapazitätssteigerung akquirieren lässt. Große Erweiterungen der biologischen Kapazitäten wurden in einer separaten Studie im Klärwerk II entwickelt, wo ausreichend Platz für umfangreichere Neubauten vorhanden ist.

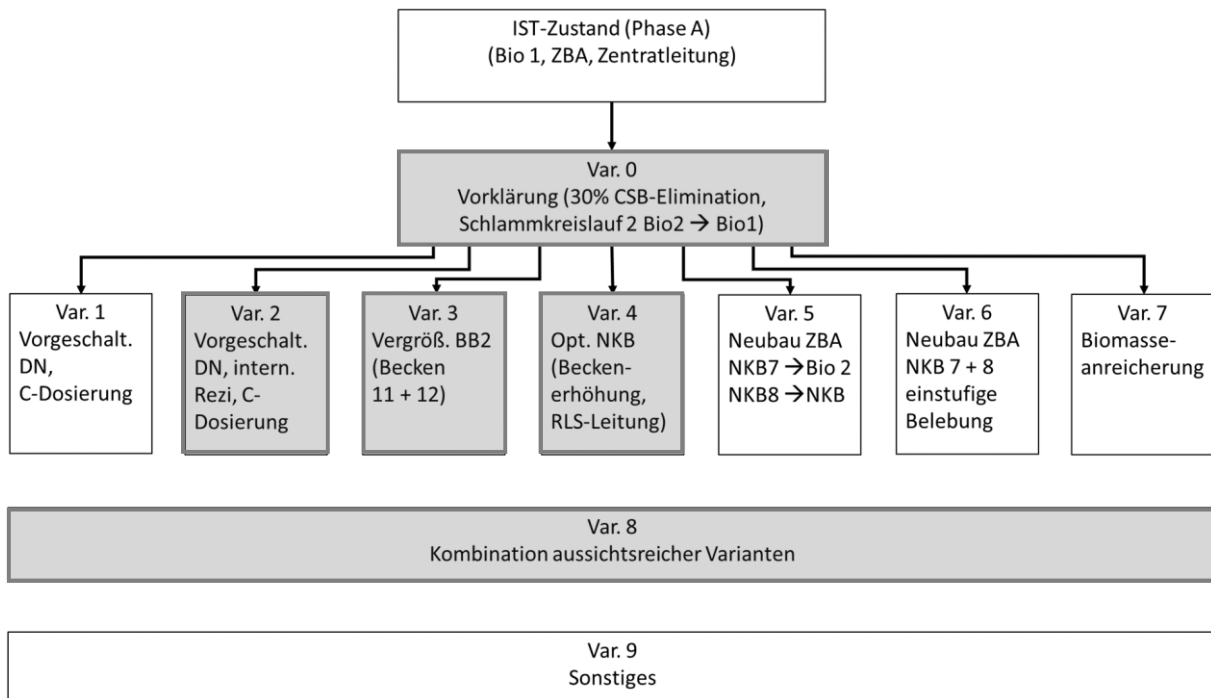


Abbildung 14: In der Studie untersuchte und bewertete Varianten im Klärwerk I. Grau hinterlegte Varianten wurden intensiver untersucht und in unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten (Variante 8) zusammengefasst.

Alle in Abbildung 14 nicht „grau“ hervorgehobenen Varianten wurden berechnet, aber aufgrund der unverhältnismäßig hohen technischen Herausforderungen oder des betrieblichen Mehraufwands bei geringem Benefit bzw. des hohen finanziellen Aufwands nicht näher untersucht. Stattdessen erfolgte in Untervarianten der Variante 8 eine Kombination verschiedener Maßnahmen aus den Varianten 1 bis 4. Als zielführende Maßnahmen wurden die folgenden Varianten / Kombinationen angesehen:

- Variante 0: Verbesserung der Trennung von Schlamm und Wasser in der Vorklärung (VKB) durch Schaffung eines zusätzlichen Vorklärbeckens sowie eine betriebliche Optimierung der Klärschlammkreisläufe.
- Variante 2: Optimierung der Denitrifikation (DN) in der 2. Biologischen Stufe durch den Einsatz von Methanol (C-Dosierung) und einer bedarfsweisen Rezirkulation (Rezi).
- Variante 3: Erweiterung der 2. Biologischen Stufe (BB2) durch den Neubau von zwei zusätzlichen Belebungsbecken (11+12).
- Variante 4: Optimierungen an den bestehenden Nachklärbecken (NKB) sowie der Neubau eines zusätzlichen Nachklärbeckens.
- Variante 8: Modulare Kombinationsmöglichkeiten aus den Varianten 0, 2, 3 und 4.

Anmerkung: Die Variante 9 „Sonstiges“ umfasst einen Maßnahmenkatalog zur Optimierung (Messprogramm zur Bewertung der Gesamtanlage) sowie weitere unkonventionellere Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung. Im Detail wurden ein Wirbelbettreaktor zur nachgeschalteten Denitrifikation sowie das IFAS-Verfahren (Integrated Fixed Film Activated Sludge) und eine rudimentäre Membranbelebung betrachtet und deren Effektivität

abgeschätzt. Abweichend von den übrigen Varianten wurden diese jedoch nur überschlägig berechnet. Auf eine umfangreiche Berechnung mit Bewertung wurde an dieser Stelle verzichtet, da bei diesen Verfahren teils Erfahrungen im Großmaßstab fehlten, die dauerhafte Prozessstabilität nicht gewährleistet werden konnte oder sonstige technische oder wirtschaftliche Aspekte gegen eine tiefere Befassung mit den Sonderverfahren sprachen.

Die Ergebnisse der stationären und dynamischen Berechnungen sind in Tabelle 4 dargestellt. Für die Kombinationsvarianten 8.X wurde auch noch einmal der Einfluss der Mischwasserzuflussmenge Q_m auf den zu erwartenden Kapazitätzuwachs hervorgehoben (Q_m : 9 m³/s bzw. 10 m³/s). Anhand der beiden unterschiedlichen Mischwasserzuflüsse wird der in Kapitel 5.1 beschriebene Interessenskonflikt zwischen Q_m und biologischer Leistungsfähigkeit (TS-Gehalt in der Belebung) deutlich.

Die Ergebnisse in der Tabelle 4 zeigen zum Teil deutliche Abweichungen zwischen den stationären Berechnungen und denen der Simulation. Das mag auf den ersten Blick irritierend wirken, lässt sich aber damit erklären, dass mit der Simulation die Berechnung über Tagesganglinien (Konzentrationen und Mengen im Zulauf) und die Berücksichtigung der schwankenden Abwassertemperatur (10,8°C bis 19,2°C – Winter / Sommer) möglich sind. Im Gegensatz dazu, stehen die Eingangsparameter bei der stationären Berechnung Jahresmittelwerte (85%-Perzentile) und eine feste Temperatur von 12°C. Unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren ergeben sich dann diese Abweichungen. Die Erfahrung aus vorangegangenen Studien mit Simulationen hat beim Vergleich mit den tatsächlich gemessenen Werten im Nachgang gezeigt, dass die Realität zwischen den beiden Ergebnissen liegt, aber eher zu den Simulationsergebnissen tendiert.

Weiter fällt in der Tabelle 4 auf, dass bei einigen Varianten auf eine Simulation verzichtet wurde. Das lässt sich damit erklären, dass nur die Varianten durch eine Simulation verifiziert wurden, die das größte Potential erwarten ließen.

Tabelle 4: Darstellung der zu erwartenden Kapazitätssteigerungen (statische Berechnung und dynamische Simulation) bezogen auf den Ist-Zustand (2023) im Klärwerk I.

Kapazitätsreserve	Stationäre Berechnungen	Simulation
Temperatur	12 °C	Temperaturganglinie variiert zwischen 10,8 und 19,2 °C
Variante 0		
Grundlage		
$Q_M = 9 \text{ m}^3/\text{s}$	IST-5%	IST+18%
Variante 1=2 *		
C-Dos. + int. KL Bio 2		
$Q_M = 9 \text{ m}^3/\text{s}$	IST+9%	IST+40%
Variante 3		
Erweiterung Bio 2 um BB 11 und 12		
$Q_M = 9 \text{ m}^3/\text{s}$	IST+15%	IST+37%
Variante 8.1		
Var. 0 + 2 + 4.4 (Opt. NKB)		
$Q_M = 9 \text{ m}^3/\text{s}$	IST+21%	Nicht simuliert
$Q_M = 10 \text{ m}^3/\text{s}$	IST+9%	Nicht simuliert
Variante 8.2		
Var. 0 + 2 + 4.5 (Opt. NKB + 1 NKB neu)		
$Q_M = 9 \text{ m}^3/\text{s}$	IST+28%	Nicht simuliert
$Q_M = 10 \text{ m}^3/\text{s}$	IST+21%	Nicht simuliert
Variante 8.3		
Var. 0 + 2 + 3 + 4.5 (Opt. NKB + 1 NKB neu)		
$Q_M = 9 \text{ m}^3/\text{s}$	IST+44%	Nicht simuliert
$Q_M = 10 \text{ m}^3/\text{s}$	IST+37%	IST+46%

*Anmerkung: Die Berechnungen ergaben eine Ergebnisgleichheit der Varianten 1 und 2.

In welcher Reihenfolge die Einzelschritte in den Varianten 8 erfolgen können, ergibt sich aus der zeitlichen Umsetzbarkeit, welche wiederum mit dem Umfang der Umbaumaßnahmen zusammenhängt. Alle Maßnahmen (Varianten) werden nach Abwägung der Möglichkeiten in beiden Klärwerken und des tatsächlichen Bedarfs im nachfolgenden Kapitel 8 zu einer möglichen bedarfsgerechten und flexiblen Gesamtstrategie zusammengeführt.

Fazit der Studie

- Die Leistung der Nachklärung ist limitierend bei hohen Feststoffgehalten in der 2. Biologischen Stufe (aufgrund des in Kapitel 5.4 dargestellten Konflikts Trockenwetterkapazität vs. hohe Mischwassermengen).
- Nach Inbetriebnahme der 1. Biologischen Stufe besteht dort durch verstärkte Rezirkulation großes Potential für die Denitrifikation.

- Der „theoretische Ist-Zustand“ (ca. ab 2023) bietet jedoch keine Kapazitätsreserve, bzw. ist nicht ausreichend, um gerade bei Spitzenbelastungen auf die Denitrifikation in den Sandfiltern gänzlich verzichten zu können.
- Ein Neubau von Nachklärvolumen oder Optimierung der bestehenden Becken zu weiteren Kapazitätssteigerung ist sehr sinnvoll.
- Ein Neubau von Belebungsolumen bei Bedarf ist ebenfalls zielführend.
- Eine Methanoldosierung in der 2. Biologischen Stufe bietet ein attraktives Kosten/Nutzen zur Leistungssteigerung der Kläranlage.
- Der Bau eines nachgeschalteten Reaktors zur Denitrifikation ist möglich und ggf. ebenfalls zielführend.
- Die berechneten Effekte einzelner Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung der Anlage können wegen möglicher gegenseitiger Beeinflussungen nicht einfach aufsummiert werden.
- Durch die kurz- bis mittelfristigen Umnutzungen / Umbauten im Bestand gibt es im Klärwerk I diverse Möglichkeiten die biologische Leistungsfähigkeit der Anlage zu erhöhen. Der in Kapitel 6 skizzierte Bedarf für den Verbund lässt sich damit aber nicht gänzlich decken. Für den Klärwerksverbund ist es daher zwingend erforderlich, dass zur Steigerung der biologischen Kapazitäten auch Maßnahmen im Klärwerk II ergriffen werden.

7.2 Gut Marienhof

Im Klärwerk II wurden ebenfalls Untersuchungen durchgeführt. Die hier aufgeführten Studien werden in der strategischen Planung mitberücksichtigt.

7.2.1 Studie zur kurz- bis mittelfristigen Optimierung der Stickstoffelimination am Klärwerk Gut Marienhof (2014-2015)

Aufgrund der im Jahr 2014 angelaufenen Baumaßnahmen an der 1. Biologischen Stufe am Klärwerk I und den damit verbundenen Betriebseinschränkungen wurde verstärkt Abwasser zum Klärwerk II umgeleitet. Besonders der durch das Zentrat aus der Schlammmentwässerung am Heizkraftwerk Nord höher belastete Abwasserstrom, führte zu einer kritischen Belastungssituation am Klärwerk II und die Einhaltung der wasserrechtlichen Grenzwerte war teilweise nicht mehr gesichert. In einer Studie wurde die kritische Auslastungssituation des Klärwerk II bestätigt und Sofortmaßnahmen entwickelt, um die nachgeschaltete Denitrifikation im Sandfilter des Klärwerk II zu entlasten.

Perspektivisch erfolgte zudem die Entwicklung und Bewertung verschiedener Optionen, die Stickstoffelimination innerhalb der Belebungsbecken zu verbessern.

Einige Maßnahmen wurden bereits umgesetzt. Für weitere Maßnahmen laufen noch Voruntersuchungen, um mögliche Kapazitätserweiterungen abzuschätzen.

7.2.2 Studie zur langfristigen Kapazitätserweiterung im Klärwerk II (2021-2023)

Im Zeitraum von Frühjahr 2021 bis Herbst 2023 wurde das Klärwerk Gut Marienhof ebenfalls hinsichtlich möglicher Potentiale und Auslastungsgrößen untersucht und bewertet. Abweichend von der Studie im Klärwerk I wurde hier auf die Erstellung eines dynamischen Simulationsmodells (SIMBA#) verzichtet. Die nachfolgend vorgestellten Berechnungen fanden mittels einer statischen Berechnungsmethode (design2treat) statt. Diese Methode ist für eine Potentialabschätzung im Konzeptstadium mit einem zeitlich weitreichenden Blick in die Zukunft ausreichend.

Die Variantenentwicklung zur Bedarfsdeckung erfolgte auf Basis der Betriebsdaten bei einem Grenzwert von 13 mg/l (N_{ges}) und der erforderlichen Zwangspunkte, die sich aus den Grundanforderungen an die Klärwerke ergeben. Die Grundanforderungen lauten wie folgt:

- Berücksichtigung der ermittelten Zielkapazität von ca. 1.200.000 EW. Die Zielkapazität setzt sich aus der vorhandenen Kapazität von 1.000.000 EW + 200.000 EW (rund der Hälfte der zu erwartenden Bevölkerungsentwicklung zzgl. Sicherheitsfaktoren zum Zeitpunkt der Studie) zusammen. Durch bemessungsrelevante Sicherheitsfaktoren bei der Zielkapazität sind auch notwendige verfahrenstechnische Reserven für Revisionen etc. enthalten.
- Minimierung der Speicherraumbewirtschaftung im Kanalnetz zur Glättung der Frachtspitzen.
- Verzicht der nachgeschalteten Denitrifikation im Sandfilter. (wie bereits in Kapitel 6.1 beschrieben, führt diese Maßnahme dazu, dass zusätzliches Belegungsvolumen erforderlich sein wird. Die Größenordnung der Kompensationsmaßnahme beträgt ca. 260.000 EW)
- Verzicht bzw. Minimierung der internen Rückpassmenge in den Zulauf
- Einhaltung von bereits erforderlichen und zukünftigen Grenzwerten / Triebkräften analog zu Studie Klärwerk I
- Implementierung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination in die bestehende Verfahrenstechnik

Hinweis

Mit einem statischen Bemessungsprogramm und den entsprechenden Bemessungsregeln (Stand 2022) war es nicht möglich, dass das Klärwerk Gut Marienhof rechnerisch die Grenzwerte einhalten konnte. Das liegt zum einen an der Denitrifikation in den Sandfiltern, zum anderen kommt die zweistufige biologische Reinigung hinzu. Beide Faktoren lassen sich mit den gängigen Bemessungsansätzen (DWA A 131 oder HSG) nicht abbilden. Beides führt dazu, dass rechnerisch die vorab festgelegten Grenzwerte nicht eingehalten werden können. Um diese einzuhalten, entsteht ein theoretischer „zusätzlicher Bedarf“ an biologischer Kapazität (inkl. Sicherheitsfaktoren) – der in diesem Fall dann als Unterdeckung bezeichnet wird. Die nachweiskonforme Unterdeckung liegt im Klärwerk II bei ca. 260.000 EW. Ohne Sicherheitsfaktoren lag die MSE-interne Schätzung (vgl. Abbildung 10 in Kapitel 6.1) bei ca. 170.000 EW. Mit dieser theoretischen Kapazität kann der rechnerische Nachweis für das

Klärwerk erfolgen. Die jahrelange Erfahrung mit dem Sandfilter hat aber auch gezeigt, dass durch die Denitrifikation und die Betriebsweise des Klärwerks die Grenzwerte in der Realität sicher eingehalten werden können.

Durch den Wegfall der Möglichkeit zur Denitrifikation im Sandfilter sowie durch die erwartete Bevölkerungsentwicklung (mittleres Szenario) ergibt sich für das Klärwerk II ein zusätzlicher Bedarf von ca. 460.000 EW (260.000+200.000 EW).

Eine Verschärfung der aktuell gültigen Ablaufgrenzwerte insbesondere für Stickstoff, wie es gerade in der EU diskutiert wird, ist dabei nicht berücksichtigt, allerdings finden mögliche Grenzwertverschärfungen (bis 8 mg_{N_{ges}}/l) in der Gesamtstrategie dieses Konzepts (Kapitel 8) Berücksichtigung.

Ermittlung der Ist-Situation – Grundvariante Bestandsklärwerk

Zur Entwicklung der Varianten ist es notwendig, eine gemeinsame Ausgangslage zu definieren. Hierfür wurde die Kläranlage im Bestand als Grundlage festgesetzt. Für ein optimales Zusammenspiel von bestehendem Klärwerk II und der Erweiterung muss eine Annahme hinsichtlich der zukünftigen Abwasserverteilung innerhalb des Klärwerks II getroffen werden. Unter Annahme einer Steigerung der Fracht durch die Bevölkerungsentwicklung um ca. 200.000 EW (entspricht einem realen Frachtzuwachs bezogen auf die heutige Belastung von ca. 20 %) wird die Bestandsanlage mit ca. 62 % der zukünftigen Abwassermenge/-fracht beaufschlagt. Mit der Zulauffracht ist dann ab Endausbau das bestehende Klärwerk in der Lage, die Grenzwerte sicher einzuhalten. Für die Behandlung der übrigen 38 % muss zusätzliches Belebungs- und Nachklärbeckenvolumen geschaffen werden.

Entwicklung von Varianten zur Kapazitätssteigerung

Aufbauend auf der Grundvariante wurden verschiedene Varianten zur Steigerung der biologischen Kapazitäten entwickelt. Um die Vergleichbarkeit der Varianten hinsichtlich der Stickstoffelimination zu bewerten, wurden bei der Berechnung für alle Varianten die gleichen Zulauf- bzw. Ablaufkonzentrationen sowie die Ausbaugröße von 1,2 Mio. EW vorgegeben. Dieser Wert wurde als Annahme für die Studie gewählt, da die zusätzliche Fracht aus der Bevölkerungsentwicklung auf beide Klärwerke grob aufgeteilt wurde. Bei den weiteren Planungsschritten sind, wie in Kapitel 6 dargestellt, die Bevölkerungsentwicklung und die weiteren Randbedingungen noch einmal zu überprüfen und zu aktualisieren.

Die Stellglieder für die Varianten lagen in der Bemessung/Größe des gewählten Verfahrens zur Abwasserreinigung. Nachfolgende Varianten zur Deckung der zusätzlichen Zulauffrachten wurden untersucht:

- Variante 1: Proportionale Erweiterung der zweistufigen Biologien auf der Freifläche neben dem Klärwerk
- Variante 2.1.1: Erweiterung durch eine einstufige konventionelle biologische Stufe auf der Freifläche neben dem Klärwerk
- Variante 2.1.2: Erweiterung durch einen SBR (sequencing batch reactor) für den Mischwasserfall auf der Freifläche neben dem Klärwerk

- Variante 2.2: Neues Belebungsbecken auf der Freifläche neben dem Klärwerk und Mitbenutzung der alten Nachklärbecken
- Variante 3: Parallel angeordneter Membranbelebungsreaktor (MBR) auf der Freifläche neben dem Klärwerk
- Variante 4.1: Umbau der bestehenden Anlage auf eine einstufige Biologie ohne die Ertüchtigung der Nachklärbecken
- Variante 4.2: Umbau der bestehenden Anlage auf eine einstufige Biologie mit Ertüchtigung der Nachklärbecken
- Variante 6: Erweiterung der 2. Biologischen Stufe und Neubau der Nachklärbecken. Dabei sind mehrere Untervarianten 6a, b, c möglich. Die Varianten unterscheiden sich lediglich darin, wie und wo das zusätzliche Belebungsvolumen zu schaffen ist: entweder auf der Freifläche, durch Umnutzung dann überflüssiger „alter“ Nachklärbecken als Belebungsbecken oder auf der Fläche, die durch den Rückbau von „alten“ Nachklärbecken geschaffen wird.

Da bei allen Varianten das gleiche Reinigungsziel der Gesamtanlage vorgegeben war, wurden weitere Kriterien zur Findung einer bzw. zweier Vorzugsvarianten herangezogen. Mittels einer Multikriterienanalyse wurden zwei Vorzugsvarianten ausgewählt. Neben technischen standen auch betriebliche Kriterien im Fokus der Bewertung. Dazu zählten bspw. die Einbindung der Erweiterung in den Bestand, die Möglichkeit eines modularen Ausbaus, Prozessstabilität, Realisierung der Maßnahmen im laufenden Klärwerksbetrieb oder die Implementierung einer 4. Reinigungsstufe in die Verfahrenstechnik. Bei der späteren detaillierten Betrachtung der beiden Vorzugsvarianten erfolgte auch eine Bewertung der Investitions- und Betriebskosten.

Weitere verfahrenstechnische Erkenntnisse nach der Bemessung (Auslegung der Erweiterung)

Um den Bemessungsnachweis mit der gewählten statischen Berechnungsmethode zu erbringen, ist rechnerisch bei allen Varianten der Einsatz einer zusätzlichen Kohlenstoffquelle (Methanol) erforderlich. Dies liegt daran, dass bei der Bemessung darauf geachtet wurde, das Verhältnis zwischen Denitrifikationsvolumen und Belebungsvolumen V_D/V_{BB} auf praxismäßige Werte kleiner/gleich 0,5 zu halten. Zwar lässt sich das V_D/V_{BB} -Verhältnis auch durch Bypässe um die Vorklärbecken verringern. Dabei werden aber derart viele Abfiltrierbare Stoffe (AfS) in die 2. Biologische Reinigungsstufe geleitet, dass das gesamte Beckenvolumen rechnerisch massiv ansteigt. Eine Ausnahme bilden zwei Untervarianten der Variante 6. (Anmerkung: Es ist im späteren Betrieb des Klärwerks davon auszugehen, dass die, aus der Berechnung hervorgehenden, prognostizierten Methanolmengen deutlich kleiner ausfallen werden. Neben ökologischen Aspekten ist die MSE auch aus wirtschaftlichen Gründen bestrebt, den Einsatz von Methanol in der biologischen Reinigungsstufe durch angepasste Betriebsweisen der Klärwerke auf ein Minimum zu reduzieren und eher die im Abwasser enthaltenen Kohlenstoffverbindungen effizient zu nutzen.)

Ferner war auffällig, dass die MBR-Variante als Anbau an die Bestandskläranlage keine zufriedenstellenden Ergebnisse brachte. Generell ist der Einsatz von Membrantechnologie mit höheren Investitions- und Betriebskosten verbunden. Die Vorteile des MBR-Verfahrens, allen

voran die deutlich verbesserte Reinigungsleistung, kommen jedoch durch die Vermischung des Ablaufs mit dem der Bestandanlage nicht zur Geltung. Die MBR-Variante als Ergänzung zum bestehenden Klärwerk wurde daher nicht weiterverfolgt.

Nach Abwägung aller Pro und Contra der Varianten wurden die beiden nachfolgenden Varianten als zielführend für die strategische Planung der Abwasserreinigung bis 2040 gewählt.

Vorzugsvarianten

Erweiterung durch eine einstufige konventionelle Anlage auf der Freifläche neben dem Klärwerk (Variante 2.1.1)

Diese Variante kann im laufenden Kläranlagenbetrieb, ohne die Errichtung größerer Provisorien, auf der Freifläche realisiert werden. Bei der Kapazitätserweiterung handelt es sich um eine einstufige Biologie und eine Nachklärung (zwei Rundbecken; Abbildung 15). Die Biologie wird parallel zum Bestand als 3er-Kaskade ausgelegt.

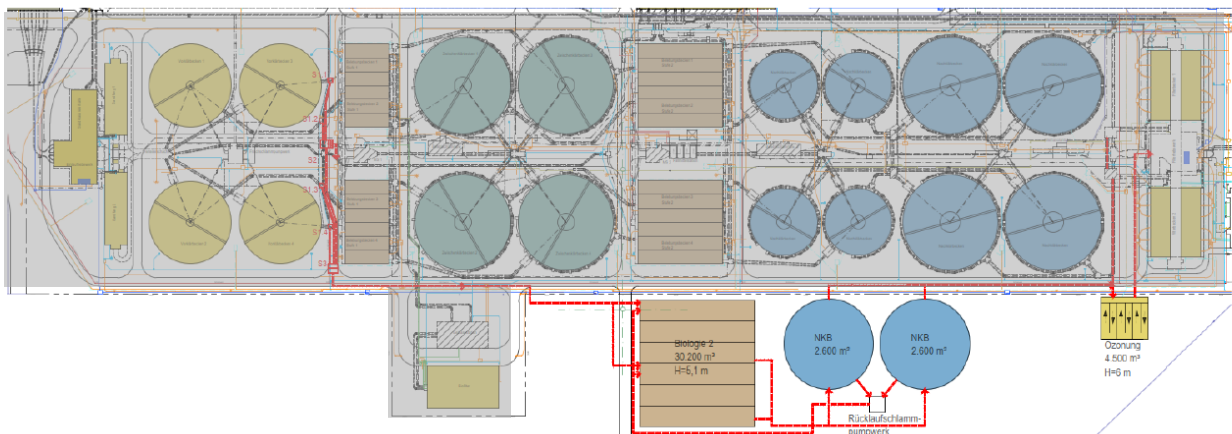


Abbildung 15: Darstellung einer Vorzugsvariante zur Steigerung der biologischen Kapazitäten im Klärwerk II (grau hinterlegt der Bestand). Hier Variante 2.1.1- Einstufige Biologie und zwei Nachklärbecken auf der Freifläche neben dem Klärwerk.

Vorteile dieser Variante sind, neben einer einfachen Anlagenkonfiguration und dem hohen Maß an Prozessstabilität eines einstufigen Klärwerks, eine relativ autarke Umsetzung während dem laufenden Betrieb. Im direkten Vergleich mit der anderen Vorzugsvariante zeichnet sich diese Variante durch eine schnellere Realisierbarkeit aus. Mit Ausnahme der Anschlussmöglichkeit an die Bestandsanlage hat diese Variante keine weiteren Zwangspunkte auf der Freifläche.

Nachteilig an dieser Variante ist die Schwierigkeit, den benötigten Abwasserstrom aus den vier Straßen der Bestandsanlage abzuführen, ohne dabei die Gleichverteilung des Abwassers auf die Straßen der Bestandsanlage zu beeinträchtigen. In der Studie wurden dazu Lösungen erarbeitet, welche jedoch aufwändig und hinsichtlich der Leitungsführung evtl. problematisch sind sowie Betriebseinschränkungen während der Baumaßnahmen mit sich bringen.

Erweiterung der 2. Biologischen Stufe und Neubau der Nachklärbecken (Variante 6.0)

Diese Variante zeigt einen umfassenden Umbau der Kläranlage im Bereich der Nachklärbecken. Hierbei werden im ersten Schritt mindestens vier Nachklärbecken mit einem Rücklaufschlammumpwerk auf der Freifläche neu errichtet. Im zweiten Schritt werden die alten Nachklärbecken zurückgebaut. Auf der freiwerdenden Fläche wird anschließend die biologische Stufe um zwei Belebungsbecken erweitert (Abbildung 16).

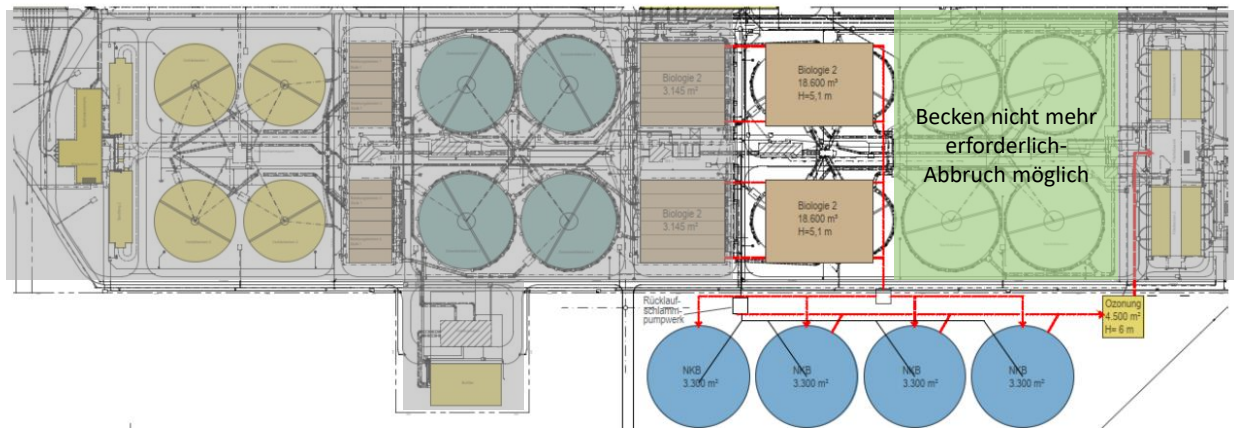


Abbildung 16: Darstellung einer Vorzugsvariante zur Steigerung der biologischen Kapazitäten im Klärwerk II (grau hinterlegt der Bestand). Hier Variante 6.0 – Neubau von Nachklärbecken auf der Freifläche und Errichtung von zusätzlichen Belebungsbecken im Bestand.

Die hier skizzierte Variante hat im direkten Vergleich zu der anderen Vorzugsvariante einige Vorteile. Neben einer komplett neuen Nachklärstufe (nach aktuellem Stand der Technik) bringt die einheitliche Beschickung der 2. Biologischen Stufe betriebliche Vorteile. Es ist keine Schaffung eines Rohabwasserabzweigs erforderlich, da die bisherige Straßenführung beibehalten wird. Ebenso bleibt das Verfahren homogen, d. h. der gesamte Abwasserstrom wird nach zweistufigem biologischen Reinigungsverfahren behandelt. Durch den stufenweisen Ausbau (erst neue Nachklärbecken, dann Erweiterung der Belebungsbecken) kann nach Inbetriebnahme der neuen Nachklärbecken bereits ein höherer TS-Gehalt in der „alten Biologie“ eingestellt werden. Somit kann das Klärwerk bereits ab diesem Zeitpunkt theoretisch mehr Fracht behandeln. Ein letzter großer Vorteil dieser Variante liegt in der Flexibilität. Das Belebungsvolumen kann zu einem späteren Zeitpunkt so ermittelt werden, dass es optimal an die Bedürfnisse (u. a. Bevölkerungsentwicklungen oder Grenzwertverschärfungen) angepasst wird. Die Freifläche im Bereich der abzureißenden Nachklärbecken bietet dafür ausreichend Potential.

Nachteilig sind die Betriebseinschränkungen bei der Anbindung der neuen Nachklärbecken, welche in ihrem Ausmaß aber vergleichbar mit denen aus der anderen Vorzugsvariante (2.1.1) sind. Im Vergleich der benötigten Umsetzungszeit dieser Variante mit der anderen Vorzugsvariante ist mit etwa einem Jahr längerer Projektlaufzeit aufgrund der zwei zwangsweise aufeinanderfolgenden Bauabschnitte zu rechnen.

Anmerkung: Die Untervarianten (6a, 6b und 6c) stellen die Umnutzung der bestehenden Nachklärbecken als zusätzliches biologisches Volumen dar. Ob dies wirtschaftlich und verfahrenstechnisch sinnvoll ist, kann jedoch erst nach vertiefter Betrachtung im Rahmen der Vorplanung entschieden werden.

Fazit der Studie

Beide Vorzugsvarianten haben gewisse Vor- und Nachteile. Der Kapazitätswachstum für das Klärwerk und die zu erwartenden Ablaufwerte sind als gleich zu bewerten. Nach eingehender Betrachtung der beiden Vorzugsvarianten zeigen die Resultate, dass sie realisierbar sind und dass die biologische Reinigungskapazität des Klärwerks Gut Marienhof v. a. hinsichtlich der Stickstoffelimination den derzeitigen Anforderungen entsprechend gesteigert werden kann. Zur Umsetzbarkeit der Vorzugsvarianten spielt der Platzbedarf der Kapazitätserweiterung eine maßgebende Rolle. Diesbezüglich können keine Einschränkungen festgestellt werden, da genügend Freifläche für die Kapazitätserweiterung zur Verfügung steht. Der Anschluss der Erweiterungen an das Bestandsklärwerk ist ebenfalls möglich, erfordert aber wegen unvermeidbaren Rohrleitungsquerungen und einhergehenden baulichen Maßnahmen eine weitere Prüfung der Lage der Bestandskanäle.

Für die weitere Planung ist ebenfalls die Integration der Prozessluft- und der Energieversorgung in die Bestandsysteme zu prüfen und zu berücksichtigen.

Nach aktuellen Erkenntnissen stellt der Anschluss sowohl an die Kapazitätserweiterung als auch an die Bestandskläranlage keine größeren Herausforderungen dar. Es sollte jedoch auch hier eine Prüfung der Lage der Bestandskanäle durchgeführt sowie die Integration der Energieversorgung in weiteren Untersuchungen betrachtet werden.

In der nachfolgenden Tabelle 5 sind beide Varianten hinsichtlich ausgewählter Kriterien gegenübergestellt.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der untersuchten Vorzugsvarianten aus der Studie (Klärwerk II).

Kategorien	Variante 2.1.1		Variante 6a	
	Neubau	Bestand	Neubau	Umnutzung Bestand*
Volumen Biologie	30.216 m ³			14.440 m ³
Fläche Nachklärbecken	5.079 m ²		13.192 m ²	
Gesamtflächenverbrauch	12.200m ²			13.200 m ²
Anteil Gesamtfracht	38,5%	61,5%	100,0%	
Methanolbedarf	0 m ³ /d	9,8 m ³ /d	15,8 m ³ /d	
Sauerstoffeintrag	39,3 t/d	24,3 t/d	63,2 t/d	
Betriebsart	zweistufige Bestandsanlage einstufige Kapazitätserweiterung		zweistufige Biologie einstufige Nachklärung	
Vorteile	Umsetzbarkeit bei laufendem Kläranlagenbetrieb gegeben Vertraute und robuste Verfahren Vorhandene Qualifikation des Personals Anschluss an Bestand sowie Errichtung einer Ozonanlage möglich Kein Rückpass notwendig			
	Erweiterung kann weitestgehend parallel zur Bestandsanlage erfolgen Problemlose Umsetzbarkeit bei laufendem Kläranlagenbetrieb		Schrittweise Kapazitätserweiterung durch Umbau einzelner Becken Eröffnung neuer Nutzbarkeiten durch Stilllegung der Bestandsnachklärbecken Neue einstufige NKB nach Stand der Technik	
Nachteile	Modularer Ausbau nur bedingt möglich zusätzliche Ertüchtigung der alten NKB erforderlich Flächenverbrauch		Umsetzung bei laufendem Kläranlagenbetrieb erfordert sorgfältige Planung	

* Zu schaffendes biologisches Volumen im Bereich der nicht mehr erforderlichen "alten" Nachklärbecken. Entweder durch Umnutzung der "alten" Nachklärbecken als Belebungsbecken oder durch Neubau von Belebungsbecken.

Die beiden Vorzugsvarianten werden als mögliche Lösungswege in die weiteren Planungen der MSE überführt. Abhängig von den aktuellen Entwicklungen in Bezug auf die EU-Kommunalabwasserrichtlinie (insb. Grenzwertverschärfungen für N_{ges}) besteht in den weiteren Planungsschritten noch die Möglichkeit, dass sich in einer vertieften Betrachtung zusätzliche Varianten ergeben, die zum Zeitpunkt der Studie nicht berücksichtigt wurden. Mittels Multikriterienanalyse werden diese potentiellen „neuen“ Varianten und die beiden Vorzugsvarianten aus der Studie miteinander verglichen und die bestmögliche Lösung ermittelt. Der Stadtrat wird dann mit einem konkreten Lösungsvorschlag im Rahmen der entsprechenden Projektgenehmigung befasst.

Hinweis zum Klärschlamm

Die oben beschriebenen Vorzugsvarianten haben auch Auswirkungen auf den Schlammfall bzw. auf die Schlammbehandlung im Klärwerk II sowie die Faulschlammdruckleitung zum Klärwerk I, respektive auch auf die neue Klärschlammverbrennungsanlage. Die vorhandene Infrastruktur in der Schlammbehandlung im Klärwerk II verfügt nach Aussagen der beiden

bearbeitenden Ingenieurbüros noch über ausreichend Reserven, um den zusätzlichen Klärschlamm zu behandeln. Somit sind dort keine Engpässe bzw. weitere Investitionen zu erwarten. Bei der Planung der neuen Klärschlammverbrennungsanlage im Klärwerk I wurden bereits zusätzliche Schlammengen berücksichtigt.

7.3 Spurenstoffelimination

Da in diesem Konzept auch die Möglichkeit der Implementierung einer Anlage zur Spurenstoffelimination im Klärwerk II berücksichtigt werden soll, wurde dieses Thema im Vorfeld von verschiedenen Seiten betrachtet. Abweichend von den konventionellen, seit Jahren etablierten Verfahren zur Abwasserreinigung, handelt es sich bei den Verfahren zur Spurenstoffelimination doch um eine relativ neue Technik, die in die bestehende Verfahrenstechnik implementiert werden muss. Erschwert werden diese technischen Herausforderungen durch eine fehlende Rechtsgrundlage / Verpflichtung. Es gibt aktuell keine vorgeschriebene Liste mit Stoffen, die zu eliminieren sind, sowie feste (Grenz-) Werte, die bei einer Spurenstoffeliminationsanlage eingehalten werden müssten. Im Klärwerk II wird das Thema noch komplexer durch die Einbindung der vorhandenen UV-Desinfektion zur Hygienisierung. Hier müssen besonders mögliche Wechselwirkungen bei Ozon oder ein möglicher Kohleschlupf durch den Einsatz von Aktivkohle berücksichtigt werden. Da Ozon ab einer gewissen Dosis auch eine desinfizierende Wirkung hat, sollten sich die aktuell erforderlichen UV-Dosen zur Hygienisierung verringern.

Aktivkohle hat keine desinfizierende Wirkung, zusätzlich können die Aktivkohlepartikel, die sich noch im gereinigten Abwasser befinden, die Transmission (Lichtdurchlässigkeit) des Abwassers verschlechtern, so dass die zur Entkeimung benötigte UV-Dosis eventuell schwerer oder nicht mehr erreicht werden könnte.

Die Spurenstoffelimination aus dem Abwasser ist generell mit einem hohen Energie- und Ressourcenaufwand verbunden und daher aus gesamtökologischer Sicht nicht unumstritten. Die seit dem Jahr 2021 stark gestiegenen Energiepreise überschreiten zudem alle in der Vergangenheit angestellten ökonomischen Sensitivitätsanalysen zum Betrieb einer 4. Reinigungsstufe.

Bisherige Aktivitäten der MSE

Die nachfolgenden Ergebnisse bzw. Erkenntnisse stammen aus verschiedenen Quellen. Die MSE hat für dieses Thema folgende grundlegende Überlegungen angestellt:

- Eigene Recherchen und Mitarbeit in Fachgremien
- Studien / Masterarbeiten zusammen mit der Technischen Universität München (TUM)
- Teilprojekt aus Studie zur Kapazitätserweiterung im Klärwerk II (2021-2023)
- Beauftragung einer Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination im Klärwerk II (aktuell in Bearbeitung)

7.3.1 Hintergrundinformationen – interne Recherchen

Der Begriff der Spurenstoffe umfasst ein weites Spektrum unterschiedlichster anthropogener, in der Regel synthetisch hergestellter oder chemisch veränderter Substanzen. Zu diesen Stoffen gehören u. a. Arzneimittel, Pestizide, Fungizide und Industriechemikalien. Chemisch betrachtet weisen diese Stoffe signifikante Unterschiede hinsichtlich des chemischen Aufbaus, der Zusammensetzung, der Abbaubarkeit etc. auf.

Um dieses doch sehr inhomogene und sehr komplexe Stoffgemisch aus dem Abwasser zu entfernen, haben sich in der Fachwelt, die in Abbildung 17 dargestellten drei Verfahrenstechniken etabliert: Granulierte Aktivkohle (GAK), Ozon (O_3) und Pulveraktivkohle (PAK) sowie mögliche Kombinationen daraus.

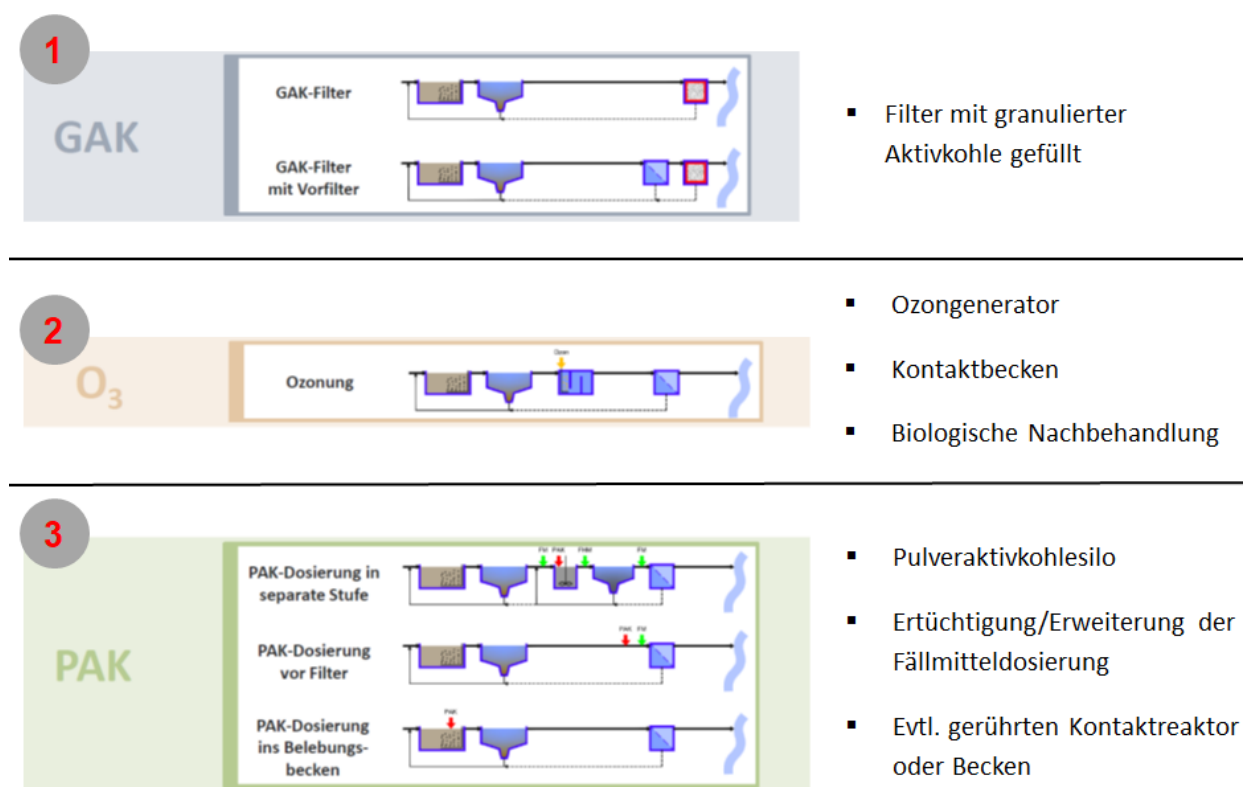


Abbildung 17: Übersicht über mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination in einem Klärwerk (nach DWA-M 285-2). (Erläuterung zu den Pfeilen in der Abbildung: Ozon (orange), Pulveraktivkohle PAK (rot) und Fällmittel FM (grün)).

Verfahren zur Entfernung von Spurenstoffen auf Kläranlagen, welche bereits im großtechnischen Maßstab betrieben und erprobt sind, sind die Oxidation mit Ozon und die Adsorption mit granulierter oder Pulveraktivkohle. Methoden wie Membranverfahren (Umkehrosmose, Nanofiltration) oder weitergehende Oxidationsverfahren (engl.: Advanced Oxidation Processes, AOPs) sind ebenfalls Möglichkeiten zur Spurenstoffelimination, die für eine weitergehende Reinigung von Abwasser aus betrieblichen oder wirtschaftlichen Gesichtspunkten bisher nur selten eingesetzt werden. Eine gemeinsame Studie des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und der Münchner Stadtentwässerung (2015-2017) hat gezeigt, dass der Einsatz von AOPs mit UV-Bestrahlung bei Anlagen mit bestehender

UV-Desinfektion zwar technisch möglich wäre, im Vergleich zur Ozonung aber deutlich höhere Betriebskosten verursacht. Die MSE hat diese Untersuchungen durchgeführt, um mögliche Synergieeffekte der Spurenstoffelimination und der Keimreduktion in der bereits bestehenden UV-Desinfektionsanlage zu eruieren.

Eine weitere Möglichkeit zur Entfernung von Spurenstoffen stellen biologische Verfahren der Nachbehandlung (Biofiltration, Grundwasseranreicherung, Retentionsbodenfilter) dar, die bisher allerdings wenig Beachtung finden.

7.3.2 Machbarkeitsstudie – Ziele und Fristen

Wie bereits in Kapitel 6.3 beschrieben, besteht aktuell die Möglichkeit einer Teilförderung für die Investitionskosten einer 4. Reinigungsstufe auf dem Klärwerk II durch ein Sonderförderprogramm des Freistaats Bayern. Voraussetzung für die Teilnahme an dem Förderprogramm ist die Durchführung einer ergebnisneutralen Befassung mit dem komplexen Thema von allen Seiten im Rahmen einer Machbarkeitsstudie.

Die Wahl eines geeigneten Verfahrens zur Spurenstoffelimination ist von vielen Faktoren abhängig. Eine pauschale Aussage, ohne die Besonderheiten des nachzurüstenden Klärwerks zu kennen, ist nicht möglich. Alle drei o. g. etablierten Verfahren sowie deren Kombinationen haben Vor- und Nachteile, die es in einer Einzelfallbetrachtung insbesondere im Hinblick auf die konkrete Situation im Klärwerk II abzuwägen gilt. Zur Bestimmung des optimalen Verfahrens zur Spurenstoffelimination im Klärwerk II läuft aktuell eine Machbarkeitsstudie, die genau diese offenen Detailfragen klären soll. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie soll die bestehende und die zu erwartende verfahrenstechnische Situation des Klärwerks Gut Marienhof betrachtet und diese dann um eine geeignete Anlage zur Spurenstoffelimination erweitert werden. Es kann dabei auf Erkenntnisse und Bestandsdatenanalysen aus bereits erfolgten Untersuchungen zurückgegriffen werden. Schließlich ist anhand einer Bewertungsmatrix mittels Multikriterienanalyse das geeignetste Verfahren oder die geeignetste Verfahrenskombination zu identifizieren. Der voraussichtliche Bauzeitenplan sowie die zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten (Kostenvergleichsrechnung / Barwertmethode) sind daraufhin darzustellen. Abschließend sind die Auswirkungen des gewählten Verfahrens auf die Schlammbehandlung, Gasverwertung sowie die übrige Verfahrenstechnik im Klärwerk bzw. deren Abhängigkeit zu beschreiben. Der Energie- und Ressourceneinsatz ist hinsichtlich der Konsequenzen auf die Energie- und Klima/CO₂-Bilanz der Kläranlage zu bewerten.

Nach Abschluss der Studie (Q3/2024) soll diese dann dem Freistaat Bayern, vertreten durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz bzw. das Landesamt für Umwelt, zur Begutachtung vorgelegt werden. Ein potentieller Förderbescheid müsste dann mit Auslaufen des Förderprogramms bis zum 31.12.2024 der MSE zugestellt werden. Ab diesem Zeitpunkt könnten dann die weiteren internen Planungsschritte bei der MSE vorangetrieben werden.

7.3.3 Exemplarische Darstellung einer Ozonanlage

Im Rahmen der Studie zur verfahrenstechnischen Optimierung des Klärwerk Gut Marienhofs (s. Kapitel 7.2.2) wurde exemplarisch nur die Behandlung des Abwassers mittels Ozonung näher untersucht.

Die Ozonanlage wurde so konzipiert, dass mit der vorhandenen Technik die Behandlung des kompletten Trockenwetterzuflusses (Vollstrombehandlung) möglich wäre. Die spezifische Ozonmenge ($0,35 - 0,4 \text{ mg}_{\text{O}_3}/\text{mg}_{\text{DOC}}$) wurde so gewählt, dass damit eine Eliminationsleistung der zu beseitigenden Indikatorsubstanzen von 80 % erreicht werden sollte. Die Einbindung der vorhandenen Sandfiltrationsanlage für die biologische Nachbehandlung wurde ebenfalls untersucht und als potentiell geeignet bewertet. In Abbildung 18 ist der mögliche Standort der Ozonanlage im Übersichtsplan des Klärwerks eingezeichnet.

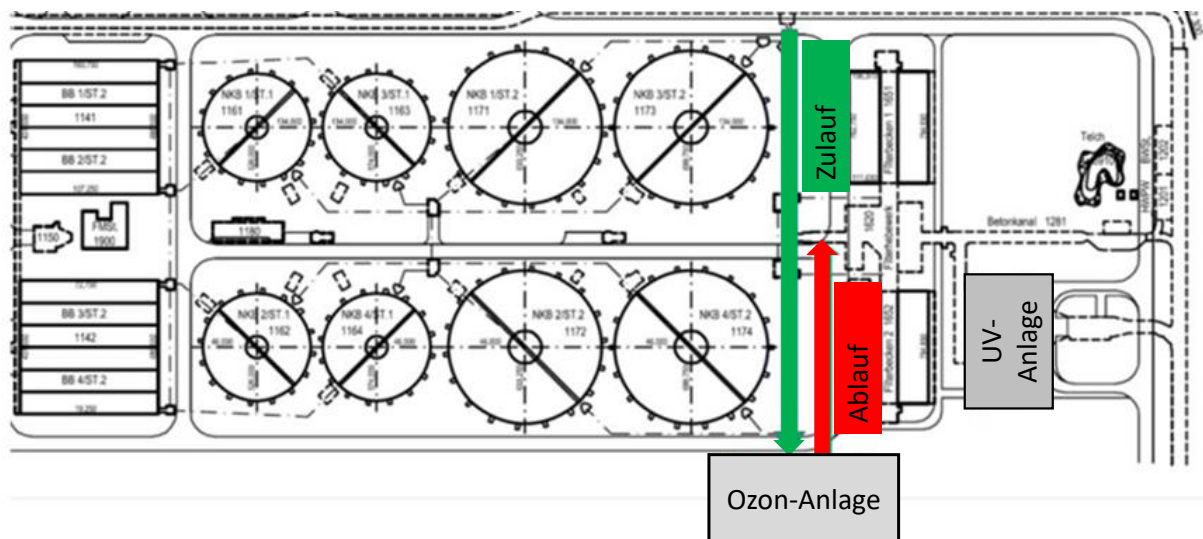


Abbildung 18: Schematische Darstellung der Einbindung einer Anlage zur Ozonierung im Klärwerk II – zwischen Ablauf Nachklärbecken und Zulauf Sandfilter.

Fazit

Die Studie hat gezeigt, dass unter den getroffenen Annahmen eine Spurenstoffelimination im Klärwerk mit Ozon möglich ist. Leider konnte bei den Berechnungen nicht nachgewiesen werden, dass die MSE mit einer Ozonanlage die vorhandene UV-Desinfektion zur Hygienisierung substituieren kann. Um die bisher geltenden Garantiewerte bei der Keimreduktion einzuhalten, ist nach aktuellem Kenntnisstand der Weiterbetrieb der UV-Anlage in den Sommermonaten unerlässlich.

8 Übergeordnete Ausbaustrategie des Klärwerkverbunds

Aufbauend auf der aktuellen Ist-Situation, den skizzierten Triebkräften und diversen Vorarbeiten im Rahmen von Studien, Untersuchungen und Konzepten lassen sich zur Sicherstellung der Abwasserreinigung mit einem Zeithorizont bis 2040 mögliche Lösungsstrategien ableiten. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten beider Klärwerke und des bestehenden Kanalnetzes (Abwasserströme können nicht beliebig ver- bzw. aufgeteilt werden) ist es erforderlich, in beiden Klärwerken umfangreiche Optimierungs- und Neubaumaßnahmen zur Steigerung der biologischen Kapazitäten vorzunehmen. Da im Klärwerk I weniger Freiflächen zur Verfügung stehen, orientiert sich die Schaffung von zusätzlichen biologischen Kapazitäten eher auf verfahrenstechnische Optimierungen bzw. Neubauten innerhalb einzelner Verfahrensstufen. Durch die relativ große Freifläche neben dem Klärwerk II, die auch schon bei der Errichtung des Klärwerks vor 40 Jahren als mögliche Erweiterungsfläche vorgesehen war, bieten sich deutlich mehr Freiheitsgrade hinsichtlich der Gestaltung. Hier liegt die Schwierigkeit eher darin, die zusätzlich zu schaffenden Kapazitäten zu quantifizieren und diese dann in die Bestandsanlage technisch optimal einzubinden. Bedingt durch die Vorlauf- und Projektlaufzeiten ergibt sich ein stufenweises, bedarfsgerechtes Ausbaukonzept.

Neben den zu ergreifenden Maßnahmen zu den Kapazitätserweiterungen in beiden Klärwerken sollte an dieser Stelle noch auf die Sicherstellung des vorhandenen Bestandes in beiden Klärwerken hingewiesen werden. Die oben skizzierten Maßnahmen zur Steigerung der Kapazität dienen nicht zur Kompensation von altersbedingtem Sanierungsbedarf im Bestand. Der Bestand wird im Rahmen spezifischer Projekte erhalten, modernisiert und bei bereits lokalisierten Engpässen erweitert, um dann mit den bedarfsgerechten Erweiterungen aus dem hier vorliegenden Konzept den Klärwerkverbund auch in Zukunft optimal aufgestellt zu wissen.

8.1 Grundsätzlich mögliche Projekte zur Bedarfsdeckung

Ausgehend von der ermittelten Bevölkerungsentwicklung (Kapitel 6.2) werden folgende, in den vorangegangenen Unterkapiteln ermittelte Maßnahmen vorgeschlagen und in ein Ausbaukonzept integriert. Diese grundsätzlich möglichen Maßnahmen können je nach Entwicklung der Rahmenbedingungen in verschiedenen Kombinationen zum Einsatz kommen, wie nachfolgend in Kapitel 8.2 dargestellt wird.

Kurz- bis mittelfristige Maßnahmen / Projekte (Zeithorizont bis ca. 2030)

- Klärwerk I: Schaffung der Möglichkeit einer bedarfsgerechten Kohlenstoffdosierung in der 2. Biologischen Reinigungsstufe – Variante 2 aus der Studie im Klärwerk I
- Klärwerk I: Neubau eines zusätzlichen Nachklärbeckens – (Teil-)Variante 4.5 aus der Studie im Klärwerk I

Langfristige Maßnahmen / Projekte (Zeithorizont bis ca. 2035)

- Klärwerk II: Schaffung von zusätzlicher biologischer Kapazität – nach aktuellem Stand basierend auf einer der Vorzugsvarianten aus Studie Klärwerk II
- Ggf. Neubau Belebungsbecken 11+12 im Klärwerk I (Variante 3)

Sonderprojekt

- Bau und Inbetriebnahme einer Anlage zur Spurenstoffelimination im Klärwerk II (s. Kapitel 7.3).

Sollten sich die heute, nach bestem Wissen ermittelten Triebkräfte (insbesondere bei der Bevölkerungsentwicklung) drastisch verändern, z. B. in Form einer deutlichen Verschärfung der Ablaufgrenzwerte, ist die Auswahl der zur Verfügung stehenden Maßnahmen ebenfalls anzupassen. Bei einer noch größeren Steigerung des ermittelten Bedarfs, können weitere Maßnahmen auf beiden Klärwerken umgesetzt (z. B. aus der Studie im Klärwerk I) oder diese angepasst werden. So besteht die Möglichkeit, stufenweise die Nachklärbecken im Klärwerk I zu optimieren (Variante 4; Kapitel 7.1). Außerdem bieten die für das Klärwerk II ermittelten Vorzugsvarianten zur Schaffung von zusätzlicher biologischer Kapazität (Kapitel 7.2.2) ebenfalls die Möglichkeit, die Belebungsbeckenvolumen bedarfsgerecht anzupassen. Eine regelmäßige Überprüfung und Bewertung des Bedarfs, ist im weiteren Verlauf der Planungen unerlässlich. Durch die intensive Befassung mit dem aktuellen Zustand der Klärwerke, den verfahrenstechnischen Prozessen, dem daraus abgeleiteten Bedarf und der ermittelten Potentiale ist die MSE jedoch gut für mögliche Eventualitäten aufgestellt.

8.2 Szenarien zur Steigerung der biologischen Kapazitäten bis 2040

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, bestehen Kapazitätsengpässe bei der biologischen Abwasserreinigung, für welche der Wegfall der Sandfilterdenitrifikation ursächlich ist. Zudem ist von einem derzeit noch nicht endgültig prognostizierbaren Mehrbedarf aufgrund der Bevölkerungsentwicklung sowie sich möglicherweise verschärfender Anforderungen an die Abwasserreinigung auszugehen.

Zur adäquaten Deckung des heutigen und des zukünftigen Bedarfs ist daher ein flexibles Ausbaukonzept entwickelt worden, welches aus modularen Ausbausritten besteht. Die einzelnen Schritte lassen sich den zukünftigen Anforderungen entsprechend umsetzen, womit einer systematischen Über- und Unterdimensionierung der Anlagen vorgebeugt werden soll. Das zentrale Element des Konzepts ist die Erweiterung des Klärwerks Gut Marienhof, da der zu erwartende biologische Kapazitätsgewinn dieser Maßnahme in allen zukünftigen Belastungsszenarien benötigt wird. Im Falle einer Grenzwertverschärfung für den Gesamtstickstoff müsste die Kapazitätserweiterung am Klärwerk Gut Marienhof sogar noch deutlich größer ausfallen. Die schnell umzusetzenden Maßnahmen im Klärwerk I, wie betriebliche Optimierungen und kleinere Baumaßnahmen, werden bis zur Fertigstellung und Inbetriebnahme der Erweiterungslösung im Klärwerk II in die Strategie integriert. Weitere

Neubaumaßnahmen im Klärwerk Gut Großlappen (z. B. Belebungsbecken 11+12 – Variante 3) können dann in die Planungsphase überführt werden, sobald externe Zwänge wie vermehrter Schmutzfrachtenfall durch Bevölkerungszuwachs im Einzugsgebiet oder Verschärfungen der Ablaufgrenzwerte dies erforderlich machen. Im Folgenden werden drei verschiedene Entwicklungsszenarien (Mittel, Maximal und Minimal) zur Steigerung der biologischen Kapazität des Klärwerksverbunds dargestellt.

Mittleres Szenario

In Abbildung 19 ist die Prognose der zu erwartenden Belastung auf Basis eines mittleren Szenarios für die Bevölkerungsentwicklung linear (schwarz gestrichelte Linie) dargestellt. Für ein mittleres Szenario bei moderatem Bevölkerungszuwachs (nach Kapitel 6.2) und gleichbleibenden Grenzwerten für Stickstoff ergibt sich bis 2040 ein zusätzlicher Bedarf von ca. 360.000 EW für den Klärwerksverbund. Die beiden unteren Balken stellen die aktuelle Leistungsfähigkeit der biologischen Reinigungsstufen der beiden Klärwerke ohne die nachgeschaltete Denitrifikation in den Sandfiltern dar. Wie bereits oben mehrfach beschrieben, ergibt sich ohne die Sandfilterdenitrifikation heute schon eine theoretische Unterdeckung. Um dieses Defizit und den durch die Bevölkerungsentwicklung steigenden Bedarf angepasst und flexibel zu decken, bauen die einzelnen Maßnahmen aufeinander auf.

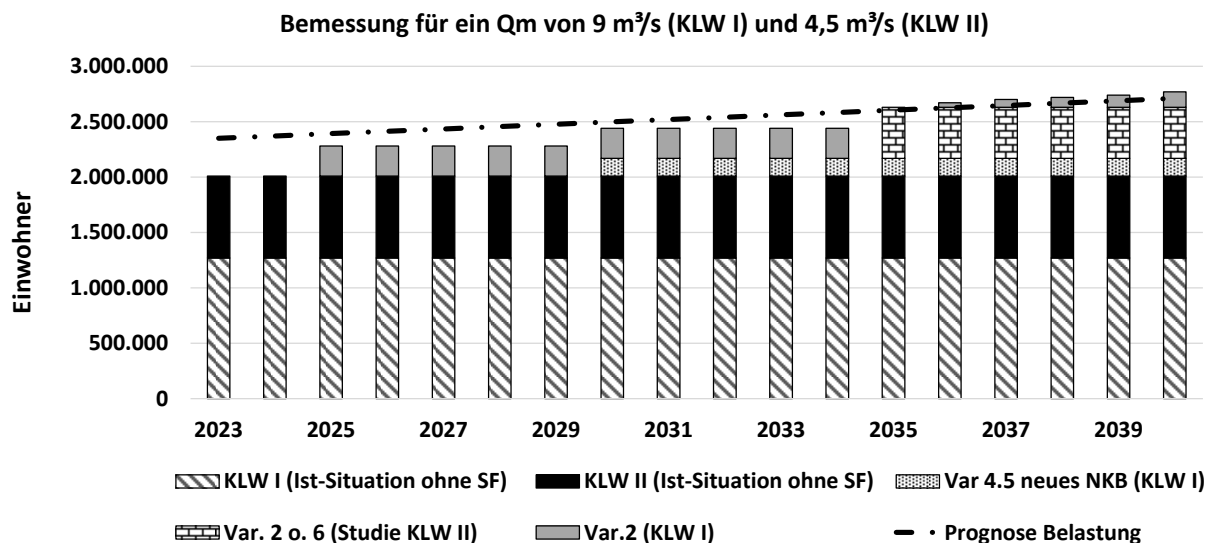


Abbildung 19: Schematische Darstellung zur modularen Deckung des zukünftigen Bedarfs bei den biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund bei einem mittleren Bevölkerungszuwachs bis 2040 und gleichbleibenden Ablaufgrenzwerten für Stickstoff.

Mit der Implementierung der Methanoldosierung in die 2. Biologische Stufe im Klärwerk Gut Großlappen (Variante 2, Klärwerk I) kann, sofern sich keine unerwünschten Nebenwirkungen der Methanoldosierung auf die Belebtschlammbeschaffenheit ergeben, der Grad der bemessungstechnischen Unterdeckung flexibel verkleinert werden (ab dem Zeitpunkt des Verzichts auf die Sandfilterdenitrifikation). Ab ca. 2030 nach Inbetriebnahme eines neu errichteten Nachklärbeckens (Variante 4.5. Klärwerk I ist bereits in Projekt „Kapazitätserweiterung Zulauf West“ enthalten) kann bereits annähernd die bis dahin

vorliegende Unterdeckung kompensiert und die Methanoldosierung in die Sandfilter der Klärwerke voraussichtlich eingestellt werden. Um das Jahr 2035 kann mit Inbetriebnahme der Erweiterung des Klärwerks Gut Marienhof (Variante 2 bzw. 6 Klärwerk II) der Klärwerksverbund wieder vollumfänglich und eventuell ohne oder nur mit minimalem Einsatz von externen Kohlenstoffquellen zur Denitrifikation operieren. Die C-Quellendosierung (Methanoldosierung) in der 2. Biologischen Stufe im Klärwerk I (Variante 2, Klärwerk I) stellt folglich eine bei Bedarf wieder aktivierbare Leistungsreserve dar.

Maximales Szenario

Sollte sich in den kommenden Jahren eine Belastungssituation (steigende Zulaufkraft oder Grenzwertverschärfung) abzeichnen, die über dem mittleren Entwicklungsszenario liegt, muss weitere biologische Kapazität im Verbund geschaffen werden.

Hinweis: Es ist unwahrscheinlich, dass ausschließlich durch Bevölkerungsentwicklung eine derart starke Zunahme der Belastung verursacht wird. Das Szenario mit einem zusätzlichen Bedarf bis 2040 von 568.000 EW muss aber dennoch berücksichtigt werden, da durch eine mögliche Verschärfung der Ablaufgrenzwerte für den Gesamtstickstoff (wie sie aktuell im Rahmen des Entwurfs der EU-Kommunalabwasserrichtlinie diskutiert werden) umfangreichere Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung auch ohne den in diesem Szenario antizipierten Bevölkerungszuwachs erforderlich werden. Sollten die Anforderungen an die Stickstoffelimination sehr deutlich angehoben werden, sind alle beschriebenen Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung im Klärwerk I umzusetzen. Eventuell müssen auch zusätzliche, umfangreichere Varianten in Betracht gezogen werden. Zu diesen (Groß-)Maßnahmen gehören zum Beispiel ein Abbruch und Neubau von Nachklärbecken, die Neuordnung der Zentratbehandlung sowie der Einsatz von Membrantechnologie.

Im Klärwerk Gut Marienhof würden deutliche Verschärfungen der Ablaufgrenzwerte für Stickstoff dazu führen, dass die angestrebten Erweiterungslösungen (Variante 2 bzw. 6) noch einmal hinsichtlich der Skalierbarkeit überprüft werden müssen. Es ist bei der Planung einer Erweiterung des Klärwerks daher unerlässlich, eine effiziente Flächennutzung anzustreben, sowie verfahrenstechnische Optionen zu schaffen, welche im Bedarfsfall eine entsprechende Skalierung der Kapazitätserweiterung sowie eventuell die Umstellung auf ein einstufiges biologisches Reinigungsverfahren erlauben.

Da der konkrete Umfang einer Grenzwertverschärfung noch in keiner Weise abgeschätzt werden kann, wird vorerst von einem möglichen Maximalszenario anhand eines bewusst sehr hoch angesetzten Bevölkerungszuwachses ausgegangen. Für eine grobe Abschätzung kann dieser Vergleich herangezogen werden, denn eine Zunahme der Fracht durch die Bevölkerungsentwicklungen führt, ebenso wie eine Grenzwertverschärfung, dazu, dass in beiden Fällen in den biologischen Stufen mehr Fracht eliminiert werden muss, was nur durch mehr Belebungsvolumen in beiden Klärwerken möglich ist.

Analog zur Vorgehensweise bei dem mittleren Szenario ergibt sich auch beim maximalen Szenario eine ähnliche Strategie, die um eine zusätzliche Maßnahme ergänzt wird. Als eine

Möglichkeit, zusätzliche biologische Kapazität im Klärwerk I zu schaffen, könnte eine Erweiterung der 2. Biologischen Stufe um die Belebungsbecken 11 + 12 (Variante 3, Klärwerk I) den Bedarf kompensieren. In Abbildung 20 ist die Prognose (schwarz gestrichelte lineare Linie) der zu erwartenden Belastung auf Basis eines maximalen Szenarios für die Bevölkerungsentwicklung bzw. eine signifikante Grenzwertverschärfung (vgl. Entwurf der EU-Kommunalabwasserrichtlinie) bei moderater Bevölkerungsentwicklung dargestellt.

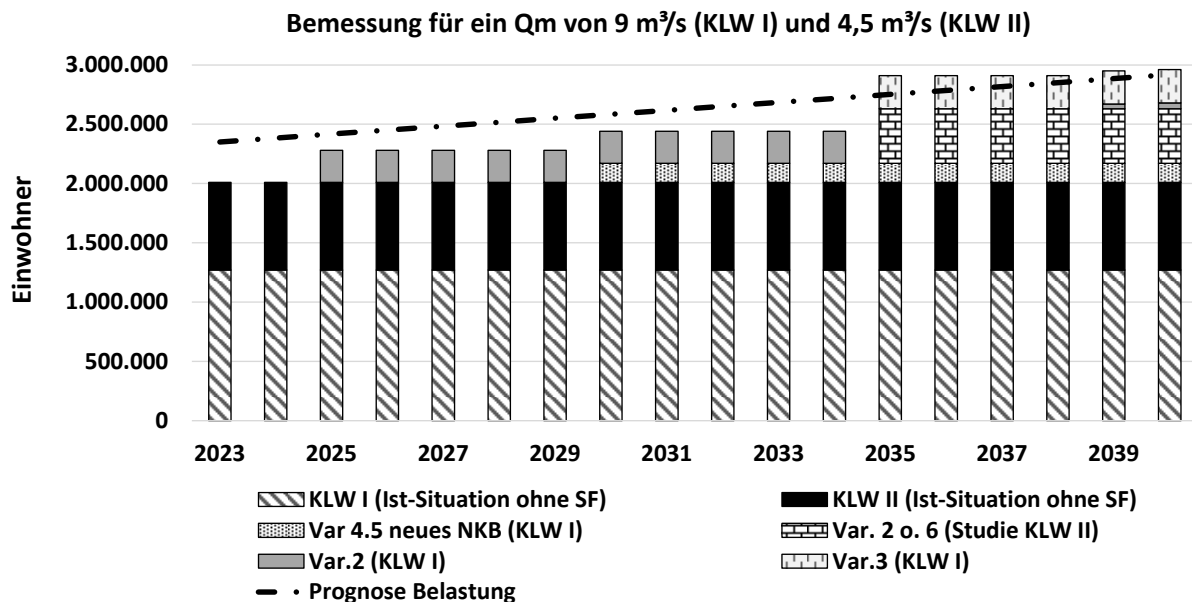


Abbildung 20: Schematische Darstellung zur modularen Deckung des zukünftigen Bedarfs bei den biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund bei einem maximalen Bevölkerungszuwachs bis 2040 bzw. einer signifikanten Grenzwertverschärfung der Ablaufwerte für Stickstoff.

Eine Alternative zum Bau der Belebungsbecken 11 + 12 im Klärwerk I (Variante 3; Inbetriebnahme ca. 2035) wäre eine zusätzliche Erweiterung der Belebungsbeckenvolumina bei der Erweiterung im Klärwerk II. Diese Option könnte ggf. eine kostengünstigere Alternative sein. Im Bedarfsfall müsste in einer separaten Bewertung der beiden Varianten eine Abwägung von Vor- und Nachteilen erfolgen.

Minimales Szenario

Als Minimalszenario ist anzunehmen, dass langfristig die Bevölkerungsentwicklung (Zuwachs von 178.000 EW) im Einzugsgebiet stagniert, bzw. nur noch sehr geringfügig steigt sowie keine Verschärfung der Ablaufgrenzwerte eintritt. In diesem Fall sind der Neubau eines Nachklärbeckens am Klärwerk Gut Großlappen sowie die bedarfsgerechte Erweiterung des Klärwerks Gut Marienhof ab ca. 2033 ausreichend, um langfristig die Klärwerke ohne Zuhilfenahme großer Mengen einer externen Kohlenstoffquelle (Variante 2 im Klärwerk I) zu betreiben. In Abbildung 21 ist die Prognose der zu erwartenden Belastung auf Basis eines minimalen Szenarios für die Bevölkerungsentwicklung dargestellt.

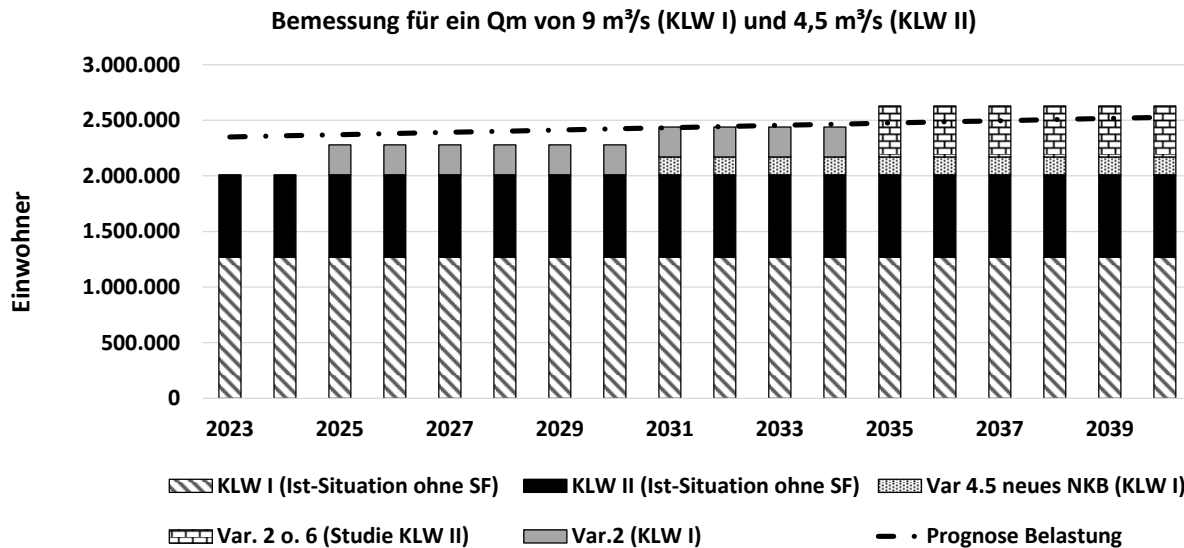


Abbildung 21: Schematische Darstellung zur modularen Deckung des zukünftigen Bedarfs bei den biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund bei einem minimalen Bevölkerungszuwachs bis 2040.

Hinweis

Sollten sich die heute, nach bestem Wissen ermittelten Triebkräfte (insbesondere bei der Bevölkerungsentwicklung) drastisch verändern, z. B. in Form einer deutlichen Verschärfung der Ablaufgrenzwerte, ist die Auswahl der zur Verfügung stehenden Maßnahmen ebenfalls anzupassen. Bei einer noch größeren Steigerung des ermittelten Bedarfs, können weitere Maßnahmen auf beiden Klärwerken umgesetzt (z. B. aus der Studie im Klärwerk I) oder diese angepasst werden. So besteht die Möglichkeit, stufenweise die Nachklärbecken im Klärwerk I zu optimieren (Variante 4; Kapitel 7.1). Außerdem bieten die für das Klärwerk II ermittelten Vorzugsvarianten zur Schaffung von zusätzlicher biologischer Kapazität (Kapitel 7.2.2) ebenfalls die Möglichkeit, die Belebungsbeckenvolumen bedarfsgerecht anzupassen. Eine regelmäßige Überprüfung und Bewertung des Bedarfs, ist im weiteren Verlauf der Planungen unerlässlich. Durch die intensive Befassung mit dem aktuellen Zustand der Klärwerke, den verfahrenstechnischen Prozessen, dem daraus abgeleiteten Bedarf und der ermittelten Potentiale ist die MSE jedoch gut für mögliche Eventualitäten aufgestellt.

8.3 Umsetzung der Maßnahmen

Die entwickelte Ausbaustrategie erfordert, unabhängig von der Bevölkerungsentwicklung, also die Erweiterung des Klärwerks Gut Marienhof in ein Projekt zu überführen und den Genehmigungsprozess zu initiieren. Parallel dazu soll die Möglichkeit zur Methanoldosierung in die Belebungsbecken der 2. Biologischen Reinigungsstufe am Klärwerk Gut Großlappen geschaffen und in Betrieb genommen werden. Der Neubau eines weiteren Nachklärbeckens im Klärwerk I als Teil des Projektes „Erweiterung des Zulaufs West“ befindet sich momentan in der vertieften Planung. Nach Evaluierung der zukünftigen Belastungssituation sowie der kommenden wasserrechtlichen Entwicklungen in den Jahren ab 2024/25 kann entschieden

werden, ob eine zusätzliche Kapazitätserweiterung des Klärwerks Gut Großlappen mittels Neubaus der Belebungsbecken 11 und 12 erforderlich ist.

Die technische Machbarkeit einer 4. Reinigungsstufe wird aktuell im Rahmen einer Machbarkeitsstudie bewertet und im Hinblick auf die Umsetzbarkeit im Zusammenhang mit den Erweiterungsoptionen im Klärwerk II überprüft.

Hinweis

Im Verlauf der weiteren Planungsschritte wird die MSE die Entwicklung der Rahmenbedingungen stetig im Blick behalten und die Planungen entsprechend adaptieren. Hieraus kann sich die hier skizzierte Lösungsstrategie zur Deckung des Bedarfs noch ändern, insbesondere bei einer Verschärfung der geforderten Grenzwerte für den Ablauf.

8.4 Exkurs: Betrachtung von alternativen Reinigungskonzepten und Verfahrenstechniken zur Erweiterung der Bestandsanlagen

Da es sich bei dem Konzept um eine langfristige Strategie bis ins Jahr 2040 handelt, erfolgte im Rahmen der Recherchen bzw. Studien eine Befassung mit alternativen Reinigungsverfahren. Die Verfahren wie IFAS, MBR, Biomasseanreicherung etc. zur Erweiterung der vorhandenen Anlagen wurden in den Studien bewertet, konnten sich aber aktuell aufgrund verschiedenster Aspekte in der untersuchten Art der Ausführung nicht gegen die klassischen Belebungsverfahren durchsetzen. Im Gegensatz zu diesen „neuen“ Abwasserreinigungsverfahren, ist die Technik des klassischen Belebungsverfahrens seit Jahren etabliert. Sie existiert bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts und hat sich seitdem bewährt und wurde in jüngster Vergangenheit weiterentwickelt, um das Belebtschlammverfahren weiter zu optimieren und effizienter zu gestalten.

An kleineren bis mittleren Klärwerken wurden bereits Technologien erprobt, mit welchen z. B. die Biomassekonzentration in den Belebungsbecken deutlich erhöht und somit eine bauliche Erweiterung dieser Klärwerke vermieden werden konnte. Diese Technologien sind oft individuelle Sonderlösungen, die eine separate Genehmigung benötigen. Zudem genießt der Großteil dieser Verfahren gültigen Patentschutz, was eine produktneutrale Ausschreibung ausschließt und somit für ein Unternehmen der öffentlichen Hand vergaberechtlich problematisch ist.

Zukünftig ist davon auszugehen, dass sich derartige Technologien zur Biomasseanreicherung weiter etablieren und zum aktuellen Stand der Technik und damit behördlicherseits allgemein genehmigungsfähig werden. MBR-Anlagen sind das heute schon. Da dieses Konzept einen begrenzten Betrachtungshorizont hat, und die Abwasserreinigung auch über das Jahr 2040 hinaus noch sicher und zuverlässig funktionieren muss, sind Innovationen, die sich heute noch in der Erprobung befinden, bei weiteren Planungsschritten nicht außer Acht zu lassen. Daher ist es aus Sicht der MSE sinnvoll, sich mit diesen neuen Technologien auseinanderzusetzen,

die Entwicklungen zu beobachten und wenn möglich diese in die bestehende Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung versuchsweise (z. B. im Pilotmaßstab) zu integrieren. Für manche dieser „neuen“ Verfahren ist die Zweistufigkeit der biologischen Reinigung, wie sie an den Münchner Klärwerken besteht, von Vorteil.

8.5 Überschlägige Angabe von Baukosten

Dieses Konzept hat zum Ziel, den erforderlichen Bedarf an biologischen Kapazitäten bis 2040 zu ermitteln. Mit diesem Bedarf wurde eine Strategie erarbeitet, die in Form eines modularen Baukastensystems, einzelne Maßnahmen aufzählt, um diesen für verschiedene zukünftige Entwicklungen (u. a. abhängig von der Bevölkerungsprognose) abzudecken. Im Klärwerk II bieten die beiden oben skizzierten Vorzugsvarianten (Kapitel 7) eine sehr gute Ausgangslage, den absehbaren Bedarf im mittleren Entwicklungsszenario zu decken.

Entscheidend im Rahmen dieses Konzepts ist, die szenarienunabhängige Notwendigkeit einer Erweiterung des Klärwerks Gut Marienhof zu unterstreichen und damit die Grundlage für weitere Planungen zu schaffen. Hinsichtlich einer möglichen Grenzwertverschärfung könnten die bisher entwickelten Erweiterungsvarianten gegebenenfalls nicht ausreichend sein, oder müssen nach Erkenntnissen aus vertiefter Vorplanung aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen abgewandelt oder erweitert werden.

Die Vielzahl der offenen Punkte, die erst in den weiteren Planungsschritten geklärt werden können, machen eine belastbare Angabe von Kosten im momentanen Konzeptstadium sehr schwer. Hinzu kommen noch unvorhersehbare geopolitische oder wirtschaftliche Herausforderungen wie Kriege, oder die Inflation.

Nach einer ersten groben Schätzung ist für die Umsetzung der Maßnahmen zur Deckung des Bedarfs für die Erweiterung der biologischen Kapazitäten (mittleres Bevölkerungsszenario) mit einer Investitionssumme in Höhe einer niedrigen bis mittleren dreistelligen Millioneneurosumme zu rechnen. Der größte Teil der Investitionskosten wird dabei auf die Erweiterung der biologischen Kapazitäten im Klärwerk II entfallen. Eine Angabe von belastbaren Betriebskosten, die mit den Erweiterungsmaßnahmen in beiden Klärwerken einhergehen, ist aufgrund des frühzeitigen Konzeptstadiums nicht möglich. Für die 4. Reinigungsstufe ist die Angabe von Investitionskosten noch komplexer. Je nach Verfahren sind die Kosten für die Nachrüstung eines Klärwerks mit einer Anlage zur Spurenstoffelimination mit ca. 30 Mio. Euro anzugeben. Für beide Klärwerke sind im Falle einer Ozonanlage mit Investitionskosten von ca. 60 Mio. Euro zu rechnen. Nach einer groben Schätzung fallen bei einer Ozonanlage Betriebskosten von ca. 3 Mio. Euro pro Jahr je Anlage an. Abhängig von der Art der Finanzierung der Maßnahmen, ob durch die Gebührenzahler*innen oder durch die „erweiterte Herstellerverantwortung“, können jedoch im optimalen Fall gar keine Investitionskosten anfallen, die auf die Gebührenzahler*innen umgelegt werden müssen. Abschließende Klarheit darüber, wie die 4. Reinigungsstufe

finanziert werden soll, wird es auch mit Einführung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie nicht geben. Ein Finanzierungsmodell auf Basis der „erweiterten Herstellerverantwortung“ sollen nach Ansicht der EU die Mitgliedsstaaten eigenständig erarbeiten.

9 Klimarelevanz

Bei der Abwasserreinigung und Klärschlammverwertung im Klärwerksbetrieb entstehen sowohl direkte als auch indirekte Treibhausgasemissionen. Die Höhen dieser Emissionen sind neben der Art der verfahrenstechnischen Prozessführung im Wesentlichen von zwei Eingangsgrößen abhängig: der Schmutzfracht im Abwasser und der geforderten Reinigungsleistung durch die Gesetzgebung (Einhaltung von Grenzwerten).

Beide Eingangsgrößen können nicht durch die Münchner Stadtentwässerung beeinflusst werden. Gesetzliche Vorgaben und die entsprechenden Wasserrechtsbescheide der beiden Klärwerke schreiben die Reinigungsziele in Form von einzuhaltenden Grenzwerten für ausgewählte Abwasserinhaltsstoffe vor (Kapitel 3.2). Die zufließende Schmutzfracht im Abwasser ist auf die zu aktuelle und zu erwartende Bevölkerungsentwicklung zurückzuführen (vgl. Kapitel 6.2). Als ein zertifizierter Umweltschutzbetrieb (EN ISO 14001:2015) ist die MSE darauf bedacht, Maßnahmen so zu planen und zu realisieren, dass die damit verbundenen negativen Auswirkungen auf alle Schutzgüter (u. a. Klima und Wasser) möglichst gering ausfallen. Die in diesem Konzept skizzierten Maßnahmen verursachen zwar THG-Emissionen während des Baus und des Betriebs, sind aber im Hinblick auf den Gewässerschutz zwingend erforderlich.

Im Folgenden werden für die zwei Handlungsstränge Erweiterung der biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund und die Errichtung einer Anlage zur Spurenstoffelimination (4. Reinigungsstufe) die zu erwartenden Treibhausgasquellen aufgezeigt und beurteilt.

Eine vertiefte Klimaprüfung ist in dieser frühen Konzeptphase noch nicht möglich. Mit diesem Konzept werden zunächst der Bedarf für die Schaffung zusätzlicher biologischer Kapazitäten ermittelt und Maßnahmen zur Bedarfsdeckung beschrieben (Sammelbeschluss). Diese Maßnahmen stellen eine Möglichkeit dar, um die Klärwerke bedarfsgerecht zu erweitern. Erst mit zunehmender Planungstiefe in den folgenden Projektschritten, sobald konkrete Detailplanungen vorgenommen werden, lassen sich belastbare Aussagen über die Emissionen ableiten und bewerten.

Bei den, in diesem Konzept zu erarbeitenden Maßnahmen zur Bedarfsdeckung fallen im Bereich der Bauphase „graue Emissionen“ und auch im späteren Betrieb der Anlagen zusätzliche Treibhausgasemissionen an. Neben der, in diesem Konzept skizzierten, Erweiterung der biologischen Kapazitäten muss an dieser Stelle separat auf den Bau und den Betrieb einer Anlage zur Spurenstoffelimination eingegangen werden. Abhängig von der technischen Ausführung einer solchen Anlage fallen die potentiellen Emissionen sehr unterschiedlich aus. Nachfolgend erfolgt eine differenzierte Betrachtung.

9.1 Erweiterung der biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund

Graue Emissionen während der Bauphase

Das Konzept sieht unterschiedlich große bauliche Erweiterungen (Becken) der bestehenden Verfahrenstechnik in beiden Klärwerken vor. Diese Becken werden, wie in der Abwasserbehandlung üblich, in Stahlbetonmassivbauweise bzw. mit Spannbeton errichtet. Die Ausführung der Maschinenteknik erfolgt in der Regel durch Edelstahlkomponenten. Alternative Baustoffe können hierbei nicht verwendet werden, da diese aufgrund der zum Teil korrosiven Abwasserinhaltsstoffe keine ausreichende Beständigkeit aufweisen und die funktionalen Anforderungen bzw. den Stand der Technik nicht erfüllen.

Strombedarf in der Betriebsphase

Die biologische Abwasserreinigung ist ein seit Jahren etabliertes Verfahren, um Abwasser gut und vor allem prozessstabil zu reinigen. Prozessbedingt sind für diese Art der Abwasserreinigung große Mengen Strom erforderlich. Insbesondere auf die Versorgung der Mikroorganismen in den Belebungsbecken mit Luftsauerstoff entfällt ein großer Teil. Die Münchner Stadtentwässerung stellt seit Langem bei Sanierungs- und Neubauprojekten auf energieeffiziente Anlagen um und deckt den verbleibenden hohen Strombedarf größtmöglich durch regenerative Stromquellen. Aktuell wird ca. 80 % des Strombedarfs der beiden Klärwerke durch die Klärgasverstromung und Photovoltaikanlagen erzeugt und ca. 20 % durch Ökostrom aus externen Quellen bezogen. Die Münchner Stadtentwässerung ist aus wirtschaftlichen und umweltschutztechnischen Gründen bestrebt, den Anteil an Eigenstromversorgung immer weiter zu steigern.

Die bauliche Erweiterung der biologischen Reinigung wird allerdings dazu führen, dass auch der gesamte Strombedarf in beiden Klärwerken ansteigen wird. Eine Mehrbehandlung von Abwasser in den beiden Klärwerken verursacht einen höheren Schlammfall und eine Steigerung der Klärgasmengen, wodurch wiederum die Eigenstromversorgung der Klärwerke erhöht werden kann.

Direkte Treibhausgasemissionen in der Betriebsphase

Kohlendioxid (CO₂):

Während des biochemischen Abbaus der Schmutzfracht wird ein Teil des CO₂ als gasförmiges Stoffwechselprodukt der Mikroorganismen freigesetzt. Der andere Teil verbleibt als biologisch schlecht abbaubares Material sowie als gebildete Biomasse im Klärschlamm zurück. Bei der derzeitigen Verfahrenstechnik in beiden Klärwerken kann die Zugabe einer externen Kohlenstoffquelle für die Stickstoffelimination erforderlich sein. Die bestehende Verfahrenstechnik wird durch die in diesem Konzept skizzierten Maßnahmen nicht grundlegend geändert, somit wird auch zukünftig der Einsatz einer externen Kohlenstoffquelle erforderlich sein (vgl. Kapitel 7). Wie groß die Menge an Kohlenstoff ist, ist aktuell schwer abschätzbar, da sie spezifisch für die gewählten Erweiterungsoptionen unter Berücksichtigung von möglichen Wechselwirkungen ermittelt werden muss. Die MSE ist aber bemüht, unter der

Voraussetzung, dass die Prozessstabilität nicht gefährdet ist, die Mengen so gering wie nötig zu halten.

Ebenso verhält es sich mit dem in der Vorklärung sedimentierten Primärschlamm, welcher (bis zur Umwandlung in Klärgas bzw. der thermischen Verwertung in der Klärschlammverbrennungsanlage) als temporäre Kohlenstoffsene fungiert. Kohlenstoffverbindungen im Abwasser sind überwiegend biologischen Ursprungs. Die im Abwasser enthaltenen fossilen Kohlenstoffverbindungen, wie aus Reinigungsmitteln oder Kosmetikprodukten, können mit zunehmender Dekarbonisierung der Gesellschaft stetig abnehmen.

Alle gängigen und dem Stand der Technik entsprechenden Verfahren zur Abwasserreinigung inklusive der im dem Konzept gewählten biologischen, verursachen CO₂-Emissionen.

Durch die notwendigen Maßnahmen zur Erweiterung der biologischen Abwasserreinigung nehmen die Emissionen absolut betrachtet zwar zu, da aber auch deutlich mehr Abwasser / Fracht behandelt wird, sollten sie spezifisch gesehen (CO₂-Emissionen pro Einwohner oder kg eliminierte Fracht) durch die Erweiterung unverändert bleiben.

Distickstoffoxid (N₂O - Lachgas):

Beim mikrobiellen Abbau von Stickstoffverbindungen kann auch Lachgas als unerwünschtes Nebenprodukt freigesetzt werden und in die Atmosphäre entweichen. Die Wirkmechanismen zur Bildung von Lachgas in der Abwasserbehandlung sind wissenschaftlich noch nicht vollständig beschrieben. Grund dafür ist auch die aufwändige und bis heute noch nicht standardisierte Datenerhebung insbesondere hinsichtlich repräsentativer Probenahme innerhalb der Belebungsbecken kommunaler Kläranlagen. Zudem hängt der Umfang der Lachgasbildung von vielerlei Einflussfaktoren ab (z. B. pH-Werte, Temperaturen oder auch Belastungsschwankungen), welche noch nicht ganzheitlich identifiziert wurden.

Anhand bisheriger Forschungsergebnisse kann jedoch festgehalten werden, dass durch eine stabile Prozessführung der Nitri- und Denitrifikation die Lachgasbildung begrenzt, oder sogar weitestgehend vermieden werden kann. Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung / Erweiterung des Belebungsvolumens, insbesondere hochbelasteter Kläranlagen, können sich, bezogen auf die aktuelle Situation, daher sogar theoretisch klimapositiv (bilanziell) auswirken. Bisher liegen bei der MSE, wie auch den meisten Kläranlagenbetreibern in Deutschland, noch keine belastbaren Messungen vor, die Rückschlüsse auf die Emissionen oder gar eine Bilanz des Abwasserreinigungsprozesses ermöglichen. Die MSE ist aber bestrebt, diese Messungen durchzuführen.

Somit ergeben sich für die Erweiterungen der Klärwerke (im Konzeptstadium) die in Tabelle 6 aufgeführte Bewertung der einzelnen Punkte.

Tabelle 6: Bewertung der Emissionsquellen für die konzeptionelle Erweiterung der biologischen Kapazitäten in beiden Klärwerken.

Emissionsquellen		Klimarelevanz im Vergleich zur Ist-Situation für die biologischen Erweiterungen (Konzept)
Indirekte Emissionen	Bauphase	Negativ: „Graue Emissionen“
	Strom in Betriebsphase	Negativ bis neutral: (Neutral bei Deckung des erforderlichen Energiebedarfs durch Eigenstromversorgung und Nutzung von regenerativem Strom)
Direkte Emissionen	Lachgas aus der Stickstoffumwandlung	Tendenziell positiv: Durch die zielgerichtete, bedarfsgerechte Erweiterung ist von einem vollständigeren Stickstoffumwandlungsprozess ohne oder mit weniger Nebenprodukten, wie Lachgas, auszugehen.
	CO ₂ aus dem Abwasserreinigungsprozess	Tendenziell neutral: Bezogen auf die zu behandelnde Abwasserfracht wird ca. gleich viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt
Ergebnis	Durch die "grauen Emissionen" in der Bauphase und den erhöhten Stromverbrauch sind die Maßnahmen als klimaneutral einzuschätzen. Die optimierte Verfahrenstechnik sollte sich jedoch positiv auf die direkten Emissionen auswirken. Der erhöhte Strombedarf kann vermutlich durch eine Steigerung der Stromproduktion aus regenerativen Quellen kompensiert werden.	

9.2 Anlage zur Spurenstoffelimination (4. Reinigungsstufe)

Aktuell führt die MSE eine Machbarkeitsstudie (s. Kapitel 8) durch, in der die verschiedenen Verfahren zur Spurenstoffelimination miteinander verglichen werden und auch deren potentielle Auswirkungen auf das Klima dargestellt werden. Generell kann bei der nachgeschalteten Abwasserreinigung zwischen Anlagen mit Ozon oder mit Aktivkohle unterschieden werden. Während sich bei Ozonanlagen die Klimarelevanz auf den Bau und den Betrieb im Klärwerk beschränkt, verursachen Verfahren mit Aktivkohle stattdessen THG-Emissionen durch den hohen Energieverbrauch bei der Herstellung und dem Transport der einzusetzenden Kohle.

Im Folgenden werden die beiden Verfahren zur Spurenstoffelimination mittels Ozon und Aktivkohle in Bezug auf die jeweilige Klimarelevanz allgemein gegenübergestellt.

Klimarelevanz von Anlagen zur Spurenstoffelimination mit Ozon

Ähnlich wie bei der Erweiterung der biologischen Kapazitäten ist der Einsatz von Beton und Edelstahl für den Bau unerlässlich. Um die grauen Emissionen möglichst gering zu halten, ist die MSE bestrebt, bestehende Bausubstanz (Sandfilteranlage) in die Prozesskette zu integrieren. Ergänzt werden die Baukörper durch eine hochkomplexe Anlage zur Steuerung und Regelung der Ozondosen sowie die Ozonherstellung auf dem Klärwerk.

Der Energiebedarf zur Herstellung von Ozon aus Flüssigsauerstoff liegt bei ca. 0,06 kWh/m³ und kann in Abhängigkeit von der Konzentration des gelösten Kohlenstoffs (DOC) und der Zielkonzentration (mgO₃/mg_{DOC}) im Abwasser variieren. Unter Annahme der Durchschnittswerte wären für die Ozonproduktion zur Behandlung der Jahresschmutzwassermenge im Klärwerk Gut Marienhof ca. 5.000 MWh/a notwendig. Bei einem aktuellen Energieverbrauch im Klärwerk Gut Marienhof (ohne Erweiterung der biologischen Kapazitäten) von ca. 20.000 bis 25.000 MWh/a bedeutet der Einsatz einer Ozonanlage eine Steigerung des Energieverbrauch von 20 bis 25 %. Nach einer ersten groben Schätzung liegt der Energieverbrauch einer zusätzlichen Reinigungsstufe im Klärwerk Gut Großlappen bei ca. 8.000-10.000 MWh/a (15 bis 20 %). Eine Gefahr, dass erzeugtes (Rest-) Ozon in die Umwelt gelangt, ist nicht gegeben. Das erzeugte und nicht verwendete (Rest-) Ozon wird in einem sog. Restozonvernichter wieder unschädlich gemacht.

Klimarelevanz von Anlagen zur Spurenstoffelimination mit Aktivkohle

Für Aktivkohle stellt sich die Situation gänzlich anders dar. Hier entstehen keine nennenswerten grauen Emissionen, da eine Dosierung der Aktivkohle in bestehende Becken erfolgen kann. Die Emissionen, die bei diesem Verfahren anfallen, entstehen hauptsächlich bei der Herstellung und dem Transport der Kohle. Die Herstellung von Aktivkohle kann aus verschiedenen Rohstoffen (Steinkohle, Braunkohle oder Kokosnussschalen) erfolgen. Die zugewiesene Ökobilanz ist abhängig vom Ausgangsstoff des fertigen Produkts. Für die Ermittlung der THG-Emissionen wird bei den folgenden Varianten daher unabhängig von der Art der Kohle und den Eigenschaften (frische oder reaktivierte Kohle) eine pauschale Emission von ca. 10 Megagramm CO₂ pro Megagramm eingesetzter Kohle zu Grunde gelegt. Überschlägig lässt sich der Bedarf an Kohle im Falle des Klärwerks Gut Marienhof (Dosierung in die Nachklärbecken) mit ca. 750 Mg/a angeben. Der Kohleeinsatz entspricht ungefähr 25 LKW-Ladungen pro Jahr. Bezogen auf die Emissionen ergeben sich dadurch Größenordnungen von 7.500 MgCO₂eq/a. In Tabelle 7 sind die wichtigsten Kenngrößen für die unterschiedlichen Aktivkohlearten zusammengestellt.

Tabelle 7: Kenngrößen und Spannweiten für den Primärenergieverbrauch und CO₂-Fußabdruck von frischer Aktivkohle (AK) und Reaktivat für verschiedene Ausgangsrohstoffe (Quelle: nach DWA Merkblatt M285-2, 2021).

Rohstoff		Primärenergieverbrauch fossil (GJ/Mg AK)	CO ₂ -Fußabdruck (Mg CO ₂ -Äqu./Mg AK)
Steinkohle	frische AK	109 - 124	11 - 18
	Reaktivat	17 - 29	2 - 3
Braunkohle	frische AK	152 - 184	14 - 18
	Reaktivat	20 - 37	2 - 4
Kokusnussschalen	frische AK	28 - 51	5 - 7
	Reaktivat	9 - 14	1

Im Klärwerk Gut Großlappen wird im Vergleich zum Klärwerk Gut Marienhof in etwa die doppelte Menge Abwasser behandelt. Da der PAK-Bedarf zur Spurenstoffelimination proportional zur zu behandelnden Abwassermenge ist, wäre am Klärwerk Gut Großlappen auch die doppelte Menge PAK zur Spurenstoffelimination erforderlich.

Sonderverfahren – Kombinationsverfahren

Neben den oben vorgestellten Emissionen für die beiden grundlegenden Varianten gibt es weiter Sonderformen oder Kombinationsmöglichkeiten aus Aktivkohle und Ozon. Das sind individuelle Lösungen, deren Klimarelevanz erst in der weiteren Planung erfolgen können. Es ist anzunehmen, dass die THG-Emissionen zwischen denen einer Ozonanlage und denen einer reinen Aktivkohleanlage liegen.

Fazit für die Spurenstoffelimination

Bei der Spurenstoffelimination handelt es sich um eine weitere Reinigungsstufe, die aufgrund der baulichen Umsetzung und des zusätzlich hohen Betriebsmittelverbrauchs (Strom oder Aktivkohle) mit hoher Sicherheit klimaneutral ausfallen wird. Bei der Ozonanlage könnten sich die Auswirkungen auf die THG-Bilanz zumindest rechnerisch verringern, wenn der Strombedarf aus regenerativen Quellen auf dem Klärwerk erzeugt wird. Da die Variantenentscheidung erst in einer späteren Planungsphase getroffen wird, ist eine vertiefte Klimaprüfung dieser Maßnahme in diesem frühen Befassungsstadium nicht abschließend möglich. Das Kriterium „Klimarelevanz“ wird in der weiteren Planung und bei der Variantenentscheidung entsprechend der städtischen Vorgaben berücksichtigt werden.

10 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Konzepts wurden nach aktuellem Kenntnisstand alle wichtigen Themen aufgegriffen, die für die Ermittlung der zukünftigen Bedarfsdeckung der biologischen Kapazitäten im Klärwerksverbund erforderlich sind. Durch die intensive Bewertung der aktuellen Ist-Situation in beiden Klärwerken konnten Optimierungspotentiale lokalisiert werden. Das bis heute etablierte Verfahren zur Denitrifikation in den Sandfiltern wird in absehbarer Zeit so nicht mehr zur Verfügung stehen. Bezogen auf die gesamte Denitrifikationskapazität der beiden Klärwerke ist der Anteil der Sandfilter, der durch die gezielte Zugabe einer Kohlenstoffquelle möglich ist, mit ca. 390.000 EW (aktueller Grenzwert: 13 mg/l für N_{ges}) abzuschätzen. Bei einer heutigen Gesamtkapazität der beiden Anlagen von ca. 2,4 Mio. EW, würde das Defizit ohne Sandfilterdenitrifikation ca. 16 % betragen. Um dieses zu kompensieren, ist in beiden Klärwerken Belegungsvolumen für eben diese 390.000 EW zu schaffen. Hinzu kommen noch zusätzliche einwohnerspezifische Frachten, gesetzliche Änderungen oder Grenzwertverschärfungen. Diese Triebkräfte sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Aktuell versucht die EU, die kommunale Abwasserbehandlung mit Hilfe der EU-Kommunalabwasserrichtlinie neu zu ordnen und für alle Mitgliedsstaaten zu vereinheitlichen. Der aktuelle Entwurf dieser Richtlinie (Stand 10/2022) und die anschließenden Diskussionen zwischen europäischem Rat, Parlament, Kommission und Interessensverbänden umfassen zurzeit noch sehr vage bzw. unkonkrete Aspekte, die aber auch zu einem direkten Handlungsbedarf für die MSE führen werden. Neben möglichen Grenzwertverschärfungen und der Verknüpfung der Anforderungen an die Abwasserreinigungsleistung mit einer bestimmten Temperatur ($>12^{\circ}\text{C}$) gibt es noch die Forderung nach einer weitergehenden Abwasserreinigung durch eine Anlage zur Spurenstoffelimination. Insbesondere eine nicht auszuschließende Verschärfung der zulässigen Ablaufkonzentration von anorganischem Gesamtstickstoff im Ablauf der Kläranlagen könnte zu erheblichen Investitionsbedarf führen.

Für die Bevölkerungsentwicklungen wurde mithilfe von drei Szenarien versucht, ein möglichst großes Spektrum möglicher Entwicklungen abzudecken. Neben einem, als realistisch einzustufenden mittleren Szenario wurden auch ein minimales und ein maximales Szenario abgeschätzt. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Wegfalls der Sandfilterdenitrifikation ergibt sich bei gleichbleibenden Ablaufgrenzwerten eine Spannweite der drei Szenarien von $390.000 + 178.000 = 568.000$ EW (min.) bis $390.000 + 568.000$ EW = 958.000 (max.). Realistisch wird das mittlere Szenario angesehen, was einem zusätzlichen Bedarf an biologischer Kapazität von 750.000 EW (Substitution der Sandfilter: ca. 390.000 EW + Bevölkerungsentwicklung: 360.000 EW) entspräche.

Unter strategischen Gesichtspunkten ist es sinnvoll, diesen Bedarf auf beide Klärwerke aufzuteilen. Mit der Erweiterung in beiden Klärwerken wird im Endausbauzustand für das Jahr 2040 ein gewisses Maß an Flexibilität bei der Verteilung der Abwasserströme geschaffen. Durch die Umnutzung, den Umbau und durch Neubauten im Klärwerk I kann kurz- bis mittelfristig relativ schnell zusätzliche Kapazität geschaffen werden. Im Klärwerk II gibt es eine

eigens für Erweiterungen vorgesehene Freifläche. Die Erweiterung auf dieser Fläche bietet viele Entfaltungsmöglichkeiten bei der Umsetzung, es werden aber auch durch die Herausforderung der Eingliederung der neuen Anlage in den Bestand viele Zwangspunkte geschaffen. Eine nicht zu unterschätzende Komponente ist die zeitliche Realisierbarkeit dieses Neubaus. Mit den Planungsvorläufen wird die Erweiterung im Klärwerk II nicht vor 2033 bis 2035 in Betrieb genommen werden können. Die Maßnahmen im Klärwerk I sind zwar deutlich schneller zu realisieren und schaffen früher eine Entlastung, reichen aber für die Deckung des kompletten Bedarfs nicht aus.

In diesem Konzept wurde für die aus heutiger Sicht mögliche Entwicklung ein Baukasten mit ergänzenden Maßnahmen geschaffen, um auf alle absehbaren Eventualitäten eingehen zu können. Die Maßnahmen bauen gut aufeinander auf und finden in einem mittleren Bevölkerungsszenario ihren vorläufigen Endausbauzustand mit der Inbetriebnahme der Erweiterung am Klärwerk II.

Neben den skizzierten Erweiterungen bei den biologischen Kapazitäten ist ein weiterer Schwerpunkt dieses Konzeptes die Integration einer Anlage zur Spurenstoffelimination im Klärwerk II und danach im Klärwerk I. Im Rahmen des Entwurfs der EU-Kommunalabwasserrichtlinie (Stand 10/2022) werden konkrete Umsetzungszeiträume genannt. Für die Größenklasse der Münchner Klärwerke wäre ein verpflichtender Betrieb einer solchen Anlage ab 2030 (Klärwerk II) bzw. 2035 (Klärwerk I) vorgesehen. Im Rahmen der Verhandlungen des Parlaments, des Rats und der Kommission, werden momentan die genauen Realisierungsfristen noch diskutiert. Parallel zu den Aktivitäten auf EU-Ebene besteht aktuell die Möglichkeit einer Förderung durch den Freistaat Bayern (Sonderförderprogramm - AWVIER), wenn die MSE bzw. die Landeshauptstadt München freiwillig eine solche Anlage im Klärwerk Gut Marienhof umsetzt. Voraussetzung für die Förderung ist eine Machbarkeitsstudie, die bis Q3/2024 eingereicht werden muss. Eine solche Studie wurde bereits im September 2023 beauftragt und befindet sich aktuell in der Bearbeitung durch zwei Ingenieurbüros. Mit der Fertigstellung ist voraussichtlich in Q3/2024 zu rechnen. Wenn die laufende Machbarkeitsstudie für die Nachrüstung einer 4. Reinigungsstufe im Klärwerk Gut Marienhof in der Gesamtbetrachtung zu einem positiven Ergebnis führt, ist fristbedingt unverzüglich der Förderantrag anzufertigen und zu stellen. Im Hinblick auf die vorgegebenen Fristen des Fördergebers und die EU-Gesetzgebung ist, im Falle eines positiven Bescheids, mit der Planung zu beginnen. Sollten sich bis dahin neue Finanzierungsmöglichkeiten der Anlage durch die „erweiterte Herstellerverantwortung“ ergeben und dadurch eine finanzielle Mehrbelastung der Gebührenzahler*innen vermieden werden können, wird die MSE das in ihrer Strategie berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

Bayerische Abwasserverordnung (AbwV) von 2001. Quelle: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayIVUAbwWPBV> (aufgerufen am 05.12.2023)

Bayerisches Immissionsschutzgesetz (BayImSchG) (2019). Quelle: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayImSchG> , (aufgerufen am 05.12.2023)

Bevölkerungsprognose 2023 bis 2040 (2023) Herausgeber: Landeshauptstadt München

DIN EN ISO 14001:2015-11- Umweltmanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (2015), Beuth Verlag

DWA-A 131 "Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen" (2015), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA-M 230-2 „Treibhausgasemissionen bei der Abwasserbehandlung – Teil 2: Motivation und Vorgehen zur Erstellung von CO₂e-Bilanzen“ (2022), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA-M 285-2 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 2: Einsatz von Aktivkohle – Verfahrensgrundsätze und Bemessung“ (2021), Herausgeber: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) – Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (2000), Quelle: <https://www.bmuv.de/gesetz/richtlinie-2000-60-eg-zur-schaffung-eines-ordnungsrahmens-fuer-massnahmen-der-gemeinschaft-im-bereich-der-wasserpolitik>, (aufgerufen am 05.12.2023)

Europäische Kommission (2022) - Entwurf zur EU-Kommunalabwasserrichtlinie / Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Neufassung)

Gesamtentwässerungsplan Teil II Klärwerke (1992), Herausgeber: Münchner Stadtentwässerung

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) (2009), Quelle: https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/BJNR258510009.html, (aufgerufen am 05.12.2023)

Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz - AbwAG) (2018), Quelle: <https://www.gesetze-im-internet.de/abwag/BJNR027210976.html>, (aufgerufen am 05.12.2023)

Klärschlammprognose (Version 2022), Herausgeber: Münchner Stadtentwässerung

Nationale Wasserstrategie des Bundes (2023), Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), Quelle: <https://www.bmu.de/wasserstrategie> (aufgerufen am 05.12.2023)

Sonderförderprogramm zum Bau von vierten Reinigungsstufen zur weitestgehenden Elimination von Spurenstoffen nach Nr 2.4 ZRZWAS 2021 vom Freistaat Bayern (AWVIER-Az. 58g-U4414.0-2021/4-3) (2023), https://www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/abwasser/sonderprogramm_vierte_reinigungsstufe.htm

Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemischen und Klärschlammkompost - Klärschlammverordnung (AbklärV) (2017), Herausgeber: Bund. Quelle: https://www.lexsoft.de/cgi-bin/lexsoft/justizportal_nrw.cgi?xid=7925532,1, (aufgerufen am 05.12.2023)

11 Anhang

A1 Ausführliche Beschreibung der Abwasserinhaltsstoffe (Langfassung für Kapitel 3.1)

Nachfolgend werden hier ausführlich die einzelnen Abwasserinhaltsstoffe und deren Auswirkungen auf das Gewässer dargestellt.

A1.1. Kohlenstoffverbindungen

Diese werden in der Regel über Summenparameter erfasst. Summenparameter haben den Vorteil, dass sie leichter zu bestimmen sind als einzelne Kohlenstoffverbindungen. Zu den gängigsten Summenparametern zählen:

- BSB (biologischer Sauerstoffbedarf)
- CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf)
- ggf. auch TOC (total organic carbon - gesamter organischer Kohlenstoff)

Unabhängig vom Parameter ist es erstrebenswert, die abbaubaren Kohlenstoffverbindungen möglichst effizient in einem Klärwerk zu eliminieren und nicht ins Gewässer gelangen zu lassen. Werden biologisch abbaubare Kohlenstoffverbindungen in ein natürliches Gewässer eingeleitet, fungieren diese als Substrat für Mikroorganismen zum Aufrechterhalt ihres Energiestoffwechsels sowie zur Reproduktion. Dabei verbrauchen diese den in unbelasteten Gewässern gelöst vorkommenden Sauerstoff in Abhängigkeit des „Nahrungsangebots“. Übersteigt die Einleitung die Selbstreinigungskapazität des Gewässers, d. h. wird der gelöste Sauerstoff durch mikrobiellen Stoffwechsel aufgezehrt, verenden höher entwickelte Lebewesen und das Gewässersystem gerät aus dem Gleichgewicht („kippt um“).

Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB₅)

Unter BSB₅ wird der biologische Sauerstoffbedarf in fünf Tagen, d. h. die Menge O₂, welche Mikroorganismen zur Oxidation organischer Verbindungen innerhalb von fünf Tagen verbrauchen, verstanden. Faktisch ist der BSB₅ ein Summenparameter für leicht abbaubare organische Verbindungen, z. B. Glucose (Einfachzucker) oder Stärke.

Die BSB₅ – Frachten im Zulauf der beiden Klärwerke sanken seit Ende der 80er Jahre um ca. 30 %. Die Ursache für das Absinken der BSB₅-Frachten liegt vor allem in der Verringerung des Eintrags aus dem industriellen und gewerblichen Bereich (insbesondere Lebensmittelindustrie).

Der Anteil des BSB₅- Eintrags aus diesen Quellen sank von 44 % im Jahr 1990 auf 15 % im Jahr 2005, nicht zuletzt auch wegen der Einführung des sog. Starkverschmutzerzuschlags. (Erläuterung Starkverschmutzer: Im Sinne der Gleichbehandlung müssen Industrie und Gewerbe eine höhere Gebühr für die Behandlung von stark verschmutztem Abwasser zahlen.

Durch geeignete Vorbehandlungen auf dem eigenen Grundstück können sie diese Verschmutzungen reduzieren und fallen nicht mehr unter den Starkverschmutzerzuschlag) Demgegenüber deutlich nachrangig sind die Veränderungen in den Ernährungsgewohnheiten der Menschen. Bis zum Jahr 2020 hat sich die Zulaufmenge zu den Klärwerken hinsichtlich des BSB₅ nicht proportional zum Zuwachs der angeschlossenen Einwohner*innen (EW) entwickelt (Stagnation anstatt Zunahme). Der einzuhaltende Ablaufgrenzwert liegt in den Klärwerken bei 15 mg_{BSB}/l.

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) ist der Summenparameter für die organischen Verbindungen im Wasser, welche sich mit chemischen Oxidationsmitteln oxidieren lassen. Der chemische Sauerstoffbedarf liegt immer über dem biologischen Sauerstoffbedarf, da durch die chemische Oxidation bei erhöhter Temperatur annähernd alle Kohlenstoffverbindungen (auch biologisch schwer oder nicht abbaubare) mitefassen werden. Wie die BSB₅ – Fracht verringerte sich auch die des CSB im Zulauf der Klärwerke seit Ende der 80er Jahre um ca. 30 %. Der Grund dafür ist ebenfalls im Rückgang der industriellen und gewerblichen Einleitungen in das Kanalnetz zu sehen.

Beide Klärwerke fallen aufgrund ihrer Auslegungskapazität über 100.000 EW in die Größenklasse 5, für welche als Mindestanforderung 75 mg/l CSB im Kläranlagenablauf gilt. Zur Reduzierung der zu entrichtenden Abwasserabgabe wurden diese Werte auf 40 mg_{CSB}/l am Klärwerk I sowie 35 mg_{CSB}/l am Klärwerk II erklärt.

A1.2. Stickstoffverbindungen

Stickstoff kommt im Rohabwasser hauptsächlich als organisch gebundener Stickstoff (N_{org}), sowie als Ammonium-Ion (NH₄⁺) vor. Im natürlichen Gewässer sind es vor allem die Ammonium-Ionen, welche im Gewässer für höher entwickelte Lebewesen problematisch werden können. Höheren Wassertemperaturen und pH-Werte begünstigen die Umwandlung dieser Ammonium-Ionen in Ammoniak, welches bereits in geringen Konzentrationen eine erhebliche Fischgiftigkeit besitzt. Nitrat-Stickstoff (NO₃), welcher das Produkt der Nitrifikation in der Kläranlage darstellt, wirkt vor allem in maritimen Gewässern eutrophierend, d. h. begünstigend auf das Algenwachstum.

Ammonium- und Kjeldahl-Stickstoff (TKN)

Die Summe der beiden N-Fractionen (organischer Stickstoff und Ammoniumstickstoff) werden laboranalytisch als Kjeldahl-Stickstoff erfasst. Nach dem biologischen Reinigungsprozess sollten diese Verbindungen entfernt oder annähernd vollständig in anorganischen Stickstoff umgewandelt sein. Die Ablaufgrenzwerte an beiden Klärwerken beziehen sich daher auf den Ammonium- sowie den anorganischen Gesamtstickstoff (N_{ges}).

- Klärwerk I: NH₄-N 10 mg/l * N_{ges} 13 mg/l (Mindestanforderung)
 - Klärwerk II: NH₄-N 2,3 mg/l N_{ges} 13 mg/l (Mindestanforderung)
- *(nach IBN Bio 1 im Klärwerk I 5 mg/l)

Dabei ist zu beachten, dass diese Grenzwerte nur vom ersten April ($\text{NH}_4\text{-N}$) bzw. ersten Mai (N_{ges}) bis zum 31. Oktober wasserrechtlich verpflichtend sind. Das Winterhalbjahr über soll eine möglichst vollständige Nitri- und Denitrifikation nach bester Möglichkeit angestrebt werden (vgl. Wasserrechtsbescheid).

Nitrat- und anorganischer Gesamtstickstoff

In den Belebungsbecken werden organische Stickstoffverbindungen und Amine in Ammonium- und schließlich in Nitrationen umgewandelt (oxidiert). Dafür verantwortlich sind nitrifizierende Bakterien, welche vor allem im Belebtschlamm der 2. Biologischen Stufe vorkommen.

Nach der 2. Biologischen Reinigungsstufe liegt der Stickstoff fast ausschließlich in oxidiert Form als Nitrat-Stickstoff vor. Die Konzentration ist jedoch noch zu hoch, um den Grenzwert für den anorganischen Gesamtstickstoff im Ablauf einhalten zu können. Mittels biologischer Denitrifikation kann Nitratstickstoff unter der Abwesenheit von Sauerstoff (anoxisches Milieu) in elementaren (gasförmigen) Stickstoff umgewandelt und somit aus dem Abwasser entfernt werden.

Die Denitrifikation erfolgt an beiden Münchner Kläranlagen auf drei verschiedene Arten:

- Vorgeschaltete Denitrifikation in der Biologie 1: Geklärtes Abwasser wird vor der Sandfiltration abgezogen und in den Zulauf zur ersten Biologie zurückgepumpt. In eigens dafür eingerichteten unbelüfteten Zonen veratmen die Mikroorganismen im Belebtschlamm den im Nitrat chemisch gebundenen Sauerstoff.
- Simultane Denitrifikation in der 2. Biologischen Stufe: Seit ca. 2013 wird an beiden Klärwerken Rohabwasser in die 2. Biologischen Stufen geleitet. Am Klärwerk I war dies durch die Umbaumaßnahmen an der ersten biologischen Stufe zwangsweise erforderlich, am Klärwerk II wurde der Rohabwasserbypass durch Umnutzung eines bestehenden Rohrleitungssystems bewusst herbeigeführt. Dieses Rohabwasser fungiert als Kohlenstoffquelle, womit die Mikroorganismen in der Lage sind, das von den Nitrifikanten gebildete Nitrat ähnlich wie in der 1. Biologie zu veratmen. Dazu mussten in den zweiten biologischen Stufen ursprünglich belüftete Zonen in teilweise abgetrennte unbelüftete Zonen mit Rührwerken umgewandelt werden.
- Nachgeschaltete Denitrifikation im Sandfilter: Bei Bedarf wird Methanol als Kohlenstoffquelle auf die Filterzellen des Sandfilters gegeben und eine bedarfsgerechte Denitrifikation erzielt. Dies ist jedoch mit verfahrenstechnischen Nachteilen verbunden, welche in den späteren Kapiteln noch beschrieben werden.

A1.3. Phosphor

In den süßwasserführenden Fließgewässern oder auch Oberflächengewässern stellt Phosphor in der Regel den limitierenden Faktor hinsichtlich des Algenwachstums dar. Es existiert daher ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Umfang der eingeleiteten Phosphat-Fracht und dem Grad des Algenvorkommens in hiesigen Oberflächengewässern.

Orthophosphat und Gesamtphosphor

Abwässer enthalten Phosphor als Salze der Phosphorsäure, als Phosphate und Polyphosphate. Phosphorverbindungen sind wichtige Bestandteile der menschlichen Nahrung und werden sowohl mit pflanzlicher Kost als auch mit Eiweiß aufgenommen. In das Abwasser gelangen die Phosphate nicht nur über menschliche Ausscheidungen, sondern auch über gewerbliche und industrielle Abwässer, da Phosphorverbindungen z. B. zur Trocknung von Gasen und zur Oberflächenvergütung von Metallen verwendet werden.

Im Klärprozess wird ein gewisser Teil der Phosphate von den Mikroorganismen zum Zellaufbau und Energiestoffwechsel genutzt. Dieser Anteil kann daher über den Überschussschlammabzug aus dem System entfernt werden. Unter bestimmten Voraussetzungen können die Mikroorganismen auch angeregt bzw. gezwungen werden, insgesamt mehr Phosphor in der Zelle zu speichern und damit die Summe des über den Überschussschlamm abziehbaren Phosphoranteils zu erhöhen. Verfahrenstechnisch spricht man dabei von einer gezielten biologischen Phosphorelimination. Zu einem gewissen Teil stellt sich dieser Effekt in den ersten biologischen Stufen an beiden Klärwerken von selbst ein und trägt damit zur Reduzierung der P-Konzentration bei.

Zur sicheren Einhaltung des bisherigen Grenzwertes im Ablauf der Kläranlagen ist die Zugabe von Eisen- und Aluminiumsalzen zur chemischen Fällung des Orthophosphats erforderlich. Die Ablaufgrenzwerte für die Phosphorverbindungen werden aktuell in beiden Klärwerken schrittweise auf 0,5 mg_{P_{ges}}/l bis 2024 bzw. 2027 abgesenkt. Weitere Absenkungen könnten ggf. mit der Umsetzung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie noch folgen. Die Entwicklungen sind zu beobachten. Die gebildeten schwerlöslichen Eisen- bzw. Aluminiumsalze werden schließlich zusammen mit dem Überschussschlamm aus dem Klärprozess abgezogen und in der Klärschlammverbrennungsanlage (KVA) thermisch verwertet. Aus der Klärschlammmasche kann zukünftig mit technischen Anlagen eine Rückgewinnung von Phosphor erfolgen. Diese ist auch ab 2029 gesetzlich vorgesehen.

A1.4. Abfiltrierbare Stoffe (AfS)

Gewässerökologisch sind die von den Kläranlagen emittierten abfiltrierbaren Stoffe im Normalfall von vernachlässigbarer Bedeutung für das Gewässer. Der Grenzwert für AfS beträgt 15 mg/l und ist nur bei Trockenwetter einzuhalten. Im Ablauf der Nachklärungen beider Klärwerke liegen im Trockenwetterfall in der Regel AfS-Konzentrationen zwischen 5 und 15 mg/l vor. Nach der Sandfiltration liegen die Konzentrationen jedoch fast ausnahmslos unter 1-2 mg/l, wodurch die Grenzwerte an beiden Klärwerken sicher eingehalten werden.

A1.5. Schwermetalle

Schwermetalle können in Gewässern vielfältige unerwünschte Wirkungen nach sich ziehen. Jedoch lagern sich diese bei der biologischen Abwasserbehandlung mittels Belebtschlammverfahren bevorzugt in den Schlammflocken an und werden somit im

Klärschlamm zurückgehalten. Da der Klärschlamm der Münchner Klärwerke nicht mehr landwirtschaftlich verwertet, sondern in der Klärschlammverbrennungsanlage (KVA) thermisch verwertet wird, gelangen die gebundenen Schwermetalle nicht in die Umwelt bzw. in das Gewässer.

A1.6. Spurenstoffe

Der Begriff Spurenstoffe umfasst ein weites Spektrum unterschiedlichster anthropogener, in der Regel synthetisch hergestellter oder chemisch veränderter Substanzen. Zu diesen Stoffen gehören u. a. Arzneimittel, Pestizide, Fungizide, Industriechemikalien. Chemisch betrachtet weisen diese Stoffe signifikante Unterschiede (chemischer Aufbau, Zusammensetzung, Abbaubarkeit etc.) auf. Nach derzeitigem Stand gibt es für die Spurenstoffelimination keine rechtlichen Grundlagen / Anforderungen, weshalb sie nach der Satzung der MSE auch nicht gebührenfähig ist. Durch das Fehlen der rechtlichen Rahmenbedingungen gibt es weiterhin keine festen (Grenz-) Werte, die bei einer Spurenstoffeliminationsanlage eingehalten werden sollen.

Die Spurenstoffelimination aus dem Abwasser ist generell mit hohem Energie- und Ressourcenaufwand verbunden und daher aus gesamtökologischer Sicht nicht unumstritten. Die seit dem Jahr 2021 stark gestiegenen Energiepreise sprengen zudem alle in der Vergangenheit angestellten ökonomischen Sensitivitätsanalysen zum Betrieb einer 4. Reinigungsstufe.

Dennoch ist die MSE bestrebt, die Entwicklungen hinsichtlich einer sogenannten 4. Reinigungsstufe (Synonym für die Spurenstoffelimination) in anderen Bundesländern oder der Schweiz genau zu verfolgen. Bei Neubauprojekten auf den Kläranlagen oder geplanten verfahrenstechnischen Veränderungen ist daher die Integrierbarkeit einer 4. Reinigungsstufe zu berücksichtigen.

A1.7. Mikroplastik

Das Thema Mikroplastik in der Umwelt hat in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit gewonnen. Hierbei wird häufig zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik unterschieden. Während primäres Mikroplastik gezielt hergestellt und eingesetzt wird, beispielsweise in Peelings oder Reinigungsmitteln, entsteht sekundäres Mikroplastik aus größeren Plastikprodukten. Kunststoffmüll gelangt in die Umwelt und zerfällt dort zu Mikroplastik, das in vielen Umweltkompartimenten nachweisbar ist. Weite Teile der Gesellschaft scheinen sich einig zu sein, dass Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags von Mikroplastik erforderlich sind. Beispiele hierfür können Substitutionen von Plastikprodukten, technische Lösungen zum Rückhalt der Partikel in verschiedenen Bereichen oder auch bewussterer Umgang mit Kunststoffprodukten sein.

Der Prozess der Probennahme und der Analytik ist ein hochkomplexes Themenfeld. Um sich dieser Thematik dennoch zu nähern, hat die MSE im Zeitraum von 2017-2020 an mehreren Forschungsprojekten als assoziierter Partner mitgewirkt. Somit konnte die MSE einen ersten Einblick in das doch sehr komplexe Themenfeld erlangen. Die wenigen Analysen, die in beiden Klärwerken von speziellen Laboren nach einem entsprechenden Analyseprotokoll durchgeführt wurden, zeigen ein sehr hohes Rückhaltepotential der im Abwasser enthaltenen Mikroplastikpartikel. Das Mikroplastik, das über das Abwasser in die Klärwerke gelangt, wird zum größten Teil in den Schlammflocken gebunden. Die verbliebenen Partikel werden durch die nachfolgende Filtration fast vollständig entfernt. Nachgewiesen wurden im Klärwerk Gut Marienhof Rückhalteraten von 99,9 % des ursprünglich im Abwasser enthaltenen Mikroplastiks. Diese Ergebnisse decken sich mit anderen Studien und Erfahrungen von Klärwerken, die über eine zusätzliche Filtration im Anschluss an die Nachklärbecken verfügen. Nach heutigem Stand kann der verbliebene Teil an Mikroplastikpartikeln nur mit extrem hohen Aufwendungen entfernt werden. Diese Aufwendungen (u. a. Energie) stehen aber in keinem Verhältnis zu dem zu erwartenden Nutzen.

Diese Tatsache führt dazu, dass im weiteren Verlauf dieses Konzepts die Mikroplastik-Thematik in den strategischen Überlegungen zur Optimierung der Klärwerke keine weitere Rolle mehr spielt. Sollten sich die rechtlichen Randbedingungen hierzu ändern, würde die MSE das Thema gesondert behandeln und Lösungsstrategien erarbeiten.

A1.8. Keime/Multiresistente Keime

Als Multiresistente Keime werden pathogene Keime bezeichnet, welche durch natürliche Mutation Gene zum Schutz vor der Wirkung bekannter Antibiotika erworben haben. In Krankenhäusern, Alten- und Pflegeheimen, vor allem aber in der Nutztiermast werden verstärkt Antibiotika eingesetzt, was den Selektionsdruck hin zu resistenten Mikroorganismen in diesen Habitaten befördert. Regelmäßig in der Natur, vor allem in Oberflächengewässern nachgewiesene antibiotikaresistente Mikroorganismen sind sehr wahrscheinlich auf diese Emittenten zurückzuführen. In der Vergangenheit traten jedoch keine relevanten Ereignisse in Zusammenhang mit antibiotikaresistenten Keimen in München, im Münchner Umland, dem Kanalnetz oder der Münchner Klärwerke auf. Ein Handlungsmotiv hinsichtlich dieser Thematik liegt daher heute und in absehbarer Zeit nicht vor.

Im Gegensatz zu anderen Großklärwerken der Bundesrepublik besteht für das Klärwerk Gut Marienhof seit dem Jahr 2006 eine Verpflichtung, den Ablauf der Kläranlage vor der Einleitung in die Rest-Isar zu hygienisieren. Grund dafür ist ein vom Freistaat Bayern gefördertes Projekt zur Sicherstellung der Badewasserqualität in der Isar, welche durch eine Vereinbarung mit den Klärwerksbetreibern geregelt wird. So verpflichteten sich die in die Isar einleitenden Kommunen von Lenggries bis Moosburg, ihren Kläranlagenablauf entsprechend zu behandeln. Am Klärwerk Gut Marienhof sowie auf den anderen betroffenen Kläranlagen wird das gereinigte Abwasser in einer UV-Desinfektionsanlage mit UV-Licht bestrahlt und damit eine Keimreduktion um den Faktor 10.000 bis 100.000 erzielt.

Diese physikalische Behandlung garantiert die annähernd vollständige Entkeimung, eventuell vorhandene Multiresistente Keime miteingeschlossen. Im Rahmen der Eigen- und der amtlichen Überwachung wird bei den Proben aus dem Kläranlagenablauf die Bestimmungsgrenze der Keimzählung regelmäßig unterschritten. Diese liegt bei einem Bruchteil des Grenzwerts der EU-Badegewässerrichtlinie für sehr gute Badegewässerqualität. Während des Betriebs der UV-Anlage am Klärwerk II von Mitte April bis Mitte Oktober kann deshalb von einer weitgehenden Hygienisierung des Kläranlagenablaufs ausgegangen werden.

Am Klärwerk Gut Großlappen existiert eine solche Anlage nicht, jedoch erfolgt dort auch die Einleitung des Ablaufs in die Fischteiche des mittleren Isarkanals, welche nicht als Badegewässer genutzt werden. Hinzu kommt auch noch, dass durch die sehr langsamen Fließzeiten in Kombination mit einer großen Oberfläche in den Fischteichen eine natürliche Desinfektion durch das Sonnenlicht zu erwarten ist.

Sollte sich zukünftig die Notwendigkeit einer weitergehenden Reinigungsstufe (4. Reinigungsstufe) zur Spurenstoffelimination ergeben, so hätte eine Abwasserbehandlung mit Ozonung auch eine Verringerung der Keimzahlen im Ablauf zur Folge. Nach derzeitigen Erkenntnissen ist diese nicht so weitreichend wie die UV-Bestrahlung, jedoch in der Regel ausreichend, um dem Kläranlagenablauf gute bis sehr gute Badewasserqualität nach EU-Badegewässerrichtlinie bescheinigen zu können. Die MSE berücksichtigt das Thema im Rahmen einer Spurenstoffelimination, eine gesonderte Betrachtung innerhalb dieses Konzeptes erfolgt nicht.