



Steuerungsgruppe Grundlagenstudie
Regionale Abwasserentsorgung Greifensee (RAG)
Kanton Zürich

Phosphor aus Siedlungsgebieten – Emissionen, Massnahmen und Vari- antenvergleich

Technischer Bericht

Objekt Nr. 8457.99
Winterthur, 12. August 2026

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:

Projektname: Regionale Abwasserentsorgung Greifensee (RAG)

Version: 1.1

Erstelldatum: 15. Dezember 2025

Letzte Änderung: 12. August 2026

Autor: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur

Tel. 052 234 50 50

E-Mail: info@hunziker-betatech.ch

Philipp Beutler, Michael Rostan, Anna Steinegger

(mit Beiträgen von Julia Ledergerber (AWEL), Pius Niederhauser (AWEL))

Koref. Adrian Sigrist

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	3
2	Thematische Einführung	6
2.1	Ausgangslage Einzugsgebiet Greifensee	6
2.2	Phosphoreinträge: Historische und aktuelle Situation	9
2.3	Phosphoreinträge: Bisherige Massnahmen zur P-Reduktion	10
2.4	Phosphoreinträge: Zielwert 2050	11
2.5	Relevanz des P-Zielwerts für Natur, Mensch und Wirtschaft	12
2.6	Eutrophierung in Schweizer Seen: vergleichbare Studien	13
3	Projektorganisation RAG	14
3.1	Organe, Steuerungsgruppe und Projektsteuerung	14
3.2	Meilensteine, Projektablauf und Finanzierung	15
3.3	Projektziel und Leitfragen	16
4	Daten und Grundlagen	17
4.1	Grundsätzliches/Randbedingungen	17
4.2	Software	18
4.3	Ausgangslage Daten und Informationen	18
4.4	Einzugsgebietsflächen und Einwohnerwerte	21
4.5	Schmutz- und Fremdwasseranfall	24
4.6	Phosphorfracht im Schmutzabwasser	25
4.7	Phosphorfracht aus Oberflächenabtrag	26
4.8	Phosphorfracht aus Fremd- und Grundwasser	30
4.9	Tagesgänge Trockenwetteranfall und Frachten	30
4.10	Niederschlagsdaten	32
5	Modellierung	36
5.1	Abflussentstehung	36
5.2	Modellierung von Trennsystemen	36
5.3	Modellierung von Versickerungsanlagen	37
5.4	Parametrisierung Sonderbauwerke	37
5.5	Parametrisierung P-Elimination auf ARA	38
5.6	Modellierung Phosphor aus Oberflächenabtrag	38
5.7	Modellplausibilisierung	39
6	Variantenerstellung und Variantenbeschrieb	40
6.1	Vorgehen	40
6.2	Ideensammlung Varianten	41
6.3	Einzelmassnahmen	43
6.4	Kombinationsvarianten	45
6.5	Grobprojektierung	58
7	Resultate	68
7.1	P-Emissionen im Ist- und Prognose-Zustand	68
7.2	Reduktionswirkung Phosphor durch Einzelmassnahmen	72
7.3	Reduktionswirkung Phosphor durch Kombinationsvarianten	77
7.4	Grobprojektierung und Kostenschätzung	78
7.5	Unsicherheitsbetrachtung und Sensitivitätsanalyse	84
8	Fazit technische Abklärungen und Ausblick	95
8.1	Schlussfolgerungen	95

8.2	Ausblick RAG	96
8.3	Weitergehende Empfehlungen RAG	101
9	Literatur- und Referenzverzeichnis	107
10	Abkürzungsverzeichnis / Glossar	117
11	Anhang – Übersicht und Kennwerte Sonderbauwerke	120
12	Beilagen	127

1 Kurzfassung

Ausgangslage: Die Belastung des Greifensees durch Phosphor

Im Vergleich mit anderen Seeinzugsgebieten in der Schweiz besitzt der flache und kleine Greifensee die mit Abstand höchste Besiedlungsdichte (ca. 850 Einwohner/-innen pro Quadratkilometer, Kap. 2.1). Aufgrund menschlicher Einflüsse ist der Greifensee seit mehreren Jahrzehnten eutrophiert, d. h. überdüngt mit Nährstoffen (Kap. 2.2). Unter den Nährstoffen ist insbesondere der Phosphor der massgebliche Indikator für den hohen «Nährstoffgehalt» im See.

Ein massgeblicher Teil des Phosphors gelangt über das Abwasser aus den Siedlungsgebieten in den Greifensee (Kap. 2.1). Für diese Phosphoremissionen existieren drei Haupteintragspfade: Abläufe von Abwasserreinigungsanlagen (ARA), Entlastungen aus Mischabwasser (MW) und Einleitungen aus Trennsystemgebieten (TS).

Trotz diverser Massnahmen zum Gewässerschutz in der Vergangenheit insbesondere bei den ARA (Kap. 2.3) ist die Wasserqualität im Greifensee noch immer nicht gut. Untersuchungen der kantonalen Gewässerschutzbehörde (AWEL) zeigen, dass die Emission von Phosphor aus den Siedlungsgebieten auf $\leq 1.6 \text{ t/a}$ sinken muss, damit der Greifensee langfristig eine gute Wasserqualität erhält (Kap. 2.4).

Projektauftrag «Regionale Abwasserentsorgung Greifensee»

Eine Steuerungsgruppe aus Vertreter/-innen der ARA-Standortgemeinden und unter Projektleitung des AWEL erkundete im Zeitraum 2023-2026 Massnahmen für eine Reduktion der Phosphoreinträge aus Siedlungsgebieten (Kap. 3). Das Projekt «Regionale Abwasserentsorgung Greifensee» (RAG) sollte Lösungen identifizieren, die nicht auf die Gemeinde- oder ARA-Verbandsperimeter begrenzt waren. Es wurden drei Leitfragen im Prozess der Projektbearbeitung beantwortet:

1. **Quantifizierung Ist- und Prognose-Zustand:** Über welche Eintragspfade und in welchen Mengen gelangt Phosphor aus dem Abwasser heute sowie zukünftig (2050) in den Greifensee?
2. **Reduktionspotenzial:** Welches Reduktionspotenzial besteht hinsichtlich der Phosphorbelastung durch integrale Massnahmen? Welche Massnahmen können innerhalb der Siedlungsentwässerung (TS, MW) als auch bei den ARA einzeln oder gemeindeübergreifend umgesetzt werden?
3. **Wirtschaftlichkeit und Organisationsformen:** Welche Massnahmen weisen die beste Wirtschaftlichkeit auf und welche Organisationsformen sind für deren Umsetzung erforderlich?

Methodisches Vorgehen im Projekt

Es wurden Modelle für das gesamte Einzugsgebiet (EZG) des Greifensees erstellt und Langzeitsimulationen (>20 Jahre) zu den Phosphoremissionen der Abwassersysteme durchgeführt (Kap. 5). Basis für die Modellierung waren kommunale Grundlagen aus den Generellen Entwässerungsplanungen (GEP), Messdaten der ARA sowie erfahrungsbasierte Annahmen aus (inter-)nationalen Projekten mit ähnlichen Fragestellungen (Kap. 4). Die Annahmen zur zukünftigen Entwicklung im Einzugsgebiet basieren auf kantonalen Bevölkerungsdaten und einer Analyse der Bauzonen in den Gemeinden (Kap. 4.4). Die Simulationen lieferten Resultate für den Ist- (2022/2023) sowie den Prognose-Zustand (2050) und die weiterverfolgten Varianten. Die Bedeutung von Daten- und Modellunsicherheiten wurde geprüft, um eine Einordnung ihre Auswirkungen auf die Studienresultate zu ermöglichen (Kap. 7.5).

Die Identifikation von technischen Massnahmen zur Reduktion der P-Emissionen und die schrittweise Ausgestaltung der Varianten erfolgte in mehreren Runden gemeinsam mit der Steuerungsgruppe und während zwei Workshops mit dem technischen Betriebspersonal von ARA und Werken/Siedlungsentwässerung aus dem Einzugsgebiet (Kap. 6.1). Getestet hinsichtlich ihrer Wirkung auf die P-Reduktion wurden einzelne, technische Massnahmen (Einzelmassnahmen, Kap. 6.3) sowie Kombinationsvarianten (mehrere Massnahmen parallel, Kap. 6.4). Anschliessend wurden Grobprojektierungen durchgeführt (Kap. 6.5) und Kostenschätzungen vorgenommen (Kap. 7.4).

Resultate der vorliegenden Studie

Leitfrage 1: Die Studie «RAG» zeigte, dass die heutigen, jährlichen Phosphoremissionen aus Siedlungsgebieten mit rund 4.4 t_P/a zu ähnlich grossen Teilen aus den ARA-Abläufen, Mischabwasserentlastungen und Trennsystemeinleitungen stammen (Kap. 7.1). Entwickeln sich die Siedlungen im EZG weiter wie bisher, wachsen die P-Emissionen bis ins Jahr 2050 auf rund 6 t_P/a an, wobei alle Emissionspfade einen Zuwachs verzeichnen würden (Abbildung 1). Gegenüber dem für die Gewässerqualität notwendigen Zielwert von ≤1.6 t_P/a zeigt sich sowohl im Ist- (+175 %) wie auch im Prognose-Zustand (+275 %) deutlicher Handlungsbedarf. Die Studie zeigte auch, dass die einzelnen ARA-EZG Phosphor in unterschiedlichen Mengen aus den drei Eintragspfaden emittieren (Abbildung 2) bedingt durch deren individuelle, historisch geprägte Ausgestaltung der lokalen Abwassersysteme (Kap. 7.1.4).

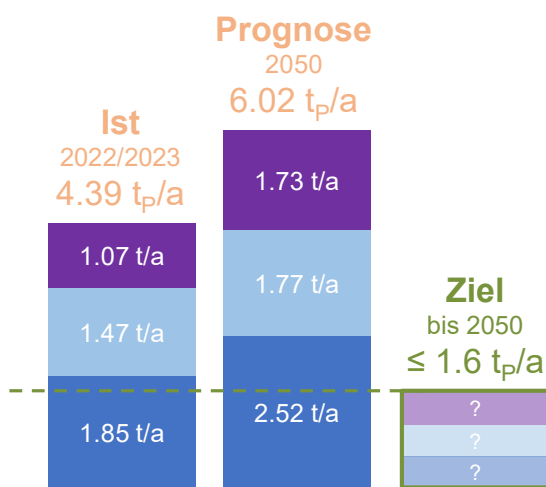


Abbildung 1: P-Emissionen im Ist-/Prognose-Zustand aufgeteilt nach den drei Eintragspfaden im Vergleich zum Zielwert P-Emissionen.

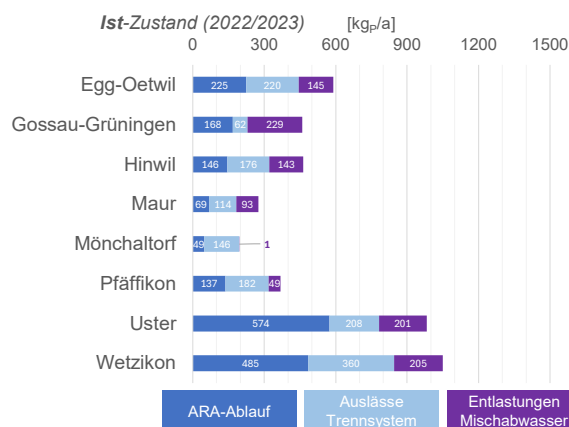


Abbildung 2: Modellierte Phosphoremissionen im Ist- und Prognose-Zustand aufgeteilt nach den drei Eintragspfaden aus dem Siedlungsgebiet (ARA, TS, MW) und aufgeschlüsselt für jedes ARA-Einzugsgebiet.

Leitfrage 2: Die Studie zeigte, dass eine ausreichend grosse Anzahl von möglichen Technologien und Massnahmen existiert, die hinsichtlich ihrer Reduktionswirkungen auf die P-Emissionen als wirkungsvoll identifiziert wurden (Kap. 6.3). Diese können auf unterschiedliche Weise klug miteinander kombiniert werden (Kap. 6.4/7.3), sodass sie effiziente Wirkungen bei der P-Reduktion erzielen und passgenaue Lösungen für die einzelnen ARA-Einzugsgebiete bereitstellen.

Im Projekt RAG wurden vier Kombinationsvarianten weiterverfolgt, in denen verschiedene ARA-Standorte, Technologien und Massnahmen zum Einsatz kommen (Abbildung 3 unten und Kap. 7.3). Alle vier Kombinationsvarianten sind in der Lage, das P-Emissionsziel von ≤1.6 t_P/a zu erreichen.

Kurzfasit der technischen Abklärungen

Für Entscheidungsträger/-innen in den Gemeinden und Städten existiert somit eine gute Ausgangslage: es liegen verschiedene Optionen vor, aus denen gewählt werden kann – es muss nicht zwangsläufig nur ein Konzept, eine Variante oder eine Technologie zur Anwendung kommen. Relevant ist die Anerkennung der Phosphorproblematik im EZG Greifensee als Gemeinschaftsziel, d. h., dass die Betreiber/-innen der Abwassersysteme diese als nur gemeinsam lösbare Aufgabenstellung wahrnehmen und überkommunal, d. h. im gesamten Einzugsgebiet Massnahmen miteinander koordinieren (Kap. 7.3).

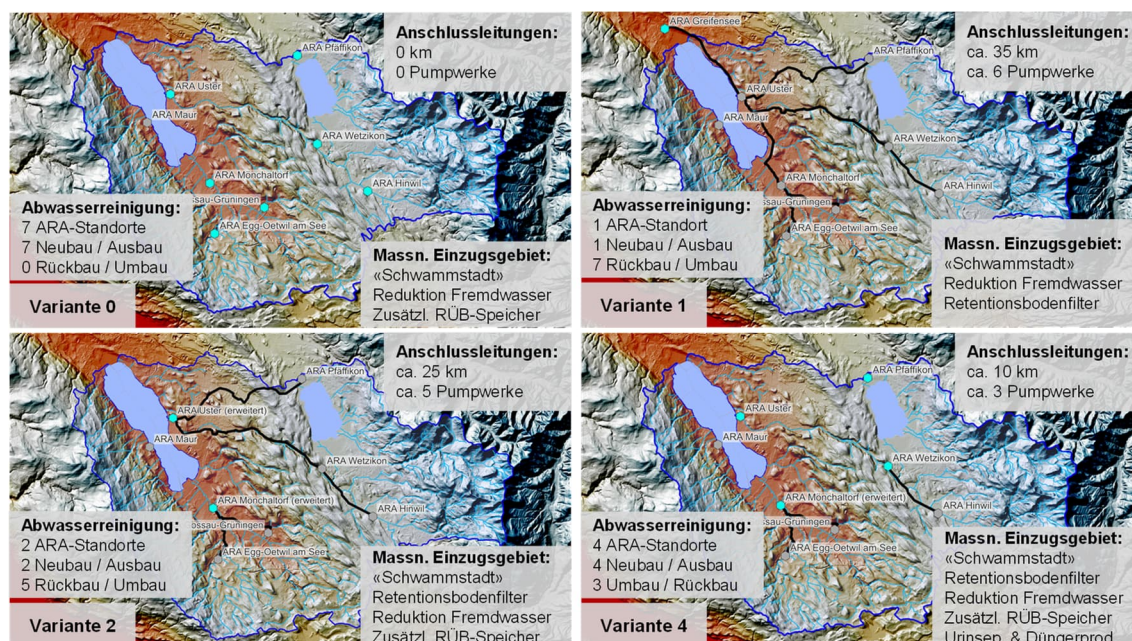


Abbildung 3: Übersicht über die vier weiterverfolgten Kombinationsvarianten (0, 1, 2, 4) im Projekt RAG. Angegeben sind zudem die für jede Variante notwendigen Anpassungen am Abwassersystem in Bezug auf ARA (grau = aufzuhebende ARA-Standorte; türkis = beizubehaltende oder neue ARA-Standorte), Anschlussleitungen (schwarze Linien) und Massnahmen in der Siedlungsentwässerung und auf Liegenschaften («Massn. Einzugsgebiet»).

Kostenfolgen der Kombinationsvarianten und mögliche Organisationsformen

Leitfrage 3: Basierend auf den Resultaten der vorliegenden Studie wurden begleitend Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die vier Kombinationsvarianten gemacht. Zusätzlich wurden mögliche Organisationsformen geprüft, die eine geordnete Massnahmenkoordination gewährleisten und Optionen für die Zusammenarbeit bei Betrieb und Unterhalt der Abwassersysteme bieten. Die Ergebnisse dieser Betrachtungen sind dargestellt in einem zweiten Bericht [68]. Darin wird auch präsentiert, wie sich die vier Kombinationsvarianten langfristig auf die Kostenentwicklung der Abwasserinfrastrukturen im EZG Greifensee auswirken.

Bedeutung der Studienresultate und weiteres Vorgehen

Auf Basis der erarbeiteten Studienresultate und einer Informationsveranstaltung für Vertreter/-innen aller Gemeinden im EZG Greifensee (05.02.2026) wurde durch die Steuerungsgruppe und die Projektleitung vorgeschlagen, das bisherige, gute Zusammenarbeitsmodell fortzuführen (Kap. 8.2). Als möglicher nächster Schritt ist die Ausarbeitung eines Regionalen Entwässerungsplans (REP) angedacht. Dabei handelt es sich um ein kantonales, behördenverbindliches Planungsinstrument, mit dessen Hilfe die langfristige Planung und Umsetzung der identifizierten Massnahmen zur Reduktion der P-Emissionen gemeindeübergreifend koordiniert werden könnte.

Die erarbeiteten Ergebnisse der Studie können bereits Eingang finden in die Planung der Abwassersysteme der Gemeinden haben, z. B. über die GEP (Kap. 8.2.3). Es stellte sich heraus, dass einige der wirkungsvollen Massnahmen zur P-Reduktion sogenannte «Ohnehin-Aufgaben» der Abwassersystembetreiber sind. Sie können zeitnah in die Umsetzung gebracht werden und benötigen keine neuen Gesetzesgrundlagen. Für spätere Umsetzungen und Konkretisierungen der Studienresultate auf Gemeinde- und Einzugsgebietsebene wurden abschliessend verschiedene, weitergehende Empfehlungen zusammengestellt (Kap. 8.3).

2 Thematische Einführung

2.1 Ausgangslage Einzugsgebiet Greifensee

Der Greifensee liegt im Bezirk Uster des Kantons Zürich und hat ein Wasserspeichervolumen von rund 148.5 Mio. m³ Wasser [9]. Die Zuflüsse zum See werden aus einem ca. 166 km² grossen Einzugsgebiet gespeist. Aufgrund anthropogener Einflüsse ist der See seit mehreren Jahrzehnten eutrophiert, d. h. überdüngt mit Nährstoffen. Unter den Nährstoffen ist insbesondere der Phosphor der massgebliche Indikator für den Eutrophierungsgrad des Sees (= «Nährstoffgehalt»). Ein «zu viel» an Phosphor führt auch im Greifensee zu unerwünschten Nebenwirkungen, zu denen z. B. das periodische Wachstum von gesundheitsgefährdenden Blaualgen (Cyanobakterien, Abbildung 4) und eine instabile Veränderung des Seeökosystems gehören.



Abbildung 4: Hinweisschild auf gesundheitsgefährdende Blaualgen im Einzugsgebiet des Greifensees.
Quelle: AWEL 2022, www.zh.ch/blaualgien.

Im Vergleich mit anderen See-einzugsgebieten in der Schweiz, zeigt sich die Besonderheit des Greifensees. Für seine geringe Grösse besitzt er die mit Abstand höchste Besiedlungsdichte in seinem Einzugsgebiet mit aktuell rund 850 Einwohner/-innen pro Quadratkilometer (Abbildung 5). Dementsprechend sind die möglichen P-Emissionen aus dem Siedlungsgebiet ebenfalls hoch (Kap. 7.1.2, Abbildung 28) und erfordern im Vergleich zu anderen Einzugsgebieten ambitionierte Massnahmen zur Einhaltung der erforderlichen Gewässerschutzbedingungen.

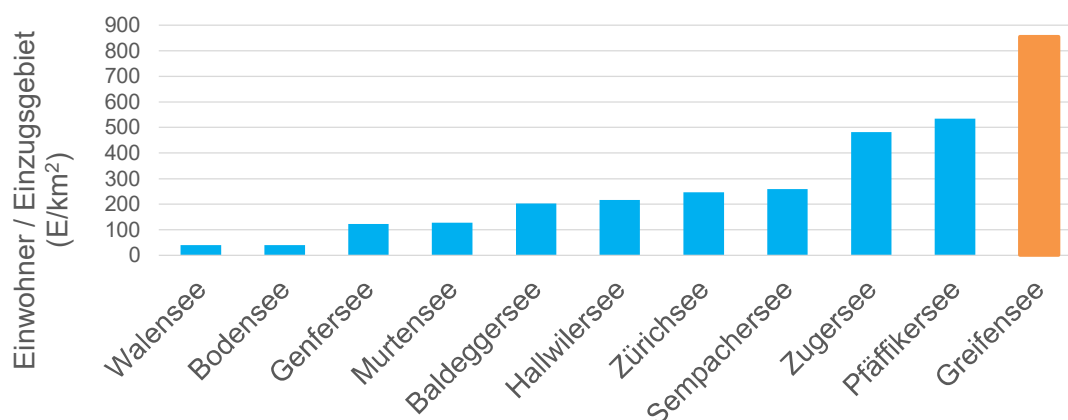


Abbildung 5: Spezifische Besiedlungsdichte verschiedener Einzugsgebiete von Schweizer Seen. Quelle Grafik: AWEL, RAG-Informationsveranstaltung 05.02.2026. Quelle Daten: Faktenblätter BAFU (2016) adaptiert mit Bevölkerungsdaten von 2022 für das EZG Greifensee.

Phosphor aus Abwasser

Phosphor stammt aus verschiedenen Quellen in der Natur, der Landwirtschaft und dem Siedlungsgebiet (Kap. 2.2). Aus dem Siedlungsgebiet wird Phosphor v. a. über das Abwasser in die Gewässer eingetragen. Phosphor liegt im Abwasser in gelöster und partikulärer Form vor. Er befindet sich in fast allen Abwässern aus Haushalten, Gewerbe, Industrie und gelangt zudem bei Regen durch das Abschwemmen von Oberflächenmaterial von Liegenschafts- und Verkehrsflächen in das Regenabwasser (z. B. Laub, Bodenpartikel). Die einzelnen Eintragsquellen von Phosphor aus Siedlungsgebieten können je nach Einzugsgebiet vielfältig sein [29]. Der Gesamtphosphor (P_{tot}) umfasst die Summe des gelösten und partikulären Phosphors. Je nach Belastungsquelle ist dieser Phosphor in unterschiedlichem Anteil biologisch verfügbar, das heisst, dass Phytoplankton (z. B. Algen) diesen Phosphor für den Aufbau von Biomasse verwerten kann. Somit trägt der biologisch verfügbare Phosphor (P_{bio}) direkt zur Eutrophierung des Sees bei.

Abbildung 6 zeigt vereinfacht die möglichen Emissionspfade für Phosphor aus dem Abwasser in die Gewässer. Bei trockenen Wetterbedingungen wird Abwasser aus den Siedlungsgebieten zur Kläranlage geleitet und dort gereinigt. Die Leistungen der ARA im EZG Greifensee in Bezug auf die Elimination von Phosphor sind hoch und haben strengere Anforderungen als z. B. anderenorts im Kanton Zürich (Kap. 2.3). Trotz Einhalten dieser strengeren Anforderungen bleiben auch im gereinigten Abwasser Phosphorrückstände erhalten, die über den ARA-Ablauf permanent in die Gewässer eingeleitet werden (Abbildung 6, links, dunkelblaue Leitung). Bei Regenwetter kommen zwei zusätzliche Emissionspfade hinzu. Einerseits wird Regenabwasser, das mit Phosphor belastet sein kann, über Trennsystemauslässe häufig direkt und ohne Vorbehandlung in die Gewässer eingeleitet (Abbildung 6, rechts, hellblaue Leitung). Andererseits kann es bei stärkeren Regenereignissen dazu kommen, dass Mischabwasser (lila Leitung) bei Erreichen der Kapazitätsgrenze des Abwassersystems in die Gewässer entlastet wird. Durch Mischabwasser gelangt Phosphor aus Abwässern von Haushalten, Gewerbe und Industrie sowie vom Regenabwasser in die Gewässer.

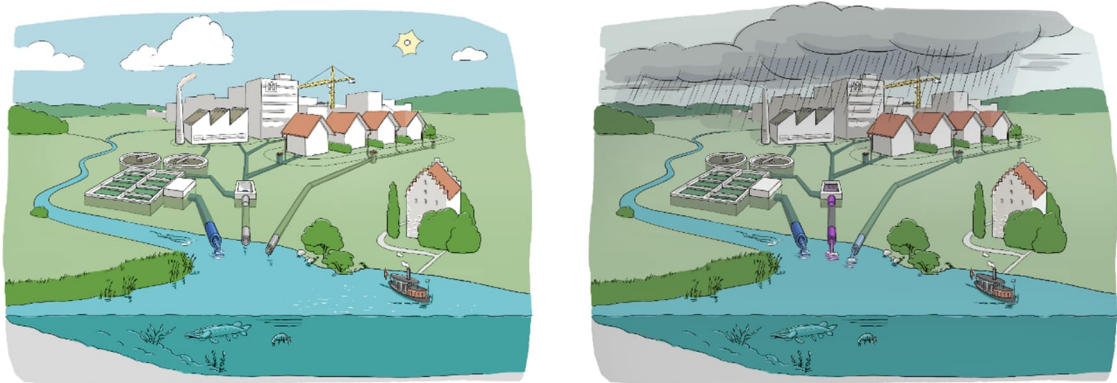


Abbildung 6: Emissionspfade (= Eintragswege ins Gewässer) für Phosphor aus dem Siedlungsgebiet bei Trockenwetter (links) und bei Regenwetter (rechts). Quelle: AWEL, 2024.

Der aus dem Abwasser stammende Phosphor gelangt über die Einleitungen der Siedlungsentwässerung aus 14 Gemeinden und acht ARA über das Fließgewässernetz in den Greifensee. Die ARA-Standorte, betroffene Gemeinden und ein grobes Gewässersystem sind in Abbildung 7 ersichtlich.



Abbildung 7: Übersicht der 8 ARA-Standorte und deren ARA-EZG im hydrologischen Einzugsgebiet des Greifensees im Ist-Zustand (Quelle: AWEL, 2026). Hinweis Die ARA im EZG Fällanden ist nicht eingezeichnet, da diese in die dem Greifensee entspringende Glatt entwässert. Der Gemeindename der Seeanrainergemeinde «Schwerzenbach» fehlt in der Grafik.

2.2 Phosphoreinträge: Historische und aktuelle Situation

Aufgrund seiner Einzugsgebietsbesiedlung besitzt der Greifensee bereits eine 100-jährige Eutrophierungsgeschichte [3][22]. Um das Jahr 1910 wurden letztmalig gute Gewässerqualitäten dokumentiert, jedoch ab den 1920er Jahren zahlreiche Fischsterben aufgrund eutrophierungsbedingten Sauerstoffmangels [110] und bereits 1941 wurde er als hochbelastet klassifiziert [89]; Abbildung 8).

Eine umfassende Phosphorbilanz für den Greifensee wurde letztmals vor rund 23 Jahren erstellt [4], bei der auch die Emissionen aus ARA [98] und der SE [136] berücksichtigt wurden. Die damalige Phosphorkonzentration im Seewasser am Ende der Zirkulationsphase im Frühjahr wurde mit $75 \mu\text{g}_\text{P}/\text{l}$ bestimmt (bei einem Zielwert von $<25 \mu\text{g}_\text{P}/\text{l}$). Der P_{bio} stammte damals zu 20 % aus den im Einzugsgebiet liegenden ARA, zu 32 % aus der Siedlungsentwässerung (SE) und zu 34 % aus der Landwirtschaft. Den Rest machte der Abfluss des Pfäffikersees (6 %) und die natürliche Hintergrundbelastung (8 %) aus. Insgesamt resultierte damit etwas mehr als die Hälfte der P-Emissionen aus dem Siedlungsgebiet. Die Landwirtschaft war im EZG Greifensee nicht der dominierende Phosphoreintragspfad.

Aktuell gemessene Werte aus der Periode 2020-2023 identifizierten eine mittlere Phosphorkonzentration von $46 \mu\text{g}_\text{P}/\text{l}$ im Seewasser des Greifensees am Ende der Zirkulationsphase im Frühjahr. Die Konzentrationen liegen somit weiterhin deutlich über der Zielvorgabe, die Werte von $<25 \mu\text{g}_\text{P}/\text{l}$ vorgibt [8]. Eine aktuelle Studie der Eawag hat gezeigt, dass für eine deutliche Verbesserung der Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser des Greifensees während der Stagnationsphase sogar Werte von $<18 \mu\text{g}_\text{P}/\text{l}$ erforderlich sind [70][71][72].

Die Erkenntnisse der früheren und aktuellen Phosphoreinträge nach Herkunft/Verursacher in das Einzugsgebiet des Greifensees stellen sich wie folgt dar (Tabelle 1).

Tabelle 1: Phosphoreinträge im EZG Greifensee von verschiedenen Emissionsverursachern. Werte in [Tonnen/Jahr] gemittelt für die jeweilige Periode. Frühere P-Einträge (1991-2002, Quelle: [4]) und aktuelle Phosphoremissionen (2020-2023; Quellen: vorliegende Studie Kap. 7.1.2 (*) und AWEL, 2026). Angaben «Anteil P_{bio} » geben an, aus welchen anteiligen Quellen die Summe P_{bio} stammt.

Herkunft	1991-2002			2020-2023		
	P_{tot} [t/a]	P_{bio} [t/a]	Anteil P_{bio} [%]	P_{tot} [t/a]	P_{bio} [t/a]	Anteil P_{bio} [%]
Diffuse Quellen (Landwirtschaft, natürliche Hintergrundbelastung sowie Deposition auf See)	7.44	4.35	43	$3 \cdot 10^1$	2.48	42
Abfluss Pfäffikersee	0.57	0.57	6	0.3^1	0.3	4
ARA	2.03	2.03	51	1.72^2	1.72	54
Entlastung Mischabwasser	1.6	1.6		1.02^2	1.02	
Regenauslässe Trennsystem	1.6	1.6		1.29^2	1.29	
Total	13.2	10.2	---	7.4^1	6.8	---

1 Hinweis AWEL: Die Phosphorbilanz nach Herkunft wurde über den Phosphoreintrag in den Greifensee abgeschätzt. Für den Eintrag wurde der Mittelwert aus drei Werten verwendet (Abschätzung über Messungen von Zuläufen, Abschätzung über gemessene Konzentration im See, Abschätzung über Abfluss Glatt). Für die Landwirtschaft wird ein konstantes Verhältnis zwischen P_{tot} und P_{bio} angenommen. Für das Abwasser wird davon ausgegangen, dass P_{tot} vollständig als P_{bio} vorliegt.

2 Werte sind aus vorliegender Studie aber exklusive der P-Emissionen aus Siedlungsgebieten im EZG Pfäffikersee, die in «Abfluss Pfäffikersee» summiert wurden.

Klar erkennbar ist, dass innerhalb der letzten 25 Jahre bereits eine deutliche Reduktion der P-Emissionen um rund 1/3 erfolgt ist. Allerdings liegen die Einträge von P_{bio} mit $6.8 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$ noch deutlich über den für den Greifensee erträglichen $3.4 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$ (Kap. 2.4). Für eine ausgewogene Phosphorbilanz des Greifensees muss die Summe der Einträge weiter reduziert werden. Um das Qualitätsziel von $25 \mu\text{g}_\text{P}/\text{l}$ zu erreichen,

muss der Eintrag sämtlicher Quellen von P_{bio} auf unter 3.4 t/a gesenkt werden [99]. Es besteht damit anhaltender Handlungsbedarf für die Reduktion des biologisch verfügbaren Phosphors P_{bio} auch aus Eintragspfaden des Abwassers.

2.3 Phosphoreinträge: Bisherige Massnahmen zur P-Reduktion

Die Eutrophierung des Greifensees durch Phosphor ist spätestens seit den 1950er Jahre ein herausforderndes Problemfeld für die Gemeinden und Städte im Einzugsgebiet. Dem sich bis in die späten 1970er Jahre verschärfenden Problem wurden seitdem eine Reihe von Massnahmen entgegengestellt (Abbildung 8).

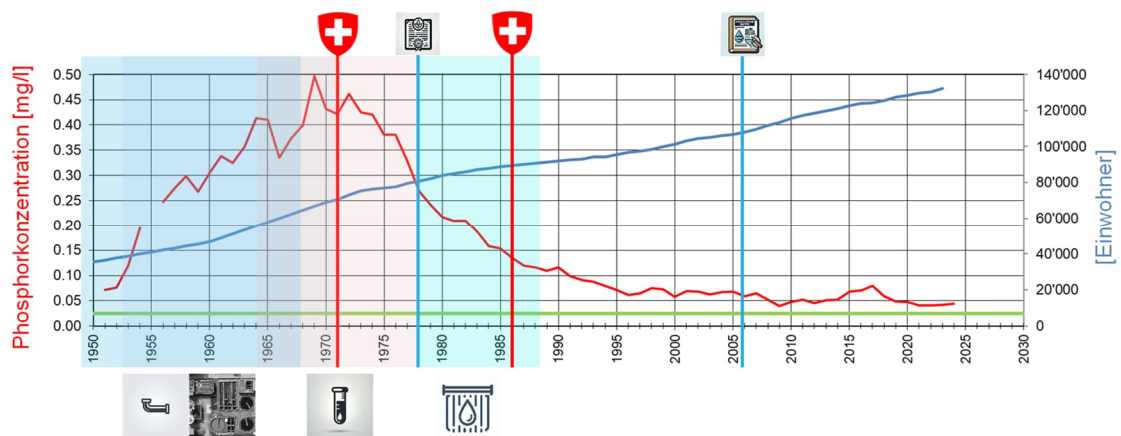


Abbildung 8: Historische Kurzdarstellung verschiedener Entwicklungen im Einzugsgebiet des Greifensees seit den 1950er Jahren: Einwohnerzahlen (blaue Linie), Phosphorkonzentration im See (rote Linie), grossflächiger (Aus-)Bau von Kanalisationen (hellblauer Bereich, auch bereits vor 1950), (Aus-)Bau von ARA (dunkelblau gefärbt; 1956-1972), Einführung der chemischen Phosphorfällung auf ARA (rot gefärbt, 1960/70er), Bau von Flockungsfiltrationen auf ARA (türkis gefärbt, ab 1970/80er), Vorschrift zur Phosphorfällung bei ARA im EZG von Seen gemäss 2. Gewässerschutzgesetz GSchG (1971), Verfügung über durchschnittlich strenger P-Ablaufkonzentrationen mittels Flockungsfiltrationen für ARA im EZG Greifensee durch Regierungsratsbeschluss (RRB Nr. 1877, 1978), schweizweites Verbot von Phosphaten in Waschmitteln (1986), kantonaler Massnahmenplan Wasser Einzugsgebiet Greifensee (2006). Nicht dargestellt: Inkraftsetzung (1941) und Revision (1994) Schutzverordnung Greifensee. Quelle Grafik: AWEL, 2025.

Die zunehmende Besiedlung im EZG Greifensee sowie die im frühen/mittleren 20. Jahrhundert umgesetzte Direktableitung aller Abwasserströme ins Gewässer durch den Bau der Kanalisationen (und vor dem Bau der ARA) führte zu einem starken Anstieg der Phosphorkonzentrationen und damit zur Überdüngung/Eutrophierung des Greifensees. Die in den anschliessenden Jahrzehnten in Angriff genommene, konsequente und weitreichende Umsetzung von Massnahmen zum Gewässerschutz haben bereits grosse Teilerfolge erzielt.

Klar erkennbar ist aus Abbildung 8 auch, dass die Gewässerschutzmassnahmen dazu geführt haben, dass eine anhaltende Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung überwiegend entkoppelt werden konnten von negativen Auswirkungen auf den Gewässerqualität. Dem Gewässerschutzziel angepasste Massnahmen könnten auch zukünftig dafür sorgen, dass keine Abwägung zwischen einer anhaltenden, wirtschaftlich positiven Entwicklung der Siedlungsgebiete und der Wasserqualität im EZG Greifensee gemacht werden muss.

Trotz der bisherigen Erfolge der letzten Jahrzehnte, besteht weiterhin Optimierungspotenzial zur Reduktion der Phosphoreinträge aus ARA und SE. Die Phosphorkonzentrationen im See haben sich in den letzten 20 Jahren kaum verändert und stagnieren auf einem mässigen bis unbefriedigenden Niveau (Abbildung 9).

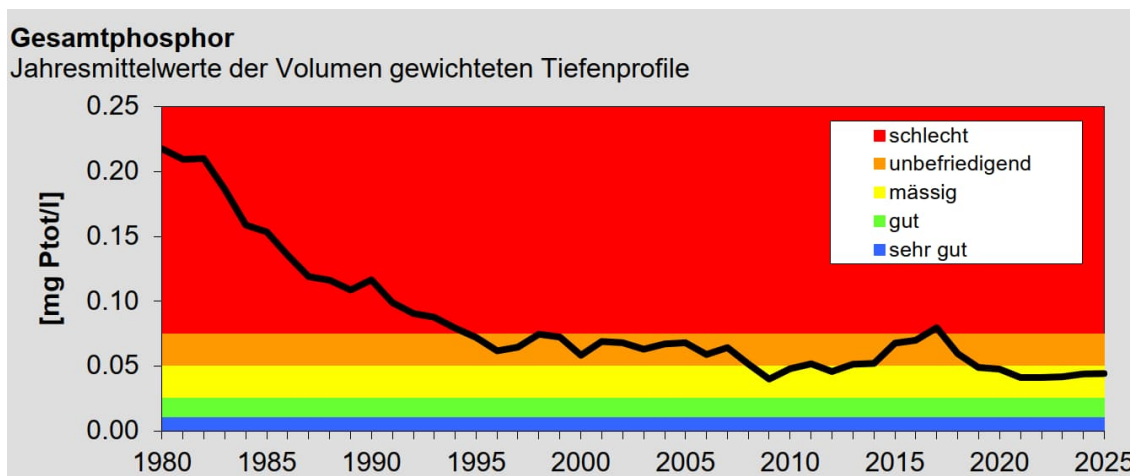


Abbildung 9: Ausschnitt aus den historischen und aktuellen Messwerten der Phosphorkonzentration im Greifensee zwischen 1980 bis 2025 (Quelle: [9]). Farblich hinterlegt ist die Klassifizierung für die Gewässerqualität (vgl. Legende). Für eine gute Wasserqualität muss die P_{tot} -Konzentration im Greifensee dauerhaft im grünen Bereich bleiben.

Geforderte ARA-Leistungen für Phosphorelimination im EZG Greifensee

Im Kanton Zürich werden die Anforderungen für die Restkonzentration Phosphor im Ablauf der ARA gemäss der kantonalen Vollzugshilfe verfügt [6][51], welche die Empfindlichkeit der Gewässer berücksichtigt. Grössere ARA müssen allgemein eine maximale Konzentration des Gesamtphosphors P_{tot} von 0.2 mg_P/l einhalten. Diese Anforderung kann in der Vollzugshilfe gewässerspezifisch verschärft werden. Für ARA im EZG des Greifensees gilt eine Verschärfung der Anforderungen seit 1978 (RRB [112]). Für den Grenzwert gilt 0.2 mg_P/l und im Jahresmittel muss ein Zielwert von ≤ 0.1 mg_P/l erreicht werden. Wird der Zielwert nicht erreicht, müssen betriebliche Optimierungsmassnahmen ergriffen werden.

Die Grenz- und Zielwerte wurden seitdem sukzessive mit den Ausbau- und Erweiterungsetappen der einzelnen ARA angewendet und an die jeweiligen Einleitgenehmigungen geknüpft. Die Ablaufwerte werden heute v. a. durch eine an die biologische Abwasserreinigung vor- oder nachgeschaltete Phosphorfällung mit anschliessender Flockungsfiltration erreicht. Insgesamt müssen ARA im EZG Greifensee im Vergleich zu anderen ARA im Kanton Zürich eine mindestens doppelt so gute Reinigungsleistung hinsichtlich Phosphors erbringen.

Die meisten Massnahmen zur Reduktion der P-Emissionen wurden in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten bei den ARA umgesetzt (z. B. zusätzliche Reinigungsstufen und bessere Verfahrenstechnologien). Untersuchungen für die ARA Uster im Jahr 2021 zeigten, dass beim heutigen ARA-Ausbaustandard weitere Reduktionen nur erreicht werden können, wenn durch eine integrale Betrachtung verschiedene Massnahmen bei der ARA und der SE aufeinander abgestimmt werden [56]. Sind technische Verbesserungen allein nicht ausreichend, können grossräumige Varianten geprüft werden (Kap. 6).

2.4 Phosphoreinträge: Zielwert 2050

Die Zielwerte der P-Emissionen wurden durch die kantonale Gewässerschutzbehörde (AWEL) auf Basis des Ziels einer guten Wasserqualität für einen nährstoffarmen Greifensee definiert (= re-oligotrophiert). Seitens AWEL wird davon ausgegangen, dass durch Massnahmen im Abwasserbereich die Konzentration im Pfäffikersee weiter reduziert werden kann und somit der Eintrag P_{bio} aus dem Pfäffikersee in den Greifensee von aktuell rund 0.3 t_P/a zukünftig auf 0.2 t_P/a gesenkt wird.

Mit einem pragmatischen Ansatz wurde für die Zieldefinition 2050 eine Gleichverteilung der Herkunft des P_{bio} aus diffusen Quellen (Landwirtschaft und natürliche Hintergrundlast z. B. aus Grundwasser) so-

wie aus den Siedlungsgebieten (= Abwasser) festgelegt. Um die Gesamtemission P_{bio} von 3.4 t_P/a einhalten zu können, wird somit der Emissionsgrenzwert für beide Herkunftsbereiche bei je 1.6 t_P/a definiert (Tabelle 2).

Tabelle 2: Zielwert der maximalen, jährlichen Phosphoreinträge [t_P/a] in den Greifensee nach Herkunft/Verursacher (Quelle: AWEL, 2026). Angaben «Anteil P_{bio} » geben an, aus welchen anteiligen Quellen die Summe P_{bio} stammt.

Herkunft	Zielwert 2050		
	P_{tot} [t/a]	P_{bio} [t/a]	Anteil P_{bio} [%]
Diffuse Quellen (Landwirtschaft, natürliche Hintergrundbelastung sowie Deposition auf See)	2	1.6	47
Abfluss Pfäffikersee	0.2	0.2	6
Abwasser gesamt	1.6	1.6	47
Total	3.8	3.4	---

Hinweis zur ARA «Pfäffikon-Schanz»: Die ARA leitet in den Pfäffikersee ein und trägt somit zum Phosphoreintrag aus dem Pfäffikersee in den Greifensee bei (Kap. 2.1, Abbildung 7). Anstrengungen bezüglich der Reduktion des Eintrags von Phosphor aus dem Abwasser sind somit auch an der ARA sowie in den an die ARA Pfäffikon-Schanz angeschlossenen Gemeinden angezeigt.

2.5 Relevanz des P-Zielwerts für Natur, Mensch und Wirtschaft

Die Gewässerschutzverordnung (GSchV, [51]) gibt vor, dass der Nährstoffgehalt in Schweizer Seen höchstens zu einer «mittleren Biomasseproduktion» führen darf. Die Übertragung dieser existierenden und zielgebenden Rechtsgrundlage in Konzentrationswerte für Phosphor findet sich in der limnologischen Fachliteratur [70]: das nicht zu überschreitende Konzentrationslevel im Frühjahr liegt u. a. für den Greifensee bei <30 µg/l. Damit befindet sich der Greifensee weiterhin oberhalb der für die «mittlere Biomasseproduktion» relevanten Schwellenwerte. Die in der GSchV geforderten und dem Gewässerschutz dienenden Bedingungen sind noch nicht eingehalten.

Setzt sich die bisherige wirtschaftliche Positiventwicklung im EZG Greifensee fort, ohne dass ausreichende Massnahmen getroffen werden, dann nimmt die Phosphorkonzentration im Greifensee aufgrund steigender Emissionen aus dem Siedlungsgebiet zu (Kap. 7.1.3) und damit die Wasserqualität ab. Die möglichen Negativeffekte einer schlechteren Wasserqualität können sich verstärken und häufiger, länger und intensiver auftreten, z. B. Badeverbote aufgrund giftiger Algenblüten; Fischsterben durch sich ausbreitende, sauerstofffreie Totzonen im Gewässer; unattraktives Erscheinungs- und Geruchsbild im Sommer durch ein nicht mehr funktionierendes Gewässerökosystem.

Gleichzeitig sinkt der Kosten-Nutzen-Effekt der bisherigen Bemühungen zum Gewässerschutz zunehmend: bestehende Abwasseranlagen müssen aufgrund von Alterungserscheinungen instandgesetzt und Investitionen mit Mitteln der Gebührenzahlenden getätigt werden. Diese Investitionen erreichen aber bei einer ungeminderten Wirtschaftsentwicklung nicht – je zukünftiger, desto weniger – die geforderten Gewässerschutzziele, wenn die Abwassersysteme nicht den steigenden Gewässerschutzanforderungen angepasst werden. Ökonomisch bewertet verschlechtert sich das Kosten-Nutzen-Verhältnis (und kippt ggf. in den negativen Bereich), da Abwassergebühren aufgewendet werden, um das «Halten» eines nicht ausreichenden Gewässerschutzes (= der Greifensee bleibt eutrophiert) zu ermöglichen.

Die Fortführung der Bemühungen zur weiteren Reduktion der P-Emissionen in den Greifensee sind für die Wasserqualität und somit das Gewässerökosystem, die Menschen und den Wirtschaftsstandort relevant. Ein nährstoffarmer Greifensee bietet eine robuste Lebensgrundlage für eine Vielzahl an Lebewesen im und am See auch unter Bedingungen eines zunehmenden Klimawandels [94][96] (vgl. Kap. 7.5.7).

Ein re-oligotrophierter Greifensee verringert das Risiko für das Auftreten potenziell giftiger Algenblüten, sodass die Wasserqualität tendenziell eine ganzjährig bedenkenlose Nutzung durch Badende und Wassersportler ermöglicht. Die in der Region anzutreffenden Warnhinweise könnten seltener zum Einsatz kommen (Kap. 2.1, Abbildung 4). Gleichzeitig zeigen Untersuchungen beim Hallwilersee (Kt. AG/LU), dass gerade eine baldige Reduktion der P-Emissionen sinnvoll sein könnte, da das Auftreten der Cyanobakterien komplexen Zusammenhängen unterliegt und auch Jahre nach einer Re-Oligotrophierung noch zu relevanten Ereignissen führen kann [33][134]. Auch international ist bekannt, dass Ansätze gegen die massenhafte Entwicklung von Cyanobakterien langfristig ausgelegt sein müssen, da es keine bekannten und nachhaltigen Ad-hoc-Massnahmen gibt [29].

Ein Badensee mit unbedenklicher Wasserqualität ist attraktiv für Bewohnerinnen und Bewohner im Einzugsgebiet. Ein ökologisch und stofflich «gesunder» Greifensee fungiert gleichzeitig als Anziehungspunkt für Touristen. Er bietet eine hohe Lebens- und Aufenthaltsqualität im regionalen Umfeld und ist damit ein Treiber für einen attraktiven Gastgewerbe- und Immobilienstandort, wodurch in zweiter Linie auch das Versorgungsgewerbe und lokale KMU (Fachkräfteangebot) profitieren können.

2.6 Eutrophierung in Schweizer Seen: vergleichbare Studien

Für das EZG Greifensee wurden spezifische Untersuchungen zur Eutrophierungssituation bereits seit mehreren Jahrzehnten durchgeführt (Kap. 2.2). Die Eutrophierung aufgrund zu hoher Nährstoffeinträge spielt auch in anderen Schweizer Seen seit längerer Zeit eine relevante Rolle – neben anderen Frage-/Problemstellungen. Vielerorts wurden durch den Aufbau leistungsfähiger Abwassersysteme in den letzten 40 Jahren deutliche Erfolge beim Gewässerschutz erreicht, die jedoch nicht überall zu einer Wiederherstellung der geschädigten Ökosysteme beitragen konnten [36][70][71].

In den EZG des Baldeggersees (LU) sowie des Schiftenensees (FR) wurde 2024 untersucht, wie Gewässerqualitätsprobleme aufgrund zu hoher Phosphorbelastung und Sauerstoffmangels methodisch langfristig angegangen werden könnten [36]. Als Resultat könnten für diese Seen zukünftig langfristige und übergeordnete Massnahmenpläne erarbeitet werden – analog wie es ihn für den Greifensee bereits seit 2006 gibt [5].

Für das EZG Murtensee (FR/VD) wurde 2024 eine modellbasierte EZG-Studie vorgestellt, die in verschiedenen Aspekten der Studie RAG ähnelt [118]: die P-Frachten aus ARA, Mischabwasserentlastungen sowie zusätzlich «diffusen Einträgen» in den See wurden für 30 ARA-EZG betrachtet. Der Murtensee besitzt bereits heute eine durchschnittliche P-Konzentration von 20 µg_P/l. Dies entspricht ungefähr dem optimalen Zielwert im Greifensee (Kap. 2.2); d. h. der Murtensee besitzt eine deutlich bessere Ausgangslage. Da die P-Frachten aus Siedlungsgebieten im EZG Murtensee von den ARA dominiert sind, setzt die Studie einen Hauptfokus auf die Möglichkeit der Reduktion der Anzahl ARA von 30 auf fünf Anlagen. Für diese fünf grösseren ARA soll im Vergleich zu heute zukünftig eine halbierte Ablaufkonzentration für Phosphor gelten: 0.2 mg_P/l. Dieser Wert gilt für ARA im EZG Greifensee bereits seit 1978 als Grenzwert, wo er zusätzlich gekoppelt ist an einen halb so niedrigen Zielwert (0.1 mg_P/l; Kap. 2.2).

Weitere Studien wurden durchgeführt beispielsweise für den Lauerzersee (SZ; [69][103][114]), den Pfäfersee (ZH) [11], den Vierwaldstättersee [105][106] und den Zugersee (ZG/SZ/LU) [102]. In der Vergangenheit und Gegenwart sind die im Mittelland gelegenen Gewässer Baldeggersee (LU) [100][101], Sempachersee (LU) [41] und Hallwilersee (AG/LU) [107][134] und deren Eutrophierung immer wieder Gegenstand von Untersuchungen gewesen [141].

Im Vergleich mit anderen Seen ist die Ausgangslage des eutrophierten Greifensees aufgrund seiner hohen Besiedlungsdichte im Einzugsgebiet und den bereits strengen Anforderungen an die Abwasserreinigung besonders herausfordernd.

3 Projektorganisation RAG

3.1 Organe, Steuerungsgruppe und Projektsteuerung

Dem Projekt «Regionale Abwasserentsorgung Greifensee» (RAG) gingen Abklärungen und überregionale Gespräche seit dem Jahr 2019 voran, die durch den Zweckverband ARA Gossau-Gründingen initiiert wurden. Konkrete, vorbereitende Gespräche für das Vorhaben starteten 2022. Das Projekt war für eine Dauer von rund drei Jahren von Januar 2023 bis März 2026 ausgelegt. Ziel war es, das Projekt innerhalb der laufenden Legislaturperiode (2022-2026) der Mitglieder der Steuerungsgruppe durchzuführen, um eine Kontinuität der Steuerungsgruppenmitglieder zu gewährleisten.

Zu Projektbeginn im Januar 2023 wurde eine Steuerungsgruppe (SG) konstituiert (s. u.). Die fachliche und administrative Koordination erfolgte im Auftrag der Steuerungsgruppe durch die Projektleitung des AWEL (Abbildung 10). In Zusammenarbeit mit auf Abwasserthemen spezialisierten Planungsbüros (Hunziker Betatech AG, INFRAconcept AG) wurden die fachlichen Grundlagen erstellt sowie definierte Leitfragen beantwortet (Kap. 3.3).

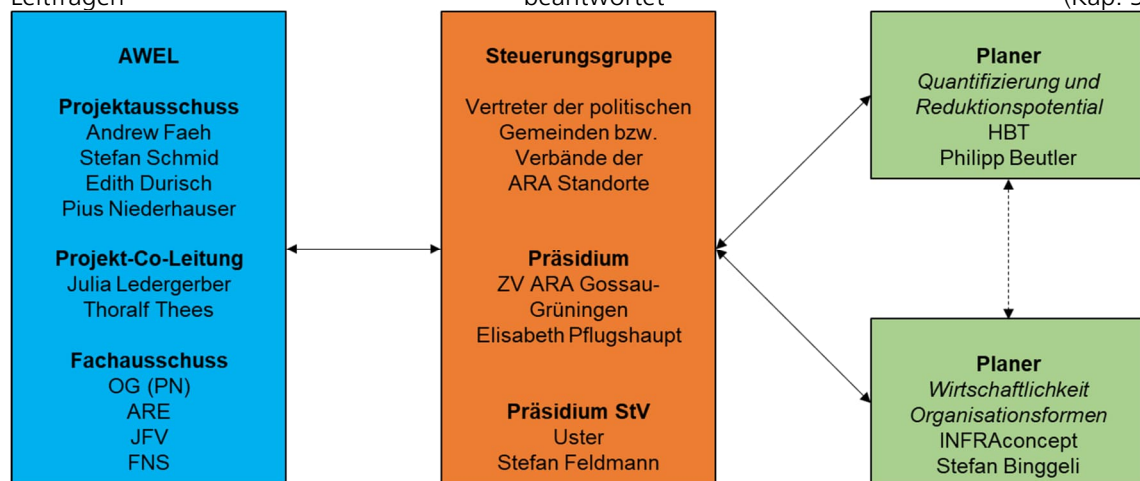


Abbildung 10: Organigramm der strategischen Organisation des Projekts RAG (Stand: AWEL, 2025).

Steuerungsgruppe

Zentrum der Projektorganisation war die Steuerungsgruppe, die sich aus politischen Vertreterinnen und Vertretern der Gemeinden beziehungsweise der Verbände der ARA-Standortgemeinden zusammensetzte (Tabelle 3).

Tabelle 3: Vertreter/-innen der politischen Gemeinden und Verbände in der Steuerungsgruppe des Projekts RAG im Zeitraum Januar 2023 bis April 2026.

ARA-EZG	Organisationsform	Vertreter/-in	Funktion	
			Organisationsform	Steuerungsgruppe
Egg-Oetwil	Zweckverband	Markus Ramsauer	Präsident Verbandskommission	Mitglied
Gossau-Grüningen	Zweckverband	Elisabeth Pflughaupt	Präsidentin Verbandsvorstand	Präsidium
Hinwil	Gemeindeanlage	Beat Amstutz	Gemeinderat, Ressortvorsteher Tiefbau u. Werke	Mitglied
Mönchaltorf	Gemeindeanlage	Stefan Zollinger	Gemeinderat, Vize-Präsident Kommission Bau	Mitglied
Pfäffikon	Öffentlich-rechtliche Anstalt	Alex Kündig	Gemeinderat, Präsident Werkkommission	Mitglied
Uster	Gemeindeanlage mit Anschlussverträgen	Stefan Feldmann	Stadtrat, Vorsteher Abt. Bau	Stv. Präsidium
Wetzikon	Gemeindeanlage mit Anschlussverträgen	Heinrich Vettiger	Stadtrat, Ressortvorsteher Tiefbau/ Umwelt / Energie	Mitglied
Maur	Da die ARA Maur aufgehoben und an die ARA Bachwis (Fällanden) angeschlossen wird, war die Gemeinde Maur in der Steuerungsgruppe nicht mehr vertreten.			

3.2 Meilensteine, Projektablauf und Finanzierung

Die fünf Projektphasen umfassten i) die Erarbeitung von Grundlagen, ii) die Erstellung und Validierung der Simulationsmodelle und iii) die Quantifizierung der Phosphoreinträge, iv) die Entwicklung und Bewertung möglicher Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge sowie v) die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und Analyse möglicher Organisationsformen. Die wesentlichen Meilensteine, Arbeitsschritte und Verantwortlichkeiten sind in Abbildung 11 dargestellt.

Zeitraum Gesamtprojekt: 2023-2026 Hauptbearbeitungszeit HBT: Q2/2023-Q2/2025		2023				2024				2025				2026			
Verantwortung		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Gesamtprojekt																	
Projektleitung / Koordination	AWEL																
Sitzung Steuerungsgruppe (2x/Jahr)	ZV ARA GG & AWEL	◆															
Sitzung Team Projektbearbeitung (4x/Jahr)	AWEL, HBT, INFRAconcept	◆															
Phase 1																	
Grundlagendaten zusammenstellen	HBT																
Phase 2																	
Erstellung Stofffrachtmodelle ARA-Einzugsgebiete	HBT																
Modellvalidierung	HBT																
Phase 3																	
Varianten: Entwurf, Diskussion, Definition	HBT, AWEL, (INFRAconcept)																
Phase 4.1																	
Modellierung und Simulation Variantenauswirkungen	HBT																
Unsicherheitsbetrachtungen	HBT																
Grobprojektierung	HBT																
Phase 4.2																	
Kostenermittlung auf Basis Grobprojektierung	HBT & ggf. INFRAconcept																
Techn. Bericht (Phasen 1-4)	HBT																
Phase 5: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Organisationsformen																	
	INFRAconcept																
Projektabschluss																	
Gemeinderatswahlen Kt. ZH (März 2026)																	
Amtsantritt bisherige/neue Gemeinderäte (01.07.2026)																	

Abbildung 11: Übersicht Grobablaufplan und Meilensteine Projekt RAG von 2023 bis 2026.

Im Rahmen regelmässiger Sitzungen wurden der Projektfortschritt, fachliche Zwischenergebnisse sowie die strategische Ausrichtung des Projekts erörtert, diskutiert und abgestimmt. Insgesamt fanden acht Steuerungsgruppensitzungen, zwei Workshops, eine regionale Informationsveranstaltung für alle Gemeindevertreter/-innen im Einzugsgebiet des Greifensees sowie diverse interne Projektsitzungen statt.

Die Finanzierung des Projekts RAG erfolgte durch die in der Steuerungsgruppe beteiligten Gemeinden/Städte bzw. Verbände. Zusätzlich beantragte und erhielt die SG kantonale Beiträge vom AWEL aufgrund der klar überregionalen Relevanz der Verbesserung des Gewässerschutzes des Greifensees.

3.3 Projektziel und Leitfragen

Übergeordnetes Ziel ist eine signifikante Reduktion der Phosphoreinträge aus der Siedlungsentwässerung im Einzugsgebiet des Greifensees (ARA-Abläufe, Mischabwasserentlastungen und Trennsystemeleitungen). Dazu musste im Projekt geprüft werden, ob und wie eine signifikante Reduktion der Phosphoreinträge aus dem Abwasser in den Greifensee möglich ist. Der Begriff „Abwasser“ umfasst dabei sowohl das gereinigte Abwasser aus den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) als auch Mischabwasserentlastungen und Einleitungen aus Trennsystemen. Zu diesem Zweck mussten die Phosphoremissionen über die verschiedenen Eintragspfade quantifiziert, geeignete technische Lösungen zur Reduktion der Phosphoreinträge identifiziert sowie deren Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit über einen geeigneten Planungshorizont beurteilt werden.

Da aus bisherigen Studien bekannt war, dass die Landwirtschaft im EZG Greifensee nicht der dominierende Phosphoreintragspfad war (Kap. 2.2), wurde durch das AWEL und die Steuerungsgruppe für die Studie RAG der Fokus auf Massnahmen gesetzt, die durch die Betreiber der Abwassersysteme beeinflussbar und finanzierbar sind.

Mit der Erarbeitung der Studie sollte eine frühzeitige, fundierte Grundlage für zukünftige strategische und politische Entscheidungsprozesse geschaffen werden. Die vorliegende Studie orientiert sich daher am nächsten, umfassenden Erneuerungszyklus der verschiedenen ARA im Einzugsgebiet des Greifensees. Dieser steht bei mehreren Anlagen voraussichtlich rund um das Jahr 2050 an (vgl. [68]). Dementsprechend wurde das Jahr 2050 als Planungshorizont durch die SG und die Projektleitung des AWEL festgelegt.

Der aktuelle Zustand des Greifensees (Kap. 2.1) sowie die Abwägungen zu notwendigen Zielwerten der Phosphoremissionen (Kap. 2.4) zeigten, dass Phosphor ein geeigneter Leitparameter ist. Er kann genutzt

werden, um die Eutrophierungssituation des Greifensees zu beschreiben sowie Massnahmen zur Reduktion der P-Emission aus dem Siedlungsgebiet zu bewerten und so die Situation langfristig und nachhaltig zu verbessern.

Zur Erreichung des Projektziels wurden in der vorliegenden Studie folgende Leitfragen untersucht und beantwortet:

1. **Quantifizierung Ist- und Prognose-Zustand:** Über welche Eintragspfade und in welchen Mengen gelangt Phosphor aus der Abwasserentsorgung heute sowie zukünftig (2050) in den Greifensee?
2. **Reduktionspotenzial Phosphoreintrag aus der Abwasserentsorgung:** Welches Reduktionspotenzial besteht hinsichtlich der Phosphorbelastung unter Berücksichtigung einer integralen Betrachtung durch mögliche Massnahmen? Massnahmen können sowohl im Einzugsgebiet, innerhalb der Siedlungsentwässerung, als auch auf Ebene der ARA sowie inklusive möglicher gemeindeübergreifender Varianten umgesetzt werden.
3. **Wirtschaftlichkeit und Organisationsformen:** Welche Massnahmen weisen die beste Wirtschaftlichkeit auf und welche Organisationsformen sind für deren Umsetzung erforderlich?

Der vorliegende Bericht liefert inhaltliche Beiträge und Antworten in Bezug auf die Leitfragen 1 und 2 (Kap. 7.1, 7.2, 7.3). Die inhaltliche Beantwortung der Leitfrage 3 wurde durch die INFRAconcept AG ausgearbeitet und ist dokumentiert in [68].

4 Daten und Grundlagen

4.1 Grundsätzliches/Randbedingungen

Die vorliegende Untersuchung wurde auf Studienniveau durchgeführt. Ziel der Untersuchung war nicht die Erarbeitung einer Planung auf Umsetzungs- oder Bewilligungsebene, sondern die Bereitstellung einer belastbaren technischen Grundlage für langfristige strategische Entscheidungen. Das Projekt beinhaltet eine Grobprojektierung mit einer Kostengenauigkeit von bestenfalls $\pm 30\%$.

Die Analyse folgt einer konservativen Betrachtungsweise. Dies bedeutet, dass die dargestellten Ergebnisse so gewählt wurden, dass mit überwiegender Wahrscheinlichkeit davon auszugehen ist, dass die tatsächliche Umsetzung der Massnahmen in der Regel nicht aufwändiger oder kostenintensiver ausfallen wird als in der Studie dargestellt. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine fachlich abgesicherte Entscheidungsfindung auch unter unsicheren Rahmenbedingungen.

Aufgrund der gewählten Flughöhe werden Unsicherheiten in den Eingangsdaten, Modellannahmen und Resultaten akzeptiert. Wo immer möglich, werden diese Unsicherheiten explizit ausgewiesen oder qualitativ beschrieben. Gleichzeitig wird in Kauf genommen, dass Vereinfachungen in der Modellierung vorgenommen werden müssen, um die Komplexität des Gesamtsystems handhabbar zu halten und robuste Aussagen auf strategischer Ebene zu ermöglichen.

Die Resultate der Studie sind als Entscheidungsgrundlage für das strategische Vorgehen in den kommenden Jahrzehnten vorgesehen. Entsprechend müssen die eingesetzten Modelle in der Lage sein, langfristige Entwicklungen sowie die Wirkungen unterschiedlicher Massnahmenvarianten konsistent abzubilden, ohne den Anspruch auf kleinskalige Detailtreue zu erheben.

Im Rahmen der Modellierung werden Massnahmen sowohl explizit, etwa für Abwasserreinigungsanlagen, als auch konzeptionell, beispielsweise für verschiedene Ansätze in der Siedlungsentwässerung, berücksichtigt. Dadurch kann deren Wirkung auf die Phosphor-Emissionen realistisch simuliert und vergleichend bewertet werden. Die Auswertung erfolgt bezogen auf (Teil-)Einzugsgebiete. Eine vollständige,

gemeindespezifische Differenzierung der Massnahmen ist bei diesem Bearbeitungsgrad nicht in jedem Fall möglich und auch nicht Ziel der Studie.

Die Datengrundlage beschränkt sich auf bestehende und verfügbare Informationen. Es wurden keine neuen Messungen durchgeführt und keine zusätzlichen Nachführungen von GEP- oder ARA-Daten vorgenommen. Die Modellierungen und Bewertungen basieren somit ausschliesslich auf dem aktuellen Stand der vorhandenen Daten und Unterlagen.

4.2 Software

Für die im Projekt durchgeführten Langzeitsimulationen wurde das hydrologische Simulationsmodell KOSIM der itwh GmbH in der Version 7.7 eingesetzt. KOSIM (Kontinuierliches Langzeit-SIMulationsmodell) dient der kontinuierlichen Niederschlag-Abfluss- und Stofffrachtsimulation in der Siedlungsentwässerung. Es wird insbesondere zur Ermittlung und Bewertung von Emissionen aus Regen- und Mischwasserabflüssen verwendet.

Hydrologische Modelle bilden die Wasserbilanz und den Niederschlag-Abfluss-Prozess auf Einzugsgebietsebene ab. Sie beschreiben den Abfluss konzeptionell unter Verwendung von vereinfachten aber in der Siedlungshydrologie etablierten Speicheransätzen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Langzeitsimulation von Abflussmengen und Stofffrachten als Funktion meteorologischer Eingangsdaten.

KOSIM ist als hydrologisches Langzeitmodell ein geeignetes Werkzeug für Fragestellungen der Emissionsabschätzung und Stofffrachtsimulation, bei denen die Einzugsgebietsperspektive und die langfristige Betrachtung im Vordergrund stehen.

4.3 Ausgangslage Daten und Informationen

4.3.1 GEP und Sonderbauwerke

Für die Erfassung von Informationen zu den Kanalisationen und Sonderbauwerken in den ARA-EZG/Gemeinden im EZG Greifensee wurden hauptsächlich Unterlagen der Generellen Entwässerungspläne verwendet (GEP). Als weitere Datenquellen dienten auch allfällig vorhandene, neuere Angaben z. B. aus Anschlussstudien und Frachtmodellierungen für ARA-Auslegungen. Tabelle 4 gibt eine Übersicht zu den verwendeten Grundlagen.

Die für die Studie herangezogenen Einzugsgebietsdaten bildeten die Grundlage für die Beschreibung der Entwässerungsstrukturen in den ARA-Einzugsgebieten. Dazu zählen v. a. abflusswirksame Flächen (F_{red}), vorhandene Sonderbauwerke und deren Eigenschaften bzw. Einstellungen (SBW; s. u.), Angaben zum Fremdwasseranfall (FW; Kap. 4.5), Angaben zu Fließpfaden und -zeiten im Kanalisationsnetz sowie die Verteilung von Einwohnerwerten (EW) über die jeweiligen Teileinzugsgebiete als Produzenten und Herkunftsorte für Schmutzstoffe und Abwasserabflüsse (Kap. 4.5, 4.6, 4.7). Diese Angaben wurden verwendet, um die relevanten Prozesse in der Siedlungsentwässerung systematisch zu erfassen und in der Modellierung zu berücksichtigen.

Aktualität und Vollständigkeit

Zu Beginn des Projekts RAG wurde beschlossen, nur mit vorhandenen Informationen zu arbeiten. Nach-erhebungen und Nachführungen sollten nur in notwendigen Ausnahmefällen erfolgen. Sehr alte oder sehr unsichere Angaben wurden überprüft und bei Bedarf an den aktuellen Daten-/Kenntnisstand angepasst (Details hier nicht aufgeführt). Wo möglich wurden ARA-Betriebsdaten zur Gegenprüfung von TEZG-Angaben verwendet. Eine Nachführung oder weitergehende Aktualisierung von GEP-Dokumenten für eine bessere Ausgangslage in der Studie erfolgte nicht.

Die im EZG Greifensee vorhandenen Grundlagendokumente wiesen z. T. erhebliche Alters-, Qualitäts- und Aktualitätsunterschiede auf. Einige GEP entsprechen nicht mehr den heutigen Anforderungen an dieses

kommunale Planungsinstrument. An vielen Stellen wurden über die letzten Jahre nicht oder nicht vollumfänglich genug Nachführungsangaben in den Dokumenten hinterlegt. Bei GEP älteren Datums oder solchen von nicht mehr ausreichender Qualität konnte nicht aus allen Modell- oder Planangaben mit Sicherheit zugeordnet werden, für welche Zustände die Angaben gelten (Ist, Vollausbau, Planung inkl. Massnahmen). Die nicht nachgeführten und nicht ausreichend aktuell gehaltenen GEP-Unterlagen stellen damit eine deutliche, nicht zu unterschätzende Unsicherheit für die Studienresultate dar (Kap. 7.5.3).

Tabelle 4: Übersicht Grundlagendokumente und Informationsquellen für GEP- und SBW-Daten der Einzugsgebiete.

ARA-Einzugsgebiet	Gemeinde/-n	Datenquelle	Jahr	Zustand GEP bzw. Daten
Egg-Oetwil	Egg	[44]	2023 ¹	Ist-Zustand
	Oetwil	[45]	2023 ¹	Ist-Zustand (Entwurf)
Gossau-Grüningen	Gossau	[59]	2023 ¹	Ist-Zustand (Entwurf)
	Grüningen	[43]	2023 ¹	Ist-Zustand (Entwurf)
Maur	Maur Ebmingen Binz Fällanden	[57]	2022 ¹	Ist-Zustand. Daten aus SIMBA-Modell eines Drittprojekts entnommen (Datengrundlage älter als 2022).
Hinwil	Hinwil	[119]	2004 ²	Ist-Zustand
Mönchaltorf	Mönchaltorf	[64]	2022 ²	Vollausbau
Pfäffikon	Hittnau	[42]	2008 ²	Ist-Zustand
	Pfäffikon	[54]	2007 ²	Ist-Zustand
Uster	Uster	[140] [56]	2008 ² / 2020 ¹	Ist-Zustand (2008) angepasst mit Aktualisierungen aus Drittprojekt auf Ist-Zustand 2020.
	Greifensee	[48]	1996 ¹ / 1998 ²	Ist-Zustand
Wetzikon	Bäretswil	[53]	2003 ²	Vollausbau
	Seegräben	[120]	2008 ²	Vollausbau
	Wetzikon	[55]	2008 ²	Ist-Zustand

¹ Stand Erstellungs-/Bearbeitungsjahr

² Bewilligungsjahr (häufig), d. h. die Erarbeitung und die Grundlagendaten sind deutlich älter als das Bewilligungsdatum.

Sonderbauwerke

Tabelle 5 gibt einen Überblick über Art und Anzahl der relevanten Sonderbauwerke innerhalb der einzelnen ARA-Einzugsgebiete. Berücksichtigt wurden Regenüberlaufbecken (RÜB) und Stauraumkanäle (SK; inkl. Fangkanäle FK), Regenüberläufe (RÜ) sowie Pump-/Hebewerke (PW). In wenigen ARA-EZG sind an einzelnen Stellen zusätzlich Trennbauwerke (TB) im System vorhanden, die ohne Entlastung den Abwasserabfluss innerhalb des Kanalnetzes über unterschiedliche Leitungen aufteilen (z. B. Wetzikon). Diese wurden hier nicht separat aufgeführt aber im KOSIM-Modell ebenfalls modelliert.

Für die Sonderbauwerke wurden aus den Grundlagendokumenten die entsprechenden Angaben zu Einstellungen und Eigenschaften übernommen (Speichervolumen, Pumpensumpf, Weiterleit-/Drosselmenge, Bauwerksart, Pumpen-/Entleerungsregelung etc.). Wo bekannt, wurden diese Angaben korrigiert bereitgestellt durch die Betreibergemeinden/Werkbetriebe. Bei fehlenden Angaben wurden diese

bei den Betreibergemeinden zusätzlich eingeholt. Unklare Fließpfade in der Kanalisation wurden durch vereinzelte Vor-Ort-Begehungen der Betreiber geklärt.

Tabelle 5: Erfasste und modellierte Sonderbauwerke im Einzugsgebiet des Greifensees. RÜB/SK = Regenüberlaufbecken / Speicherkänäle (inkl. Fangkanäle FK); RÜ = Regenüberlauf; PW = Pump-/Hebewerk.

ARA-EZG	Art und Anzahl Sonderbauwerke			
	RÜB/SK	RÜ	PW	TOTAL
Egg-Oetwil	5	10	1	16
Gossau-Grüningen	6	11	2	19
Maur	4	7	0	11
Hinwil	3	3	0	6
Mönchaltorf	3	3	0	6
Pfäffikon	5	3	16	24
Uster	12	10	8	30
Wetzikon	15	19	9	43
TOTAL	53	66	36	155

4.3.2 Betriebsdaten ARA

Die Datengrundlage umfasst die von den ARA gemäss dem AWEL-Leitfaden zur Betriebsdatenübermittlung bereitgestellten und an das AWEL übermittelten Rohbetriebsdaten.

Fracht

Für die Dimensionierungsgrundlagen wurden von allen ARA die Betriebsdaten der Jahre 2021 und 2022 ausgewertet. Dazu wurden jeweils die 85 %-Quantile der Tagesfrachten ermittelt. Als Dimensionierungsfracht wurde der Mittelwert gebildet. In Tabelle 6 sind die 85 %-Frachten abgebildet, welche die ARA im Ist-Zustand behandeln müssen.

Tabelle 6: Übersicht 85%-Quantile im Ist-Zustand der Zulauffrachten der ARA (Ablauf VKB). Die Spalten [kg/d] beziehen sich auf die im ARA-Ablauf gemessenen Frachten. Die Spalten [EW] stellen berechnete Einwohnerwerte (EW) dar.

ARA	CSB		Ptot 		NH4-N	
	[kg/d]	[EW] (78 g/EW/d)	[kg/d]	[EW] (1.7 g/EW/d)	[kg/d]	[EW] (7.5 g/EW/d)
Egg-Oetwil	1'600	20'500	23	13'500	130	17'300
Gossau-Grüningen	1'600	20'500	25	14'700	120	16'000
Maur ⁽¹⁾	500	6'500	7	4'000	50	6'500
Mönchaltorf	400	5'100	6	3'500	30	4'000
Hinwil ⁽²⁾	2'000	25'000	29	17'200	180	24'300
Pfäffikon	1'500	19'200	21	12'400	130	17'300
Uster	3'400	43'600	52	30'600	460	61'300
Wetzikon	2'600	33'300	36	21'200	350	46'700

⁽¹⁾ Frachten und Einwohnerwerte beziehen sich nur auf die direkt zur ARA Maur entwässernden Gemeindegebiete. Die ebenfalls zur Gemeinde Maur gehörenden Teilgebiete Binz u. Ebmatingen sind an die ARA Bachwis in Fällanden angeschlossen.

⁽²⁾ Abschätzung; aufgrund sehr weniger Werte Zulauf Biologie

Hydraulik

Für die hydraulische Auslegung wurden die Tageswerte jahresweise nach DWA A-198 ausgewertet. Als Basis wurde der Mittelwert gebildet. Auf diesen Tagesanfall wurde in dieser Studie für alle EZG ein Stundenteiler ($n=14$) angewendet, um die Zulaufdynamik über den Tag abzubilden.

$$Q_{TW,max} = \frac{Q_{TW,A-198}}{n} m^3/d$$

Das zweifache $Q_{TW,max}$ entspricht in der heutigen Praxis dem Q_{Dim} der ARA. Tabelle 7 zeigt $2 \cdot Q_{TW,max}$ für alle ARA. Für die Grobprojektierung wurde Q_{Dim} mit den Grundlagen für die KOSIM-Simulation abgeglichen und diese Werte verwendet.

Tabelle 7: Das Zweifache $Q_{TW,max}$ aus den ARA-Betriebsdatenauswertungen (Ist-Zustand).

ARA	2 $Q_{TW,max}$ mit Stundenteiler $n=14$ Betriebsdatenauswertung
Egg-Oetwil	194 l/s
Gossau-Grünigen	158 l/s
Maur	50 l/s
Mönchaltorf	39 l/s
Hinwil	235 l/s
Pfäffikon	185 l/s
Uster	558 l/s
Wetzikon	358 l/s



4.4 Einzugsgebietsflächen und Einwohnerwerte

4.4.1 Ist-Zustand

Die Einzugsgebietsdaten für den Ist-Zustand wurden entsprechend den in Tabelle 4 aufgeführten Grundlagen angesetzt. In Tabelle 8 sind die Zahlen der Einwohnerwerte und der abflusswirksamen Flächen der einzelnen ARA-Einzugsgebiete gemäss den vorliegenden Grundlagen im Ist-Zustand dargestellt. Unterschieden wurde zwischen befestigten Flächen im Mischsystem ($F_{red,MS}$) und befestigten Flächen im Trennsystem, deren Abfluss in ein Oberflächengewässer abgeleitet wird ($F_{red,TS}$). Die Summe dieser Anteile ergibt die gesamte befestigte Fläche ($F_{red,total}$). Die gemäss den Annahmen in Kap. 4.4.2 festgelegten Einzugsgebietsdaten sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Einwohnerwerte (EW) und abflusswirksame Flächen (F_{red}) im Einzugsgebiet des Greifensees im Ist-Zustand für Misch- (MS) und Trennsystem (TS) sowie Gesamtflächen (total). Der Begriff bzw. das Konzept «Einwohnerwerte» ist im Abkürzungsverzeichnis kurz erläutert (Kap. 10).

ARA-EZG	Einwohnerwerte GEP [EW]	$F_{red,MS}$	$F_{red,TS}$	$F_{red,total}$
		[ha _{red}]	[ha _{red}]	[ha _{red}]
Egg-Oetwil	14'365	45.08	73.16	118.24
Gossau-Grünigen	15'362	63.02	20.87	83.89
Maur ⁽¹⁾	13'395	60.58	38.00	98.58
Mönchaltorf	4'683	6.38	48.56	54.94

ARA-EZG	Einwohnerwerte GEP [EW]	$F_{red,MS}$	$F_{red,TS}$	$F_{red,total}$
		[ha _{red}]	[ha _{red}]	[ha _{red}]
Hinwil	21'000	55.33	58.56	113.89
Pfäffikon	16'960	32.66	60.57	93.23
Uster	47'999	28.04	186.04	214.08
Wetzikon	37'024	114.56	119.98	234.54
Total	170'788	405.65	605.74	1'011.39

⁽¹⁾ Flächen u. EW umfassen alle TEZG der Gmde. Maur, d. h. im Vgl. zu Tabelle 6 inkl. Binz u. Ebmatingen.

4.4.2 Prognose-Zustand

Für den Prognose-Zustand (2050) wurde von einem Zuwachs sowohl der abflusswirksamen Flächen als auch der EW-Zahl ausgegangen.

Abflusswirksame Flächen:

Der **Zuwachs** der **abflusswirksamen Flächen** von 2022 bis 2050 setzt sich aus drei Teilen zusammen:

1. Zusätzliche abflusswirksame Flächen durch bauliche Verdichtung innerhalb bestehender bereits überbauter Bauzonen. Für die beiden grösseren Gemeinden Uster und Wetzikon wurde eine Zunahme von F_{red} um 15 % angenommen, für die übrigen Gemeinden wurde eine Erhöhung um 10 % angesetzt.
2. Neue Überbauungen und damit neue Flächenversiegelungen in noch nicht überbauten Bauzonen.
3. Neue Überbauungen und damit neue Flächenversiegelungen in Reservezonen, die zuvor zu neuen Bauzonen umgewandelt worden sind.

Dabei wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Bei neuen Überbauungen in Bauzonen entstehen versiegelte Flächen im gleichen Verhältnis wie im Bestand (konservative Annahme).
- 50 % der Reservezonen in Uster und Wetzikon werden noch in Bauzonen umgewandelt. In den übrigen Gemeinden findet keine Umwandlung der Reservezonen in Bauzonen statt (verifizierte Abklärungen auf Basis der kantonalen Bauzonenstatistik zwischen AWEL/ARE/HBT 2024).

Die unter den genannten Annahmen stattfindenden Veränderungen der abflusswirksamen Flächen F_{red} pro ARA-EZG sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Angenommene Veränderung von F_{red} im Prognose-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand.

ARA-EZG	Veränderung F_{red} [%]
Egg-Oetwil	+20.5
Gossau-Grünigen	+14.8
Maur	+18.8
Mönchaltorf	+20.3
Hinwil	+19.8
Pfäffikon	+18.7
Uster	+25.5
Wetzikon	+22.1

Einwohnerwerte:

Als Grundlage für die Fortschreibung/zukünftige Entwicklung der **Einwohnerwerte** (als Basis für die Modellierung der Stofffrachten) wurde ein jährliches Wachstum der Einwohnerwerte von 1.45 %/a bis 2050 angesetzt (= Zunahme Abwasserfracht aus natürlicher Bevölkerung plus Gewerbe und Industrie). Dieser Wert basiert auf historischen Daten und entspricht dem EW-gewichteten Mittel des beobachteten, jährlichen Bevölkerungswachstums über alle Gemeinden im EZG Greifensee im Zeitraum 1962 bis 2022 [129]. Dieser Wert liegt ca. 0.5-1.0 %/a oberhalb der kantonalen Bevölkerungsprognose von 2023 [128]. Gemeinsam mit der AWEL-Projektleitung sowie der Steuerungsgruppe wurde entschieden, die hohen Wachstumsraten für die Modellierung/Simulationen im Prognose-Zustand anzunehmen.

Begründung für die Wahl der hohen Wachstumsraten der Einwohnerwerte:

- Trotz langer Bemühungen und diverser Gewässerschutzmassnahmen in der Vergangenheit ist die Wasserqualität des Greifensees noch immer nicht gut. Sie stagniert und schwankt seit rund zwei Jahrzehnten in einem mässigen bis unbefriedigenden Bereich (Kap. 2.3, Abbildung 9).
- Die zukünftige Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung ist unsicher. Im Rahmen des Projekts sollten konservative Annahmen getroffen werden, um Emissionen und notwendige Reduktionsmassnahmen tendenziell am «oberen Limit» der wahrscheinlichen Entwicklungen abzubilden (Kap. 4.1).
- Durch das zukünftige, ggf. zu hoch angenommene Wachstum der Bevölkerung und Wirtschaft im Einzugsgebiet sollten die in dieser Studie identifizierten Massnahmen tendenziell einen ausreichend grossen Sicherheitspuffer bei der P-Reduktion erhalten. Ziel war es, dass die bisherigen Wasserqualitätsdefizite auch bei einem hohen Wachstum im Siedlungsgebiet mit grösserer Sicherheit beseitigt werden können.
- Die Massnahmenauslegung auf Basis zu hoher Wachstumsraten ermöglicht Entscheidungsträgerinnen und -trägern, in der Zukunft Einfluss zu nehmen auf Umfang, Art und Zeitpunkt der notwendigen Massnahmen. Dabei wurde einem Nachjustieren «nach unten» (= Geplante Massnahmen können kleiner und/oder später umgesetzt werden.) einem Nachjustieren «nach oben» (= Es müssen neue Massnahmen entwickelt und mehr Massnahmen nachträglich vorgesehen werden.) der Vorzug gegeben. Beispielsweise könnten einzelne Massnahmen erst deutlich später umgesetzt (Jahre bis Jahrzehnte) oder ausgesetzt werden, wenn festgestellt würde, dass bei niedrigerem Wachstum im EZG die bis dahin bereits implementierten Massnahmen (mit ausreichend grosser Dimensionierung) eine für die Wasserqualität gute Gewässerschutzwirkung erzielen.

- Aufgrund der Annahme eines hohen Wachstums der Einwohnerwerte im EZG Greifensee wurde im weiteren Projektverlauf auf die Ausgestaltung von Kombinationsvarianten für verschiedene Entwicklungsszenarien verzichtet (= de facto wurden nur ein «hohes Szenario» berücksichtigt).

Für die Untersuchungen in der vorliegenden Studie wurde aus Vereinfachungsgründen davon ausgegangen, dass sich der Zuwachs an Einwohnerwerten gleichmässig über alle Teileinzugsgebiete verteilt. Die für jedes ARA-Einzugsgebiet totalisierten Einzugsgebietsdaten für den Prognose-Zustand sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Einzugsgebietsdaten (Einwohnerwerte und abflusswirksame Flächen F_{red}) für den Prognose-Zustands (2050) im Einzugsgebiet des Greifensees.

ARA-EZG	Einwohnerwerte GEP [EW]	F_{red} MS	F_{red} TS	F_{red} total
		[ha _{red}]	[ha _{red}]	[ha _{red}]
Egg-Oetwil	21'496	54.30	88.12	142.42
Gossau-Grüningen	22'988	72.32	23.95	96.27
Maur	20'044	71.99	45.16	117.15
Mönchaltorf	7'008	7.67	58.41	66.08
Hinwil	31'425	66.26	70.13	136.39
Pfäffikon	25'379	38.76	71.89	110.65
Uster	71'826	35.20	233.52	268.71
Wetzikon	55'403	139.92	146.54	286.47
Total	255'570	486.43	737.71	1'224.14

4.5 Schmutz- und Fremdwasseranfall

4.5.1 Ist-Zustand

Der Trockenwetterabfluss bildet die Summe aus Schmutz- und Fremdwasseranfall. Er wurde auf Grundlage von Betriebsdatenauswertungen der Zuflussmessungen der ARA bei Trockenwetter ermittelt. Für jedes ARA-EZG wurden spezifische Zuflussmessungen ausgewertet und typische Tagesgangvariationen im Modell hinterlegt (Kap. 4.9).

Für die Erfassung des Fremdwasseranfalls und die Berechnung des resultierenden Fremdwasseranteils wurden Angaben aus den Grundlagendaten weiterverwendet (Tabelle 4, S. 19). Der Schmutzwasseranfall wurde rechnerisch als Differenz zwischen dem ermittelten Trockenwetterabfluss und dem angesetzten Fremdwasseranteil bestimmt.



Tabelle 11: Trockenwetterabflüsse inkl. Schmutz- und Fremdwasseraufteilung in den Einzugsgebieten der ARA (ARA-EZG), die für die Modellierung verwendet wurden. Ermittelt für den Ist-Zustand aus Betriebsdaten 2021/2022 (sofern nicht anders angegeben). FWA = Fremdwasseranteil am Trockenwetterabfluss (in Prozent).

ARA-EZG	Mittlerer Trockenwetterabfluss	Schmutzabwasseranfall (SW)		Fremdwasseranfall (FW)		
	[l/s]	[l/(EW*d)]	[l/s]	[l/(EW*d)]	[l/s]	FWA [%]
Egg-Oetwil ¹	57.4	214	35.6	131	21.8	38
Gossau-Grünigen	37.6	142	25.2	70	12.4	33
Hinwil ⁵	64.4	138	33.5	127	30.9	48
Maur ²	---	---	---	---	---	---
<i>Maur</i>	17.7	114	8.1	133	9.6	55
<i>Binz</i>	16.5	114	6.8	164	9.7	59
<i>Ebmatingen</i>	5.5	114	2.9	101	2.6	47
Mönchaltorf ³	10.3	131	7.1	59	3.2	31
Pfäffikon ⁵	53.8	137	26.9	137	26.9	50
Uster ⁶	145.0	164	89.0	103	56.0	39
Wetzikon ⁴	98.6	161	69.0	69	29.6	30

1 Trockenwettertage (= Tage mit Wetterschlüssel «TW» gemäss Betriebsdaten) im Jahr 2022

2 Daten gemäss Langzeitsimulation zum Anschluss der ARA Maur an die ARA Bachwis [57]

3 Trockenwetteranfall gemäss Tagesgangauswertung 2022

4 Trockenwetteranfall gemäss Tagesgangauswertung Jan. 2020 - Juni 2023; Wert unsicher und vermutlich höher

5 Wert unsicher. Mischrechnung aus GEP- und ARA-Betriebsdaten 2020-2022

6 Basis: [56] und persönliche Rücksprache mit ARA-Betriebsleitung im Jahr 2022

4.5.2 Prognose-Zustand

Schmutzabwasser: Für den Prognose-Zustand wurde der EW-spezifische Schmutzabwasseranfall unverändert übernommen. Der gesamte Schmutzabwasserabfluss erhöht sich somit proportional zur angenommenen Zunahme der Einwohnerwerte.

Fremdwasser: Bezüglich des Fremdwasseranfalls wurde konservativ angenommen, dass dieser zwischen Ist- und Prognose-Zustand in absoluten Mengen konstant bleibt. Das heisst, ohne Massnahmen zur aktiven Beseitigung von Fremdwasserquellen bleibt die aktuelle Situation in Zukunft erhalten. Rechnerisch «verbessert» sich nur der FWA-Wert, da unter Wachstumsbedingungen mehr bei gleichbleibender Fremdwassermenge.

4.6 Phosphorfracht im Schmutzabwasser

4.6.1 Ist-Zustand

Die Phosphorfracht im Schmutzabwasser wurde auf Grundlage der Betriebsdaten der ARA der Jahre 2021 und 2022 ermittelt. Diese Daten bilden die tatsächlichen Belastungsverhältnisse im jeweiligen ARA-Einzugsgebiet ab und stellen damit eine belastbare Basis für die Quantifizierung der P-Frachten dar.

Zur Übertragung der ARA-Betriebsdaten auf die einzelnen Teileinzugsgebiete wurden einwohnerspezifische Phosphoransatzwerte hergeleitet. Die Zuordnung erfolgte entsprechend den Einwohnerwerten der Teileinzugsgebiete, wie sie in den GEP-Unterlagen gemäss Tabelle 8 und Tabelle 10 ausgewiesen sind. Dementsprechend ergibt sich für jedes ARA-Einzugsgebiet ein individueller rechnerischer EW-spezifischer P-Frachtenfall (Tabelle 12), der für die Ist- und Prognosemodelle verwendet wurde.

Für die stoffliche Zusammensetzung der Phosphorfracht im Schmutzabwasser wurde eine Fraktionierung in gelösten und partikulären Phosphor modelliert. Dabei wird von einem Anteil von 65 % gelöstem Phosphor und 35 % partikulärem Phosphor ausgegangen [4][25][113].

Tabelle 12: P-Frachten (Mittelwerte) im Zulauf der ARA und EW-spezifische P-Frachten in den Modellen.

ARA-EZG	P-Fracht Zulauf ARA [kg/d]	Rechnerische EW-spezifische P-Fracht [g P _{ges} /(EW*d)]
Egg-Oetwil	24.12*	1.68
Gossau-Grünigen	20.81 ^{2**}	1.35
Maur	9.77 ^{1*}	1.61
Hinwil	25.26*	1.35
Mönchaltorf	6.49*	1.39
Pfäffikon	25.02*	1.54
Uster ³	56.16**	1.17
Wetzikon	57.68*/***	0.89

1 Mittelwert 2020-2022

2 Mittelwert 2022

3 Basis: Projektangaben von 2021 [56] sowie Jahresberichte ARA Junholz 2020-2022 und bilaterale Abklärungen mit ARA-Betriebsleitung (2023).

* Messung Rohabwasser im Zulauf ARA

** Messung Ablauf VKB inkl. Annahme für Elimination im VKB (ca. 10-20 %)

*** Frachtenfall im Modell mit Unsicherheiten behaftet. Angesetzt wurde näherungsweise die P-Fracht im Ablauf VKB (30 kg/d; Kap. 7.5.3, Tabelle 15).

4.6.2 Prognose-Zustand

Für den Prognose-Zustand wurden die EW-spezifischen P-Frachten unverändert übernommen. Der gesamte Frachtenfall erhöht sich somit proportional zur angenommenen Zunahme der Einwohnerwerte.

4.7 Phosphorfracht aus Oberflächenabtrag

4.7.1 Ist-Zustand

Phosphorfracht aus Oberflächenabtrag ist eine nicht zu vernachlässigende Quelle für die Gesamtbetrachtung der P-Emissionen [29]. Phosphor liegt fast nie in reiner Form auf Oberflächen im Siedlungsgebiet vor, sondern ist in sehr vielen chemischen Verbindungen in der Natur enthalten. Dazu gehören z. B. Tierkot (Haustiere, Wildtiere), Pflanzenrückstände (vor allem Laub, Blütenpollen etc.) oder atmosphärische Depositionen (Ablagerungen durch Staub, Verwehungen von Düngemitteln aus der Landwirtschaft etc.) sowie Verwehungen aus gewerblichen und industriellen Oberflächen im Siedlungsgebiet.

Im EZG Greifensee liegen keinerlei Messdaten zum Oberflächenabtrag von Phosphor in Siedlungsgebieten vor. Zur Abschätzung der Phosphorfracht im Regenabwasser durch Oberflächenabtrag wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, deren Ergebnis in Tabelle 13 zusammengefasst ist. Es zeigte sich, dass Phosphorfracht resultierend aus Oberflächenabtrag eine sehr grosse Spannweite besitzt

und sich in Grössenordnungen unterscheiden kann. Diese Variabilität ist insbesondere auf unterschiedliche regionale bzw. lokale Gegebenheiten, Flächennutzungsstrukturen sowie unterschiedliche, methodische Herangehensweisen in den jeweiligen Studien zurückzuführen. Auch der Untersuchungszeitpunkt der jeweils beprobten Flächen bzw. Teileinzugsgebiete kann ein relevanter Einflussfaktor sein (z. B. erhöhtes Phosphoraufkommen aufgrund von Laubfall im Herbst vs. kein Laub auf Flächen im Sommer).

Hinweis zur Verwendung der Angaben in Tabelle 13: Die Tabelle diene der Gegenüberstellung von P-Frachten und Grössenordnungen unterschiedlicher Referenzen im Rahmen der Studie RAG. Die dargestellten Werte sollten nicht ohne sorgfältige Prüfung in anderen Studien/Anwendungsfällen verwendet werden: z. B. wurden nicht in allen Studien die Entwässerungsart zwischen Trenn-/Mischsystem eindeutig unterschieden und die berücksichtigten Flächennutzungen unterschieden sich z. T. deutlich. Bei der dargestellten Literatur-/Datenbasis handelt es sich *nicht* um eine vollständige Zusammenstellung aller Daten/Referenzen zu Phosphorfrachten aus Oberflächenabtrag.

Tabelle 13: Phosphorfracht und -konzentrationen aus Oberflächenabtrag im Regenabwasser. TP = «Total Phosphorous» = P_{ges} = Gesamtphosphor. «Mittl. Erw.» = Mittlerer Erwartungswert basierend auf dem Wertebereich der Konzentrationen inkl. Umrechnung auf flächenbezogene Fracht; [-] = keine Wertebereiche in der Referenz angegeben. Für die Umrechnungen der Frachten/Konzentrationen wurde auf Basis der Messstation Mönchaltorf (Kap. 4.10) die mittlere jährliche Abflusshöhe(!) verwendet: 601 mm/a.

Nr.	Frachtrate Oberflächenabtrag [$kg_{TP}/(ha \cdot a)$]		Konzentration im Regenabwasser [mg_{TP}/l]		Referenz	Anmerkungen
	Wertebereich	Mittl. Erw.	Wertebereich	Mittl. Erw.		
1	0.5 - 5.0 ⁽¹⁾	2.75 ⁽²⁾	0.08 - 0.83 ⁽³⁾	0.46 ⁽³⁾	[113]	Verwendet in [56]
2	0.2 - 5.0 ⁽¹⁾	2.60 ⁽²⁾	0.03 - 0.83 ⁽³⁾	0.43 ⁽³⁾	[149]	Vgl. Angaben in [113]
3	0.5 - 5.0 ⁽¹⁾	2.75 ⁽²⁾	0.08 - 0.83 ⁽³⁾	0.46 ⁽³⁾	[137]	Basiert auf [113]
4	1.47 - 7.2 ⁽³⁾	2.30 ⁽¹⁾	0.23 - 1.20 ⁽¹⁾	0.60 ⁽¹⁾	[104]	Bezug auf div. Ref. in Berlin (D) sowie [17]
5	0.7 - 6.6 ⁽³⁾	3.71 ⁽³⁾	0.11 - 1.10 ⁽¹⁾	0.62 ⁽²⁾	[40]	Bezug auf 7 Lit.-ref.
6	[-]	2.52 ⁽³⁾	[-]	0.42 ⁽¹⁾	[19]	
7	0.2 - 69.6 ⁽³⁾	4.39 ⁽³⁾	0.027 - 11.58 ⁽¹⁾	0.73 ⁽¹⁾	[18]	Bezug auf 149 globale Referenzen im Trennsystem
8	0.5 - 69.6 ⁽³⁾	6.49 ⁽³⁾	0.08 - 11.58 ⁽¹⁾	1.08 ⁽¹⁾	[18]	Bezug auf 34 europäische Referenzen im Trennsystem
9	0.5 - 9.4 ⁽³⁾	2.94 ⁽³⁾	0.08 - 1.56 ⁽¹⁾	0.49 ⁽¹⁾	[17]	Region Bodensee mit 16 Messwerten (D)
10	[-]	2.50 ⁽¹⁾	[-]	0.42 ⁽³⁾	[92]	Verweis aus [17]
11	[-]	4.40 ⁽¹⁾	[-]	0.73 ⁽³⁾	[46]	Verweis aus [17]
12	[-]	0.97 ⁽¹⁾	[-]	0.16 ⁽³⁾	[121]	Verweis aus [17]
13	1.8 - 18 ⁽³⁾	2.70 ⁽³⁾	0.30 - 3.0 ⁽¹⁾	0.45 ⁽¹⁾	[2]	Div. Stichproben (AUS)

Nr.	Frachtrate Oberflächenabtrag [$\text{kg}_{\text{TP}}/(\text{ha} \cdot \text{a})$]		Konzentration im Regenabwasser [$\text{mg}_{\text{TP}}/\text{l}$]		Referenz	Anmerkungen
	Wertebereich	Mittl. Erw.	Wertebereich	Mittl. Erw.		
14	1.2 - 6.0 ⁽³⁾	3.61 ⁽³⁾	0.2 - 1.0 ⁽¹⁾	0.60 ⁽²⁾	[150]	TP im Regenwasser von Oberflächenabtrag im Trennsystem
15	0.6 - 1.8 ⁽³⁾	1.20 ⁽³⁾	0.1 - 0.3 ⁽¹⁾	0.20 ⁽²⁾	[150]	Dachflächen
16	1.2 - 7.2 ⁽³⁾	4.21 ⁽³⁾	0.2 - 1.2 ⁽¹⁾	0.70 ⁽²⁾	[150]	Verkehrsflächen bzw. Strassenabflüsse
17	[-]	3.31 ⁽³⁾	[-]	0.55 ⁽¹⁾	[151] [153]	Verkehrsflächen
18	[-]	4.21 ⁽³⁾	[-]	0.70 ⁽¹⁾	[151] [153]	Mischflächen
19	[-]	0.90 ⁽³⁾	[-]	0.15 ⁽¹⁾	[151] [153]	Dachflächen
20	[-]	23.44 ⁽³⁾	[-]	3.90 ⁽¹⁾	[151] [153]	Hof-/Grünflächen
21	[-]	2.64 ⁽³⁾	[-]	0.44 ⁽¹⁾	[49]	Urbanes EZG Berlin
22	[-]	0.09 ⁽¹⁾	[-]	0.02 ⁽³⁾	[95]	Wohnzone (AUS); Fracht vor 1x Regen, kein Jahreswert
23	[-]	0.14 ⁽¹⁾	[-]	0.02 ⁽³⁾	[95]	Industriegebiet (AUS); Fracht vor 1x Regen, kein Jahreswert
24	[-]	0.18 ⁽¹⁾	[-]	0.03 ⁽³⁾	[95]	Gewerbegebiet (AUS); Fracht vor 1x Regen, kein Jahreswert
25	1.32 - 14.8 ⁽³⁾	8.08 ⁽³⁾	0.22 - 2.47 ⁽¹⁾	1.35 ⁽²⁾	[124]	Bezug auf 170 Probenahmen aus Trennsystemen bei "Herbstlaub" (U.S.A.)
26	0.01 - 173.7 ⁽³⁾	1.20 ⁽³⁾	0.002 - 28.9 ⁽¹⁾	0.20 ⁽¹⁾	[109]	Ereignisbasierte Konz. Mischsysteme
27	1.8 - 78.1 ⁽³⁾	39.97 ⁽³⁾	0.3 - 13.0 ⁽¹⁾	6.65 ⁽²⁾	[29]	Verweis auf [12] und [115]
28	2.7 - 6.6 ⁽³⁾	4.75 ⁽³⁾	0.45 - 1.10 ⁽¹⁾	0.79 ⁽²⁾	[156]	Wohngegend Stadtrand (Median bis Q ₉₅ -Perzentil)
29	2.16 - 5.8 ⁽³⁾	3.97 ⁽³⁾	0.36 - 0.96 ⁽¹⁾	0.66 ⁽²⁾	[156]	Wohngegend Innenstadtbereich (Median bis Q ₉₅ -Perzentil)

Nr.	Frachtrate Oberflächenabtrag [$\text{kg}_{\text{TP}}/(\text{ha} \cdot \text{a})$]		Konzentration im Regenabwasser [$\text{mg}_{\text{TP}}/\text{l}$]		Referenz	Anmerkungen
	Wertebereich	Mittl. Erw.	Wertebereich	Mittl. Erw.		
30	1.32 - 4.6 ⁽³⁾	2.94 ⁽³⁾	0.22 - 0.76 ⁽¹⁾	0.49 ⁽²⁾	[156]	Wohngebiet Gewerbe-/Industriegebiet (Median bis Q ₉₅ -Perzentil)
31	3.49 - 10.8 ⁽³⁾	7.15 ⁽³⁾	0.58 - 1.8 ⁽¹⁾	1.19 ⁽²⁾	[156]	Hauptverkehrsstrasse (Median bis Q ₉₅ -Perzentil)
32	0.7 - 1.5 ⁽¹⁾	1.10 ⁽²⁾	0.05 - 0.43 ⁽¹⁾	0.18 ⁽¹⁾	[111]	TP im Oberflächenabtrag Trennsystem eines Wohngebiets in der Stadt Zürich; Q ₀₅ -bis Q ₉₅ -Perzentil
33	0.16 - 1.8 ⁽¹⁾	0.98 ⁽²⁾	[-]	0.16 ⁽³⁾	[111]	TP im Oberflächenabtrag aus Trennsystemen (div. Orte CH, DE, USA, SE)

(1) Werte entnommen aus der angegebenen Referenz.

(2) Berechnete(r), mittlerer Erwartungswert(e) auf Basis der Referenz.

(3) Individuelle(r) Umrechnungswert(e) auf Basis der mittleren, jährlichen Abflusshöhe (601 mm/a).

Die in der Fachliteratur vorgefundenen grossen Spannweiten für Phosphor aus Oberflächenabtrag zeigen, dass grosse Unsicherheitsbereiche möglich sind, wenn keine einzugsgebietsspezifischen Daten verwendet werden können. In der Studie RAG wurde für die Modellierung keine Unterscheidung der Flächen hinsichtlich der Nutzungsarten vorgenommen (fehlende Informationsgrundlage in den GEP-Daten; vgl. Kap. 4.3.1). Stattdessen wurden die abflusswirksamen Flächen als «Mischfläche» verwendet.

Für urbane Mischflächen stellt der Bereich 1-7 $\text{kg}_{\text{P}}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ gemäss Tabelle 13 realistische Annahmen dar. Für die Modellierung wurde aus Vereinfachungs- und Konsistenzgründen ein einheitlicher Phosphorabtrag von 3 $\text{kg}_{\text{P}}/(\text{ha}_{\text{red}} \cdot \text{a})$ für das gesamte Untersuchungsgebiet festgelegt (= drei Kilogramm Phosphor pro Jahr und pro Hektar versiegelter, abflusswirksamer Fläche). Der angesetzte Abtragswert wurde dabei sowohl für Flächen, die über ein Trennsystem entwässern, als auch für solche mit Anschluss an ein Mischsystem einheitlich verwendet. Der Unsicherheitseffekt dieser Annahme wurde mittels Sensitivitätsanalyse überprüft (Kap. 7.5.2).

Insgesamt stellen die identifizierten und hier vorgestellten Referenzen eine gute Basis dar, um zu späteren Zeitpunkten auch Massnahmenplanungen mit detaillierten, kleinräumigen Flächen und deren charakteristischen Phosphorabtragsraten modellieren zu können (z. B. Dachflächen vs. Verkehrsflächen). Werden zu einem späteren Zeitpunkt Messdaten zum Oberflächenabtrag im EZG Greifensee erhoben, sollten die identifizierten P-Frachten den TEZG basierend auf Nutzungen und Flächenarten und nicht basierend auf der Entwässerungsart zugeordnet werden.

4.7.2 Prognose-Zustand

Im Rahmen der Studie RAG lagen für den Prognose-Zustand keinerlei Anhaltspunkte vor, die auf eine veränderte Dynamik des Oberflächenabtrags von Phosphor im Vergleich zum Ist-Zustand hindeuteten. Daher wurde in den Modellen der gleiche flächenspezifische Oberflächenabtrag von 3 $\text{kg}_{\text{P}}/(\text{ha}_{\text{red}} \cdot \text{a})$ wie im Ist-Zustand verwendet.

4.8 Phosphorfracht aus Fremd- und Grundwasser

4.8.1 Ist-Zustand

Phosphor im Grundwasser kann geogen bedingt natürlich vorliegen oder nutzungsbedingt vorhanden sein (z. B. Düngung). Über den natürlichen Austausch zwischen Grundwasserkörper und der angrenzenden Sohle von mit ihm verbundenen Fließ-/Standgewässern (hyporheisches Interstitial) kann der Phosphor in die Gewässer gelangen.

Phosphor aus Grundwasser kann in oberflächennahen Grundwassergebieten auch über undichte Leitungen in das Kanalnetz gelangen. Das infiltrierende Grundwasser liegt dann als Fremdwasser vor und kann gleichermassen in Misch- und Trennsystemen auftreten. Zudem kann Fremdwasser Phosphor in die Kanalisation eintragen, wenn z. B. Meliorationswasser von Landwirtschaftsflächen an das Abwassersystem angeschlossen sind oder Sickerwasser aus Hausdrainagen von Liegenschaften eingeleitet wird.

Mit Phosphor belastetes Fremdwasser kann insbesondere in Trennsystemen einen relevanten Frachtbeitrag darstellen: im EZG Greifensee findet bei den Trennsystemen keinerlei Behandlung des abfließenden Fremd-/Regenabwassers statt, sodass die entsprechenden Phosphorfrachten direkt in die Gewässer gelangen können (bei Trocken- und Regenwetter!).

Mit Phosphor belastetes Fremdwasser wirkt sich im Mischsystem direkt und indirekt aus: a) bei Regenwetter als zusätzlicher P-Frachtanteil, der über Mischabwasserentlastungen ins Gewässersystem gelangen kann, b) als Beanspruchung der Leitungskapazitäten und Speichervolumina, wodurch es früher/häufiger/länger zu Mischabwasserentlastungen und damit zur Entlastung der P-Frachten aus Oberflächenabtrag und kommunalem Abwasser kommen kann [133]. Anders als im Trennsystem wirkt sich die P-Fracht aus Fremdwassereintritten bei Trockenwetter im Mischsystem kaum nachteilig auf das Gewässer aus, da die P-Fracht in der ARA mitbehandelt wird (Restkonzentrationen verbleiben).

Die Quantifizierung der P-Fracht aus Fremd-/Grundwasser gilt allgemein als schwierig bis sehr schwierig [29], auch wenn einzelne Studien auf die häufig unterschätzte Relevanz der P-Fracht aus Fremdwassereinträgen hinweisen [49][91]. Im EZG Greifensee liegen zur Phosphorbelastung des Grundwassers keine Messdaten/Erfahrungswerte vor. Für die Studie RAG standen für eine Annahme zum Phosphoreintrag aus Grund-/Fremdwasser keinerlei Anhaltspunkte zur Verfügung. Unter Berücksichtigung der oben genannten, allgemeinen Schwierigkeit der Abschätzung wurde in der Studie auf eine Abschätzung der P-Fracht aus Grundwasser und Fremdwasser verzichtet (0.0 mg/l).

4.8.2 Prognose-Zustand

Der Prognose-Zustand wurde analog zum Ist-Zustand gehandhabt.

4.9 Tagesgänge Trockenwetteranfall und Frachten

4.9.1 Ist-Zustand

Schmutzabwasser: Zur Ableitung von hydraulischen Tagesganglinien wurden zeitlich hochaufgelöste Betriebsdaten der ARA-Zuflüsse während Trockenwetterperioden ausgewertet. Ziel war die Ermittlung einer Trockenwetterganglinie zur Abbildung der tageszeitlichen Schwankungen als repräsentative Dynamik des Schmutzwasseranfalls in den jeweiligen ARA-Einzugsgebieten.

Insgesamt zeigten die Zulaufmessungen in den einzelnen ARA-EZG vergleichbare Zulaufmuster, was auf einen sehr ähnlichen Abwasseranfall aus Haushalten, Gewerbe und Industrie im Einzugsgebiet hindeutet (Abbildung 12). Für das vorliegende Projekt wurde davon ausgegangen, dass die Phosphorfrachten proportional mit der Menge Schmutzabwasser anfallen (Kap. 4.6). Dieses Vorgehen stellt eine Vereinfachung dar; insbesondere in stärker von Gewerbe/Industrie geprägten Teileinzugsgebieten können Fracht- und Abwasseranfall stärker voneinander entkoppelt sein [87].

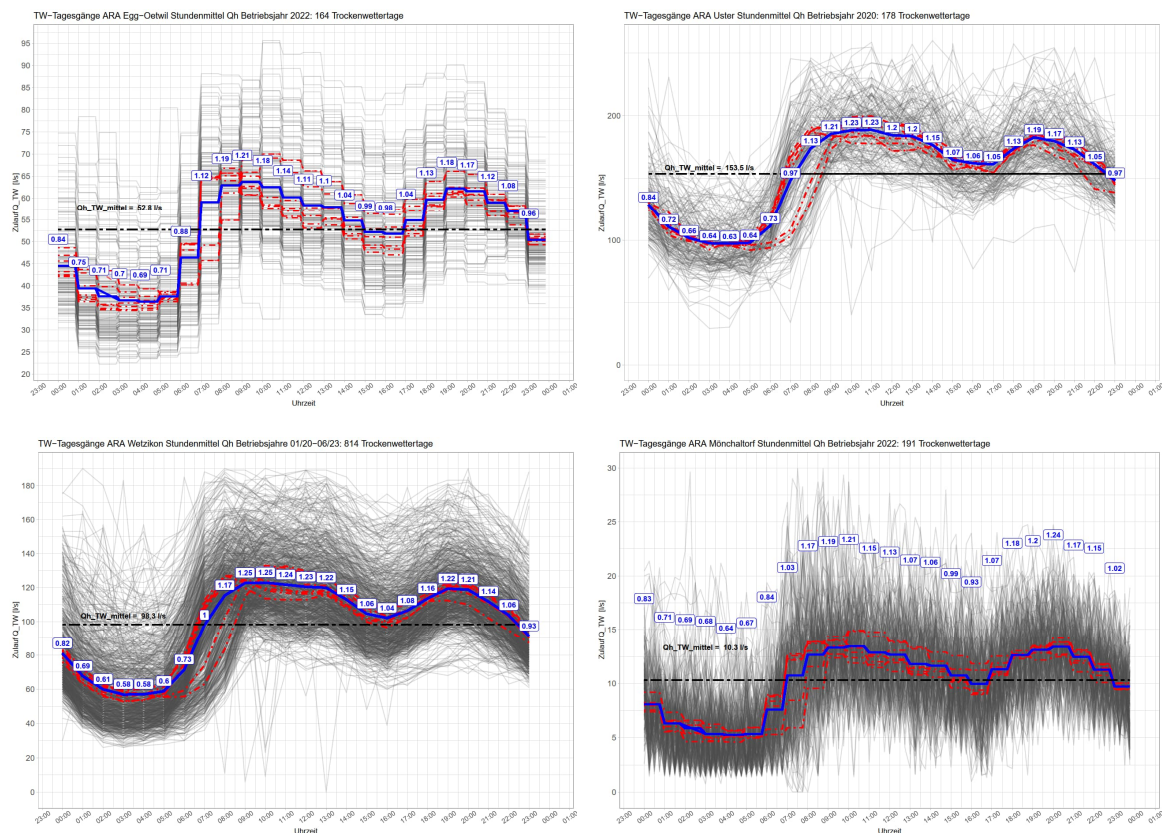


Abbildung 12: Auszug aus der Zulaufdatenanalyse der ARA aus den Einzugsgebieten Egg-Oetwil (links oben), Uster (rechts oben), Wetzikon (links unten) und Mönchaltorf (rechts unten). Abgebildet sind die Zulaufmessungen der Trockenwettertage (graue Linien), der mittlere Zufluss (schwarz gestrichelte Linie), der Zufluss jeder Stunde relativ zum mittleren Abfluss über alle Wochentage (blaue Linie inkl. Zahlenangaben) sowie die Relativabflüsse der einzelnen Wochentage (rote Linien).

Abhängig von der Datenverfügbarkeit erfolgte die Auswertung der Zulaufdaten über unterschiedlich lange Zeiträume (= Anzahl Trockenwettertage) zwischen 2020 und 2023. Hierzu wurde die Amplitude des gemessenen Trockenwetteranfalls so skaliert, dass beim Tagesdurchschnitt ($Q_{h,TW,mittel}$) ein Abfluss von näherungsweise «1» resultiert. Aus der so angepassten Ganglinie wurden Stundenfaktoren abgeleitet. Diese wurden im Modell als zeitliche Verteilungsfunktion für den Schmutzabwasseranfall wie auch für die im Schmutzabwasser enthaltene P-Fracht verwendet. Im Modell wurden ausschliesslich Tagesganglinien berücksichtigt. Unterschiede zwischen einzelnen Wochentagen sowie saisonale Schwankungen im Jahresverlauf wurden nicht abgebildet.

Fremdwasser: Die Ganglinie des repräsentativen Trockenwettertages wurde ausschliesslich auf den Schmutzwasserabfluss angewendet. Für den Fremdwasseranfall wurde kein separater Tagesgang berücksichtigt. Fremdwasser wurde vereinfacht modelliert und fällt kontinuierlich in konstanter Menge während eines Tages an.

4.9.2 Prognose-Zustand

Für den Prognose-Zustand wurden die Tagesganglinien des Ist-Zustands für Schmutzabwasser unverändert übernommen. Der Ansatz für Fremdwasser ist ebenfalls gleichgeblieben.

4.10 Niederschlagsdaten

4.10.1 Ist-Zustand

Für die hydrologische Modellierung wurden Niederschlagsdaten der kantonalen Messstelle Mönchaltorf herangezogen (ZH 527). Die Messdaten lagen in einer zeitlichen Auflösung von 10 Minuten vor. Als Simulationszeitraum wurde die verfügbare Niederschlagsserie vom 01.01.2001 bis 31.12.2022 verwendet (22 Jahre), wodurch eine langjährige und repräsentative Erfassung der bestehenden/bisherigen klimatologischen Bedingungen gewährleistet ist (Abbildung 13).

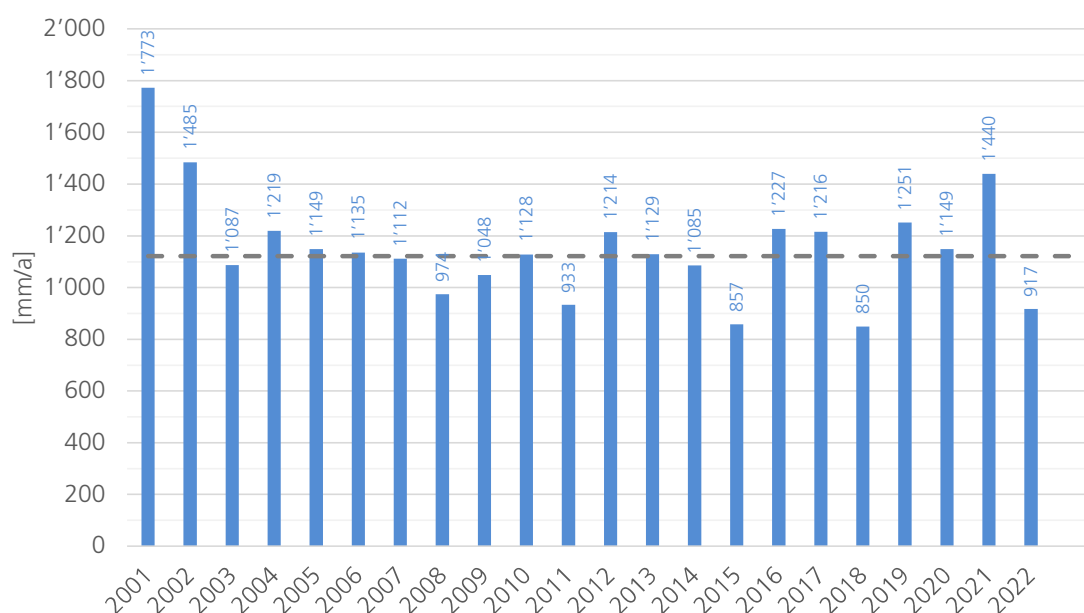


Abbildung 13: Jährliche Niederschlagssummen (blau, 2001-2022) an der kantonalen Messstation Mönchaltorf (ZH 527). Der langjährige Durchschnitt liegt bei 1'121 mm/a (grau gestrichelt).

Variabel ist Niederschlag hinsichtlich der jährlichen Menge (Abbildung 13) sowie der jährlichen Gesamtregendauer (Abbildung 14). Niederschläge treten im EZG Greifensee im langjährigen Durchschnitt während 623 Stunden pro Jahr auf, was einem relativen Anteil von 7.3 % der Jahreszeit entspricht. Im Umkehrschluss bedeutet es, dass während >90 % der Zeit in einem Jahr kein Niederschlag fällt.

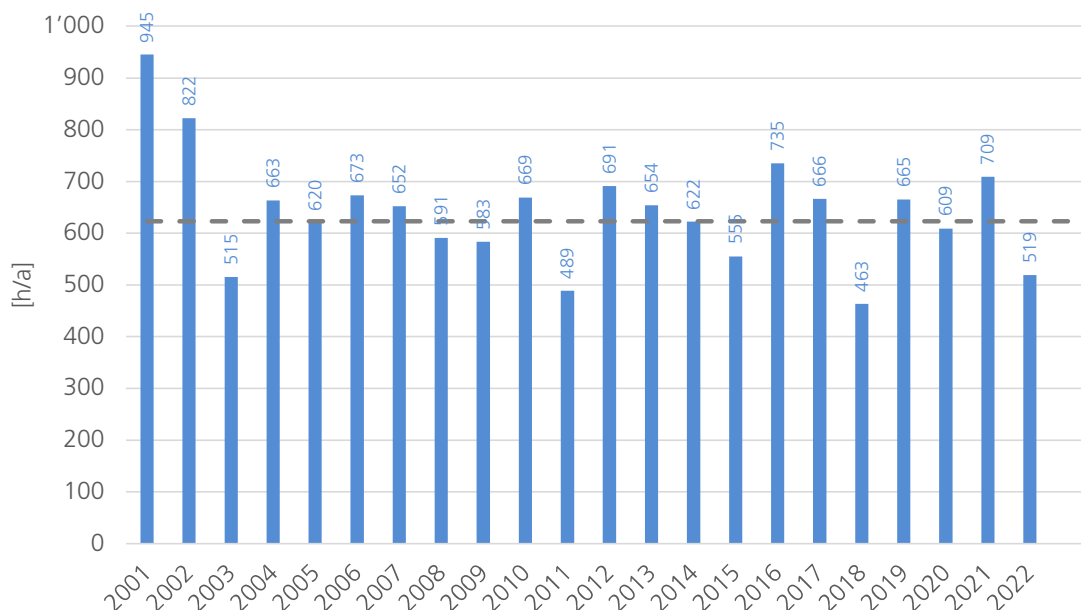


Abbildung 14: Jährliche Niederschlagsdauern (blau, 2001-2022) an der kantonalen Messstation Mönchaltorf (ZH 527). Der langjährige Durchschnitt liegt bei 643 h/a (grau gestrichelt).

4.10.2 Prognose-Zustand

Für die Simulation des Prognose-Zustands wurde die gleiche Regenserie verwendet wie für den Ist-Zu-stand. Auf eine Anpassung der Regenserie oder auf eine Verwendung synthetischer Regendaten, die die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigen, wurde in Absprache mit dem AWEL vorerst verzichtet.

Die zunehmenden Auswirkungen des anthropogen verursachten Klimawandels sind messbar und es ist bekannt, dass auch das meteorologische Regime u. a. in der Schweiz davon betroffen ist [93]. Neben längeren Trockenzeiten und häufigeren sowie extremeren Starkregenereignissen, findet auch eine Verschiebung der Niederschläge in die Wintermonate statt. Zusätzlich werden Niederschläge im Winter häufiger als Regen und seltener als Schnee auftreten, wodurch sich die hydrologischen Eigenschaften einiger Einzugsgebiete verändern: Abflüsse in Gewässern finden früher und z. T. bereits vor der Vegetationsperiode statt, da die Schneeschmelze geringer ausfällt.

Dieser Einfluss des Klimawandels kann bei den Abwasserinfrastrukturen zu anderen Entlastungshäufigkeiten und -mengen an den Sonderbauwerken führen (Kap. 7.5.4). Ebenfalls können das Abtragsverhalten von Schmutzstoffen von den bebauten Oberflächen verändert und die Sedimentation (Absetzverhalten) der Schmutzstoffe in der Kanalisation beeinflusst werden (Kap. 7.5.3). Im Rahmen des Projekts RAG sollten diese Auswirkungen nicht im Fokus stehen. Es wurde angenommen, dass aktuell die Auswirkungen durch das Wachstum der Siedlungsgebiete im EZG Greifensee den grösseren Effekt auf die P-Emissionen darstellen.

4.10.3 Datenkontrolle, -bearbeitung und -plausibilisierung

Die Daten der Messstation Mönchaltorf unterliegen Kontrollen des AWEL als Betreiber. Eine grundlegende Vorkontrolle ist damit gewährleistet. Die Datenreihen wurden durch HBT zusätzlich auf Fehler und Plausibilität überprüft. An vereinzelten Stellen traten doppelte oder fehlende Werte in der Datenserie auf. Diese wurden manuell korrigiert (intern dokumentiert, hier nicht aufgelistet). Die 10-Minuten-Daten (2001-2022) wurden mittels homogener Linearverteilung zusätzlich auf eine 5-Minuten-Auflösung disaggregiert. Für die Simulation mit KOSIM (Kap. 4.2) wurden die 5-Minuten-Daten verwendet. Schneeniederschläge wurden als Regenniederschläge behandelt.

Es lagen zusätzliche Niederschlagsdaten der Messstation Mönchaltorf vom 02.01.1992 bis 31.12.1999 vor. Die Auflösung der Regendaten für diesen Zeitraum ist nur in Tagessummen vorhanden. Eine komplexe Disaggregation der Daten auf 10- oder 5-Minuten-Intervalle wurde nicht vorgenommen. Auf die Verwendung der Daten für das Projekt wurde verzichtet, da die Verwendung der Disaggregation eine zusätzliche Unsicherheit eingeführt hätte und bereits eine ausreichend lange Regenserie vorlag (>20 a). Ebenfalls verzichtet wurde auf die Verwendung der Niederschlagsdaten aus dem Jahr 2000. Diese liegen zu Teilen als Tagessummen vor und nur für einige Monate als 10-Minuten-Messwerte. Auf eine lineare oder komplexe Skalierung/Extrapolation der 10-Minuten-Zeiträume auf die fehlenden Monate wurde aufgrund der ausreichend vorhandenen Daten ab 2001 verzichtet (s. o.).

4.10.4 Weitere Messstationen im EZG Greifensee

Im direkten EZG Greifensee sind weitere Niederschlagsmessstationen vorhanden: Uster, Pfäffikon, Hinwil (Abbildung 15, Abbildung 16). Zusätzlich existieren zahlreiche Messstationen, die nicht direkt im EZG Greifensee aber in unmittelbarer Nähe lokalisiert sind. Diese Stationen und deren Daten stellen wertvolle Eingangsinformationen dar für eine allfällige, spätere Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Ausbreitungen von Regengebieten im EZG. Zu Projektbeginn RAG wurde entschieden, dass für die Langzeitsimulationen auf regionaler EZG-Ebene aktuell nur die Daten der Messstation Mönchaltorf verwendet werden.

Niederschläge können eine grosse, räumlich-zeitliche Variabilität haben. Das bedeutet, dass es sehr selten vorkommt, dass es im gesamten EZG Greifensee zur gleichen Zeit in gleicher Intensität regnet. Für die RAG-Studie wurde dieser unwahrscheinliche Fall als konservative Annahme gewählt. Die entstehenden Unsicherheiten in den Resultaten wurden bewusst in Kauf genommen (Kap. 7.5.4).

Die Verfügbarkeit von Radarregendaten im EZG Greifensee wurde aus diesem Grund ebenfalls nicht überprüft. Radarregendaten können eine zusätzliche, sehr detaillierte Datenquelle für spätere Modellierungen und Planung von einzelnen Massnahmen im Kanalnetz und bei Sonderbauwerken sein.

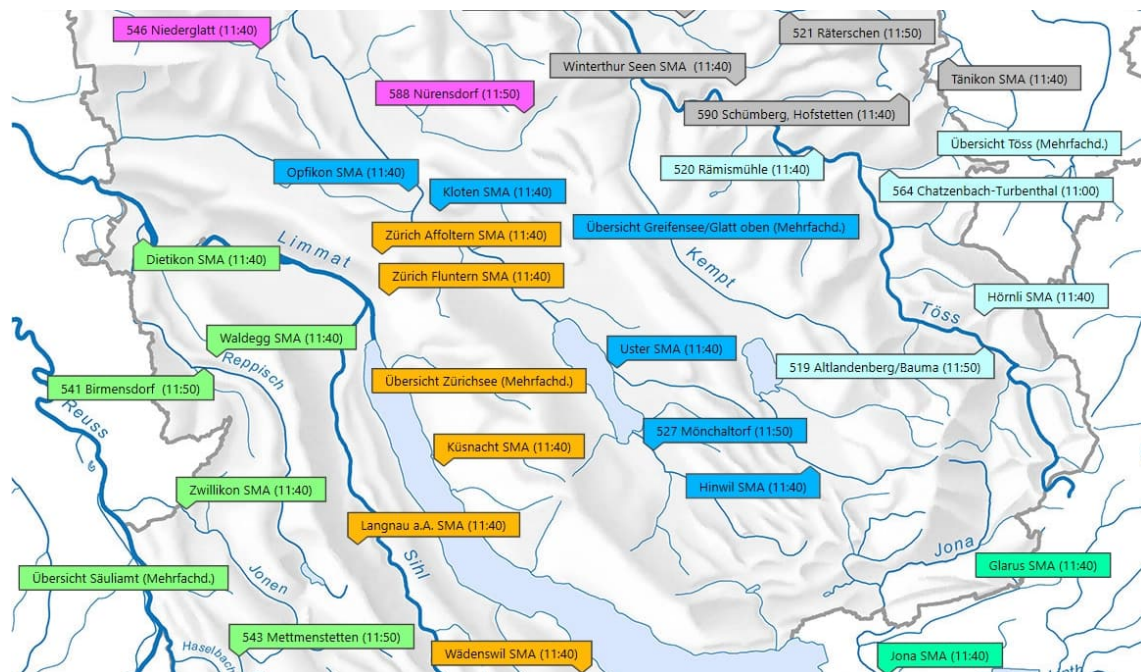


Abbildung 15: Übersicht Niederschlagsmessstationen im Umfeld des Greifensees (Quelle: AWEL <https://hydroproweb.zh.ch>; Stand: 12.05.2026).

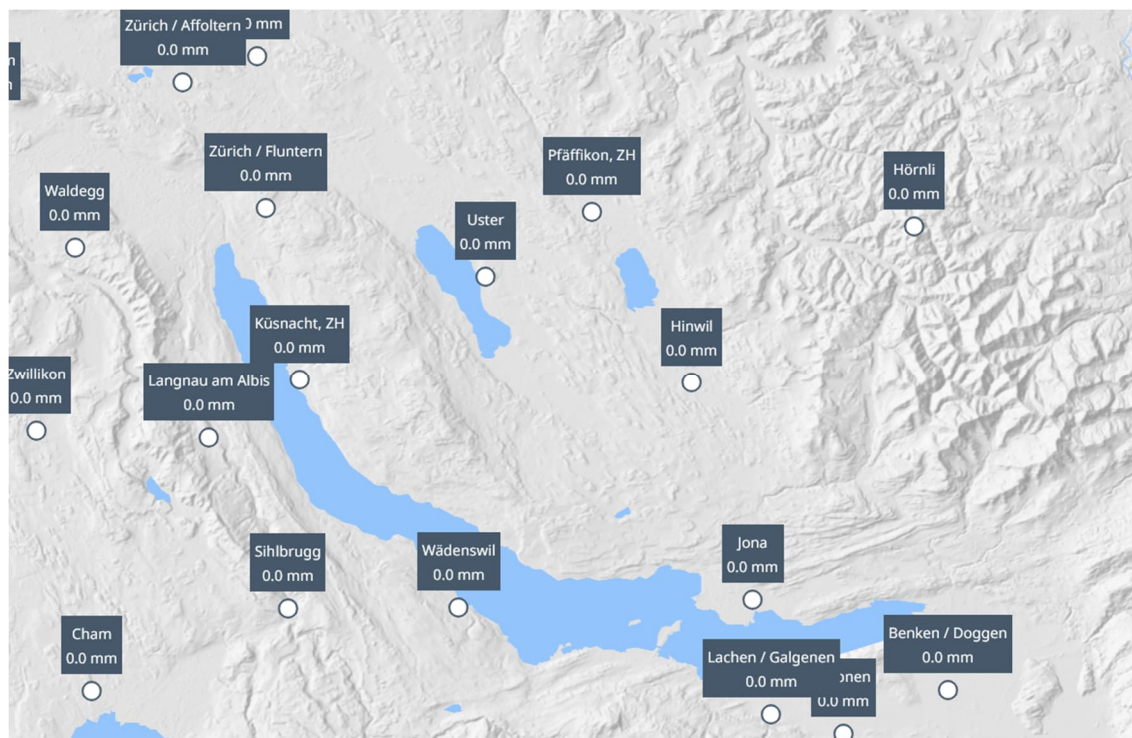


Abbildung 16: Übersicht Niederschlagsmessstationen von MeteoSchweiz im Umfeld des Greifensees
(Quelle: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/applikationen/messwerte.html>; Stand: 12.05.2026).

5 Modellierung

5.1 Abflussentstehung

5.1.1 Parametrisierung Abflussentstehung in Teileinzugsgebieten

Der Aufbau der Modelltopologien erfolgte auf Grundlage der vorhandenen Planunterlagen, insbesondere der Einleitschemata sowie der Situationspläne. Die Struktur der Teileinzugsgebiete, Entwässerungsfliesspfade und Sonderbauwerke wurde entsprechend dieser Datengrundlagen im Modell abgebildet. Die nachfolgenden Einstellungen wurden sowohl für Misch- als auch für Trennsysteme angewendet.

Für die **Abflussbildung** wurden folgende Parameter angesetzt:

- Benetzungsverlust: 0.5 mm
- Muldenverlust: 1.8 mm (*)
- Anfangsabflussbeiwert: 1.0 (*)
- Endabflussbeiwert: 1.0

() Hinweis: Durch die Festsetzung des Anfangsabflussbeiwerts bei «1.0» werden in der Simulation im KOSIM die Muldenverluste rechnerisch deaktiviert – unabhängig vom gewählten Muldenverlustwert. Diese Einstellung wurde gewählt, um eine konservative Betrachtung während der Simulation zu ermöglichen (Kap. 4.1). Die Auswirkungen der (de-)aktivierten Muldenverluste wurden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse überprüft (Kap. 7.5.2).*

Für die **Abflusskonzentration** wurden folgende Parameter angesetzt:

- Anlaufzeit (Fließzeit auf der Oberfläche): 3 Min.
- Fließzeit im Kanal: Fließweglänge unter Annahme einer konstanten Fließgeschwindigkeit von 1 m/s berechnet.

Der Berechnungszeitschritt der Simulation im KOSIM betrug fünf Minuten (Kap. 4.10).

5.1.2 Ist-Zustand

Für die detaillierten Angaben zu den Flächen der Teileinzugsgebiete für die ARA-EZG im Ist-Zustand siehe u. a. Kap. 4.4.1/4.7.1. Die Parametrisierung der Abflussentstehung im Ist-Zustand wurde in allen ARA-EZG gleich eingestellt (s. o.).

5.1.3 Prognose-Zustand

Für die Angaben zu den Einzugsgebietsflächen im Prognose-Zustand siehe Kap. 4.4.2/4.7.2. Für die Parametrisierung der Abflussentstehung im Prognose-Zustand wurden die gleichen Werte wie für den Ist-Zustand verwendet.

5.2 Modellierung von Trennsystemen

Für Teileinzugsgebiete (TEZG), die in den ARA-EZG im Trennsystem entwässert werden, wurde folgende Abbildung im Modell berücksichtigt:

- Jedes Trennsystemgebiet wurde in zwei separate Teileinzugsgebiete aufgeteilt: ein «TS_Mischsystem» und ein «TS_Trennsystem».
 - Das «TS_Mischsystem» erhielt alle im TEZG vorhandenen Einwohnerwerte. Nur aus diesem Teilsystem fiel Schmutzabwasser inkl. einwohnerwertspezifischem Fremdwasser an (Kap. 4.4). Dieses Abwasser
-

und damit die P-Emissionen wurden innerhalb des Modells an den nächstgelegenen Kanalisationspunkt des Mischsystems angeschlossen. Die Frachten wurden somit den Emissionspfaden ARA und MW zugeordnet.

- Sofern entsprechende Angaben in den Grundlagendaten vorlagen und eine Zuordnung zu einem einzelnen Sonderbauwerk aus den Daten möglich war, wurde für das «TS_Mischsystem» berücksichtigt, dass ein Anteil von 2 % der abflusswirksamen Flächen (F_{red}) des Trennsystems nicht direkt in ein Gewässer entwässern, sondern fälschlicherweise dem Mischabwassernetz zugeführt werden. Diese Annahme dient der Berücksichtigung von in der Realität vorkommenden Fehlanschlüssen. Aus dem «TS_Mischsystem» lagen somit max. 2 % abflusswirksame Flächen vor. Für diese Flächen wurde ein Oberflächenabtrag für Phosphor angenommen (Kap. 4.7).
- Das «TS_Trennsystem» erhielt alle restlichen, abflusswirksamen Flächen (min. 98 % von F_{red}). Die Flächen wurden mit dem definierten Phosphorabtrag aus Oberflächenabfluss parametrisiert (Kap. 4.7) und ohne Zuordnung von Einwohnerwerten abgebildet (kein Schmutz- und Fremdwasseranfall). Die Frachten aus diesem System wurden im Modell wirksam für den Emissionspfad TS.

In den meisten ARA-EZG wurden die Trennsystemgebietsflächen am Schluss in ein einziges TS-Gebiet zusammengefasst. Dieses Vorgehen vereinfachte die spätere Modellierung von Massnahmen (Kap. 6) und war möglich, da der spezifische Einleitpunkt in Gewässer niedrigerer Ordnung für die Projektfragestellung nicht relevant war (Kap. 3.3).

5.3 Modellierung von Versickerungsanlagen

Versickerungsanlagen im Bestand konnten in der Modellierung nicht separat erfasst werden. Eine konsequente Berücksichtigung von Versickerungsanlagen konnte aufgrund fehlender Angaben in den GEP- und Werkkatasterunterlagen nicht erfolgen. Wo Informationen in den GEP-Unterlagen vorhanden waren, wurden diese vermutlich bei den Teileinzugsgebietsflächen der Sonderbauwerke in den GEP berücksichtigt.

Einige Gemeinden führen noch kein Versickerungskataster. Werkkataster, in denen die Standorte von Versickerungsanlagen enthalten sind (z. B. Stadt Uster) enthalten jedoch nicht in ausreichendem Umfang die für eine Modellierung wichtigen Eckdaten der einzelnen Anlagen (z. B. angeschlossene Flächen, Retentionsvolumen, Drosselabfluss, Dimensionierungsjährlichkeit, Entwässerungsrichtung Notüberlauf etc.).

Für zukünftige Massnahmen im Prognose-Zustand, bei denen die Integration von Versickerungsanlagen vorgesehen ist (z. B. Einführung lokale Regenwasserbewirtschaftung, Kap. 6.3) wurde ein vereinfachtes Vorgehen angewendet. Dabei wurde angenommen, dass Versickerungsanlagen im vorgegebenen Umfang die abflusswirksamen Flächen F_{red} verringern. Dies bedeutet implizit, dass Notüberläufe von Versickerungsanlagen nicht an die Kanalisation angeschlossen sind. Für zukünftige Modellierungen, z. B. im Rahmen von Monitorings (Kap. 8.3.2), sollten Versickerungsanlagen mindestens summativ pro Gemeinde/Stand und pro Sonderbauwerk berücksichtigt werden. Dies erfordert einheitliche und umfangreiche Einträge in den Werkkatastern der Gemeinden/Städte sowohl für Bestands- als auch für Neuanlagen (Kap. 8.3.5).

5.4 Parametrisierung Sonderbauwerke

Die Sonderbauwerke wurden im Modell mit den jeweiligen Weiterleitmengen, Speichervolumina und gemäss den zur Verfügung gestellten Unterlagen parametrisiert. Grundlage bildeten die vorhandenen Plan- und Betriebsdaten. Die angesetzten Kenngrössen der Sonderbauwerke sind für jedes ARA-EZG zusammengestellt (Kap. 11 Anhang).

Sofern Bauwerkspläne vorlagen, wurden druckabhängige Weiterleitmengen entsprechend im Modell abgebildet (z. B. bei fix eingestellten Schiebern). Damit konnte das hydraulische Verhalten der Bauwerke unter unterschiedlichen Belastungssituationen möglichst realitätsnah berücksichtigt werden.

5.5 Parametrisierung P-Elimination auf ARA

5.5.1 Ist-Zustand

Die Modellierung der P-Elimination in den ARA im KOSIM erfolgt vereinfacht durch Vorgabe einer Mindestkonzentration sowie einer definierten Abbauleistung. Die Abbauleistung wurde entsprechend den gemessenen und ableitbaren Reinigungsleistungen der Jahre 2021 und 2022 angesetzt und ist in Tabelle 14 dargestellt (Basis: ARA-Betriebsdaten und ARA-Jahrbücher; Kap. 4.3.2).

Tabelle 14: In den Modellen angesetzte Parameter zur P_{ges} -Elimination der ARA.

ARA	Abbauleistung P_{ges} [%]	Mindestkonzentration P_{ges} im Ablauf der ARA [mg/l]
Egg-Oetwil	97.76	0.08
Gossau-Grüningen	98.04	0.07
Maur	98.33	0.05
Hinwil	99.00	0.05
Mönchaltorf	98.00	0.05
Pfäffikon	98.80	0.05
Uster	98.10	0.08
Wetzikon	97.50	0.12

Die Elimination von Phosphor während der Abwasserreinigung auf der ARA ist technisch und ökonomisch aufwändig [32]. Frühere Studien zeigten, dass der im Klärschlamm ausgefällte Phosphor insgesamt aber einen höheren Wert hat als die für die P-Elimination auf ARA anfallenden Kosten [76]. Bei höheren Weltmarktpreisen und/oder eingeschränkter Zugriffsmöglichkeit auf Düngemittel dürfte diese Aussage zunehmend zutreffen. In der gleichen Studie wurde für das EZG der Donau gezeigt, dass auch für kleinere ARA (>1'000 EW und <10'000 EW) eine P-Elimination aus Gewässerschutzperspektive sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar sei, da mit einfachen Technologien bei den kleineren ARA verhältnismässig günstiger Phosphor aus dem Abwasser entfernt werden konnte als durch strengere Ablaufgrenzwerte bei den grösseren ARA (>10'000 EW). Vor diesem Hintergrund und unter Berücksichtigung der bereits heute vorhandenen P-Fällungen bei allen ARA im EZG wurden P-Eliminationen auch zukünftig und auch für die kleineren ARA im EZG Greifensee für die Modellierung und Grobprojektierung vorgesehen (ARA Maur, ARA Mönchaltorf).

5.5.2 Prognose-Zustand

Im Prognose-Zustand wurden die gleichen Modelleinstellungen bezüglich der P-Eliminationsleistung auf den ARA verwendet wie im Ist-Zustand. Das heisst, grundsätzlich wird für die Zukunft davon ausgegangen, dass mindestens die heute bereits erreichbaren Reinigungsleistungen weiterhin erreicht werden.

5.6 Modellierung Phosphor aus Oberflächenabtrag

Als sehr einfaches Akkumulations-Abtrags-Modell wurde im Modell eine «konstante Regenwasserkonzentration» für Phosphor angenommen. Daraus resultiert, dass die Phosphorkonzentration im Regenabwasser nur abhängig ist von der jährlichen Niederschlagssumme. Das heisst, die P-Konzentration im Regenabwasser bleibt innerhalb eines Jahres konstant; sie variiert aber zwischen den Jahren aufgrund der unterschiedlichen Jahresniederschlagssummen (Kap. 4.10.1).

Diese vereinfachte Annahme ist begründet durch die mangelnde Messdatenlage im EZG Greifensee (Kap. 4.7) sowie aufgrund des Fokus auf die regionale Betrachtung der Stoffflüsse. Detaillierte Akkumulations-Abtrags-Dynamiken spielen insbesondere bei der (kleinräumigen) Berücksichtigung unterschiedlicher Flächenarten eine relevantere Rolle. Die aus diesen Annahmen resultierenden Unsicherheiten wurden im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht (Kap. 7.5.2).

Ein saisonaler Jahresgang beziehungsweise zeitlich variable Konzentrationsverläufe im Regenabwasser, z. B. aufgrund unterschiedlich langer Trockenperioden und verschieden starker Regenereignisse, wurden damit bewusst nicht berücksichtigt. Der Phosphorabtrag von befestigten Oberflächen wurde im KOSIM-Modell als separater Parameter implementiert, um den Beitrag aus dem diffusen Oberflächenabfluss getrennt vom Beitrag aus dem Schmutzabwasser gezielt abbilden zu können. Der angesetzte Abtragswert wurde dabei sowohl für Flächen, die über ein Trennsystem entwässern, als auch für solche mit Anschluss an ein Mischsystem einheitlich verwendet (Kap. 4.7). Weiterhin wurde der aus dem Oberflächenabtrag stammende Phosphor vollständig als partikulär gebunden angenommen, entsprechend der dominierenden Transportform im urbanen Regenabfluss.

5.7 Modellplausibilisierung

Im EZG Greifensee liegt in den einzelnen ARA-EZG kein übergeordnetes Messkonzept vor bzw. werden nicht flächendeckend Messdaten zur Beobachtung der Dynamiken in den Abwassersystemen erfasst. Mangels Messdaten und aufgrund der vorhandenen Unsicherheiten in der GEP-Datenbasis (Kap. 7.5.3) konnten die erstellten Modelle nicht anhand von Trainingsdatensätzen kalibriert und mit Hilfe von Testdatensätzen verifiziert werden. Dies trifft insbesondere auf die P-Emissionen aus Mischabwasserentlastungen und Abläufe aus Trennsystemen zu.

Da die ARA-Betriebsdaten in deutlich besserer quantitativer und qualitativer Hinsicht vorlagen, wurden die erstellten EZG-Modelle zumindest anhand der erzielten ARA-Eliminationsleistungen plausibilisiert. Zur Plausibilisierung der Modellannahmen wurden die gemessenen und modellierten Zu- und Ablauffrachten der ARA jeweils gegenübergestellt (Tabelle 15 und Tabelle 16). Der Vergleich zeigt in der Regel eine gute Übereinstimmung zwischen Messwerten und Simulationsergebnissen.

Tabelle 15: P-Zulauffrachten ARA gemäss Betriebsdaten (Mittelwert 2021/2022) und aus Langzeitsimulation (Ist-Zustand). Zahlen in Klammern: errechnete Frachten im Rohabwasser auf Basis der gemessenen Frachten im Ablauf der Vorklärung unter Annahme von 10 % Elimination in der Vorklärung.

ARA	P-Fracht Zulauf ARA [kg/d]		Verhältnis [%] Modell/Betriebsdaten
	Betriebsdaten	Modell	
Egg-Oetwil	24.12*	23.82	98.8
Gossau-Grüningen	21.62** (23.78)	20.43	85.9
Maur	9.66*	9.65	99.9
Hinwil	25.26*	28.10	111.2
Mönchaltorf	6.49*	6.51	100.3
Pfäffikon	25.02*	26.05	104.1
Uster	46.32** (50.95)	55.90	109.7
Wetzikon	57.68*/29.42**	32.68***	56.7

* Frachtmessung Zulauf ARA

** Frachtmessung Ablauf Vorklärung

*** Frachtenfall in Modell mit Unsicherheiten behaftet, angesetzt wurde die P-Fracht im Ablauf VKB (Kap. 7.5.3 u. Tabelle 12)

Tabelle 16: P-Ablauffrachten der acht ARA gemäss Betriebsdaten (Basis: Mittelwerte 2021/2022) und aus Langzeitsimulation (Ist-Zustand).

ARA	P-Fracht Ablauf ARA [kg/d]		Verhältnis [%] Modell/Betriebsdaten
	Betriebsdaten	Modell	
Egg-Oetwil	0.62	0.65	104.8
Gossau-Grünin- gen	0.47	0.44	93.6
Hinwil	0.40	0.40	100.0
Maur	0.19	0.17	89.5
Mönchaltorf	0.13	0.13	100.0
Pfäffikon	0.38	0.39	102.6
Uster	1.57	1.40	89.2
Wetzikon	1.33	1.33	100.0

6 Variantenerstellung und Variantenbeschrieb

6.1 Vorgehen

Im Rahmen einer eigenen Projektphase (vgl. Abbildung 11, Kap. 3.2) wurde für das EZG Greifensee breit abgeklärt, welche Möglichkeiten zur Reduktion der P-Emissionen existieren. Der Prozess wurde in mehreren Iterationen und unter Teilnahme verschiedener Akteure durchgeführt.

- Aufarbeitung bestehender «Alt-Ideen» aus a) den Anfangsüberlegungen des Projektvorhabens (Kap. 3.1), b) historischen Ansätzen im EZG [5][98][136] sowie c) aus Drittprojekten der HBT inkl. deren Überprüfung hinsichtlich Verwendbarkeit für das Projekt RAG.
- Erstellung eines Entwurfs möglicher Technologien, Massnahmen und Varianten durch die HBT unter Einbezug der Projektleitung des AWEL
- Durchführung eines 1. Workshops (27.02.2024) unter Beteiligung des AWEL, der Partner von INFRA-concept sowie mit den Betriebsleitungen mehrerer ARA und den Vertreter/-innen des technischen Betriebs einzelner Abwassersysteme/Gewerke. Fokus: Identifikation möglicher Technologien und Lösungsansätze für die P-Emissionssituation im EZG Greifensee
- Spiegelung der Entwürfe und Resultate aus dem 1. Workshop mit der Steuerungsgruppe (07.05.2024) und Einarbeitung von Zwischenrückmeldungen
- Durchführung eines 2. Workshops (05.06.2024) unter Beteiligung der gleichen Akteursgruppen wie im 1. Workshop mit dem Fokus auf die Ausarbeitung möglicher Kombinationsvarianten unter Berücksichtigung der ersten Simulationsergebnisse für die einzelnen ARA-EZG
- Ausarbeitung einiger weniger Kombinationsvarianten durch die HBT unter Begleitung der Projektleitung des AWEL
- Präsentation der Kombinationsvarianten gegenüber der Steuerungsgruppe inkl. Diskussion und Entscheidung der SG hinsichtlich der weiterzuverfolgenden Varianten
- Detailausgestaltung Kombinationsvarianten (HBT): Modellierung und Simulation von fünf Kombinationsvarianten (*) inkl. Grössenauslegung der pro Variante definierten Massnahmen, sodass der Ziel-

wert der P-Emissionen von $\leq 1.6 \text{ t/a}$ sicher eingehalten werden kann (Kap. 6.4). (*) Die Grobprojektion und Kostenschätzung wurde nur für die vier weiterverfolgten Kombinationsvarianten durchgeführt.

6.2 Ideensammlung Varianten

Mögliche Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge in den Greifensee aus der Siedlungsentwässerung wurden im Rahmen des 1. Workshops (27.02.2024) in einem interdisziplinären Team aus Vertretern des AWEL, der ARA-Betreiber sowie den beteiligten Planern erarbeitet. Ziel des Workshops war es, in einem offenen Brainstorming ohne Einschränkungen denkbare Handlungsoptionen zur Reduktion des P-Eintrags zu sammeln. Dabei wurden bewusst auch und langfristige und unkonventionelle Ansätze zugelassen.

Im Nachgang zu beiden Workshops wurden aus den Resultaten elf übergeordnete Ansätze für Varianten bzw. Massnahmen definiert (Tabelle 17). Die später weiterverfolgten Ansätze wurden in mehrere Einzelmassnahmen übersetzt und deren P-Reduktionspotenzial mit Hilfe der erstellten Modelle überprüft (Kap. 6.3/7.2).

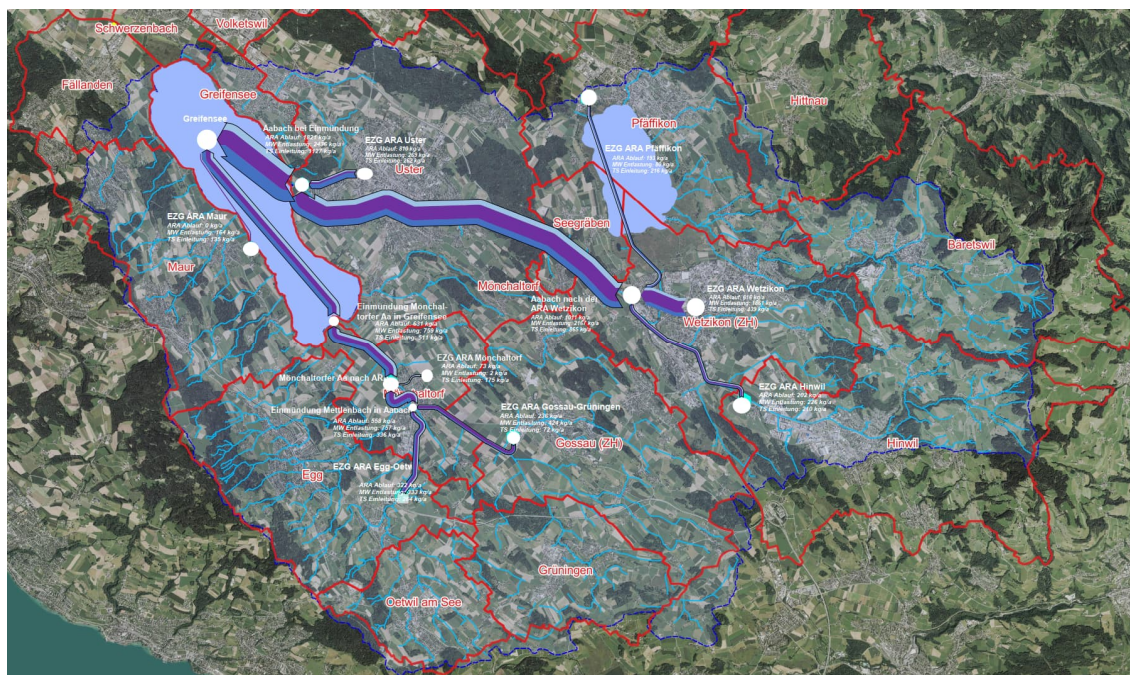


Abbildung 17: Frachtströme Phosphor aus Siedlungsgebieten im Einzugsgebiet des Greifensees (Prognose-Zustand). Natürliches Einzugsgebiet des Greifensees (dunkelblau), Gemeindegrenzen (rot) und Zuflüssen im EZG (hellblau). P-Frachtströmen über die drei Emissionspfade aus den einzelnen ARA-EZG im Verlauf über die Gewässerfließpfade dargestellt als Sankey-Diagramm. Mehr als 60 % der P-Fracht aus Siedlungsgebieten gelangt über den Aabach in den Greifensee. HINWEIS: Die dargestellten P-Frachten basieren auf einem Bearbeitungszwischenstand während der Phase 3 des Projekts RAG. Sie entsprechen nicht den finalen Studienergebnissen, die in Kap. 7.1 präsentiert werden.

Tabelle 17: Grundlegende Massnahmenansätze, die im Workshop vom 27.02.2024 erarbeitet und zusammengetragen wurden. Zeichenbedeutung: «+» = positiver Effekt = weniger P-Emissionen für diesen Eintragspfad; «0» = kein Effekt bzw. kein ausreichend massgeblicher Effekt auf die P-Emissionen für diesen Eintragspfad; «-» negativer Effekt auf die P-Emissionen.

Nr.	Ansatz	Effekt auf P-Emissionen aus:			Ansatz weiterverfolgt?
		ARA-Ablauf	MW-Entlastung	TS-Einleitung	
1	Verbesserung der ARA-Reinigungsleistung	+	0	0	ja
2	Reduktion des Fremdwasseranteils	+	+	+	ja
3	Reduktion der Schmutzabwassermenge	+	+	0	ja
4	Einführung einer Schmutzabwasserbewirtschaftung	+	+	0	ja
5	Einführung einer Stoffstromseparierung	+	+	0	ja
6	Einführung von Regenwasserbewirtschaftung und Regenabwasserbehandlung	+	+	+	ja
7	Reduktion von P-Einträgen aus Gewerbe und Industrie	+	+	0	nein ¹
8	Reduktion der Entlastungen aus Mischabwassersystemen	+	+	-/0 ²	ja
9	Fusionen von ARA	+	+	0	ja
10	Regionale (Ab-)Wasserumleitung durch wasserbauliche Anpassungen am Gewässer	+	+	+	nein ³
11	Landwirtschaftliche Wassernutzung	+	0	0	nein ⁴

1 Die Daten-/Erkenntnisgrundlage war bei kantonalen und kommunalen Behörden deutlich zu gering, um für die Ist-Situation belastbare Aussagen zu P-Emissionen aus gewerblich-industriellen Punktquellen zu treffen. Der P-Beitrag aus Gewerbe/Industrie im EZG Greifensee wurde gemäss einer Erstanalyse des AWEL (2024) im Vergleich zu den Haushalten als kleiner bzw. nicht massgebend vermutet.

2 Effekt auf TS-Einleitungen nur dann «+», wenn als Massnahme zur Abtrennung von abflusswirksamen Flächen vom Mischsystem ein Ausbau des Trennsystems mit Retentionsbodenfiltern erfolgt.

3 Neben Massnahmen im Einflussbereich der Siedlungsentwässerung wurden auch wasserbauliche Massnahmen zwischenzeitlich in Erwägung gezogen. Ausschlaggebend waren bekannte Möglichkeiten zur P-Elimination in und an Gewässern (vgl. z. B. [29]) wie auch die Erkenntnisse aus den Simulationen und Phosphorfließpfaden im EZG Greifensee (Abbildung 17). Da die möglichen Eingriffe am Gewässersystem sehr intensiv (z. B. künstliche Umleitung des Aabachs) und damit die Folgen für das Ökosystem mutmasslich enorm gewesen wären, wurde auf eine Weiterverfolgung dieser Massnahmen verzichtet. Zudem widersprächen diese Massnahmen dem nationalen Zielbild renaturierter Gewässer und es wurde durch die beteiligten Akteure angemerkt, dass wasserbauliche Massnahmen ausserhalb der Finanzierbarkeit und Zuständigkeit der Siedlungsentwässerung lägen.

4 Während des 2. Workshops sowie während einer nachfolgenden SG-Sitzung (15.10.2024) wurden die Randbedingungen sowie Vor-/Nachteile der landwirtschaftlichen Nutzung von gereinigtem Abwasser diskutiert. Es wurde entschieden, den Ansatz im Projekt RAG nicht weiterzuverfolgen. Eine Mehrheit der Akteure sah in diesem Ansatz für die Erreichung des EZG-Zielwerts kein ausreichendes Wirkungspotenzial trotz mutmasslich hoher Investitionen und unklarer technologischer Umsetzung in der Flächendeckung. Zudem hätte die landwirtschaftliche Wassernutzung nur während der Vegetationsperiode zum Einsatz kommen können; die SG fokussierte aber auf ganzjährige Lösungsansätze. Eine hygienische Bedenklichkeit war nicht ausschlaggebend für die Nichtweiterverfolgung, da Einigkeit bei allen Akteuren bestand, dass eine landwirtschaftliche Nutzung eine zusätzliche ARA-Reinigungsstufe zur Hygienisierung bedurft hätte (vgl. dazu [73][74]).

6.3 Einzelmassnahmen

Zur Untersuchung möglicher Reduktionspotenziale wurden verschiedene Massnahmen zur Verminderung der Phosphoremissionen modelliert. In einem ersten Schritt erfolgte die Betrachtung ausschliesslich als Einzelmassnahmen, d. h. ohne gleichzeitige Kombination mehrerer Ansätze. Dadurch konnte der Einfluss und der jeweilige Wirkungshebel der einzelnen Massnahmen isoliert beurteilt werden. Die Einzelmassnahmen wurden modelliert für die Prognosezustände der ARA Egg-Oetwil und Uster (Resultate: Kap. 7.2). Jede Massnahme wurde dabei innerhalb einer definierten Spannweite modelliert, um die Sensitivität der einzelnen Massnahmen separat zu untersuchen. Die untersuchten Einzelmassnahmen sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

Massnahmen zur Reduktion der P-Frachteinträge sind auch an der Schnittstelle Siedlungswasserwirtschaft, Landwirtschaft und Naturflächen denkbar (z. B. Wälder, Moore). Es existieren seit längerem technische Ansätze, um den Nährstoffeintrag von abflusswirksamen Flächen im Siedlungsgebiet oder von Wald-, Wiesen- und Ackerflächen in die Oberflächengewässer zu begrenzen [29][65] oder direkte Massnahmen im und am Gewässer zur P-Elimination vorzusehen [61]. Entsprechende Technologien wurden hier nicht tiefergehend betrachtet, da im Projekt RAG die Schnittstelle zwischen Siedlungs- und Landwirtschaft nicht thematisiert wurde und die entsprechenden Technologien sehr gezielt, kleinräumig eingesetzt werden müssten. Ohne Detailbetrachtungen wäre eine Abbildung dieser Technologien, deren Eigenschaften und ihrer Auswirkung auf die P-Frachten im Modell nicht möglich.

Tabelle 18: Übersicht der modellierten Einzelmassnahmen und zugrunde gelegten Modellannahmen. Die Reduktionswirkung der Einzelmassnahmen auf die P-Emissionen ist in Abbildung 31 in Kap. 7.2 aufgezeigt.

Nr. Variante	Ansatz/Massnahme	Modellannahme
1.1	Verbesserung der Reinigungsleistung von ARA	P-Konzentration im ARA-Ablauf im Mittel 0.03 mg/l
1.2		P-Konzentration im ARA-Ablauf im Mittel 0.05 mg/l
2.1	Reduktion des Fremdwasseranteils (FWA)	Reduktion Fremdwasseranteil auf ≤ 20 %
2.2		Reduktion Fremdwasseranteil auf ≤ 30 %
3.1	Reduktion der Schmutzabwasser- menge	Reduktion EW-spezifischer Schmutzabwasseranfall um 10 %
3.2		Reduktion EW-spezifischer Schmutzabwasseranfall um 50 %
4.1	Einführung einer Schmutzabwasserbe- wirtschaftung	Schmutzabwasserspeicher (= sämtliche Haushaltsabwässer ohne Regenabwasser) in 100 % der Neubauten. Dimensionierung: Schmutzabwasservolumen eines 24-h-Tages kann während Regenwetter zurückgehalten werden.
4.2		Schwarzwasserspeicher (= nur Abwässer aus WCs, d. h. ohne Grauwasser aus Duschen/Lavabo etc.) in 100 % der Neubauten. Dimensionierung: Schwarzwassermenge eines 24-h-Tages kann während Regenwetter zurückgehalten werden. Annahme Schwarzwasser: 50 l/(EW*d).
5.1	Integration einer Stoffstromseparierung mittels ressourcenorientierter Sanitärsysteme	Einführung Urinseparation ¹ in 100 % der Neubauten
5.2		Einführung Trockentrenntoiletten ² in 100 % der Neubauten

Nr. Variante	Ansatz/Massnahme	Modellannahme
6.1	Einführung einer Behandlung des Regenabwassers (RAW)	50 % des Regenabwassers aus TS-Gebieten über Retentionsbodenfilter (RBF) mit P-Elimination 99 %, P-Mindestkonzentration im RBF-Ablauf 0.05 mg/l
6.2		100 % des Regenabwassers aus TS-Gebieten über Retentionsbodenfilter (RBF) mit P-Elimination 99 %, P-Mindestkonzentration im RBF-Ablauf 0.05 mg/l
6.3	Einführung lokale Regenwasserbewirtschaftung	Einführung einer Regenwasserbewirtschaftung (RWB; Speicherung, Nutzung, Versickerung) für 100 % der Neubauflächen und 15 % der Bestandsflächen (F_{red})
8.1	Reduktion der Entlastungen aus Mischabwassersystemen durch zusätzliches MW-Speichervolumen	Erhöhung des Speichervolumens um 50 % bei den neuralgischen 1-3 RÜB mit den höchsten Entlastungen
8.2		Erhöhung des Speichervolumens um 100 % bei den neuralgischen 1-3 RÜB mit den höchsten Entlastungen
8.3		Erhöhung des Speichervolumens um 200 % bei den neuralgischen 1-3 RÜB mit den höchsten Entlastungen
8.4	Reduktion der Entlastungen aus Mischabwassersystemen durch Erhöhung der Weiterleitmengen an relevanten Sonderbauwerken	Erhöhung der Weiterleitmenge Q_{ab} um 20 % an den 1-2 RÜB vor der ARA bzw. RÜB mit den höchsten Entlastungsmengen (und mit entsprechender Erhöhung der hydraulischen ARA-Kapazität)
8.5		Erhöhung der Weiterleitmenge Q_{ab} um 30 % an den 1-2 RÜB vor der ARA bzw. RÜB mit den höchsten Entlastungsmengen (und mit entsprechender Erhöhung der hydraulischen ARA-Kapazität)
8.6		Erhöhung der Weiterleitmenge Q_{ab} um 50 % an den 1-2 RÜB vor der ARA bzw. RÜB mit den höchsten Entlastungsmengen (und mit entsprechender Erhöhung der hydraulischen ARA-Kapazität)
8.7	Reduktion der MW-Entlastungen durch Ausbau TS-Gebiete	Umwandlung von 20 % der MS-Flächen in TS-Flächen (mit direkter Ableitung in ein Oberflächengewässer)
9.1	Fusionen / Zusammenschlüsse von ARA	Anschluss ARA Egg-Oetwil und Gossau-Grüningen an eine deutlich ausgebaute ARA Mönchaltorf. P-Konzentration im Ablauf ARA Mönchaltorf 0.03 mg/l.
9.2		Anschluss ARA Hinwil, ARA Pfäffikon und ARA Wetzikon an eine deutlich ausgebaute ARA Uster. P-Konzentration im Ablauf ARA Uster 0.03 mg/l.
9.3		Anschluss alle ARA im EZG Greifensee an eine deutlich ausgebaute ARA in Fällanden od. eine neue ARA entlang der Glatt
9.4		Wie Var. 9.3, aber inkl. Nutzung 50 % des VKB-, BB- und NKB-Vol. der aufzuhebenden ARA als neues RÜB-Speichervol.
9.5		Wie Var. 9.1, aber inkl. Nutzung 50 % des VKB-, BB- und NKB-Vol. der aufzuhebenden ARA als neues RÜB-Speichervol.
9.6		Wie Var. 9.2, aber inkl. Nutzung 50 % des VKB-, BB- und NKB-Vol. der aufzuhebenden ARA als neues RÜB-Speichervol.

Nr. Variante	Ansatz/Massnahme	Modellannahme
9.7		Ausbau der ARA-Standorte Uster, Pfäffikon, Mönchaltorf u. Wetzikon; Aufhebung andere ARA und Nutzung 50 % des VKB-, BB- und NKB-Vol. der aufzuhebenden ARA als neues RÜB-Speichervol. P-Ablaufkonz. alle ARA 0.03 mg/l.

¹ Annahmen: Anteil menschl. Ausscheidungen an gesamtem P-Anfall 85 %, davon 65 % P im Urin, Trennleistung WC 80 %.

² Annahmen: Anteil menschl. Ausscheidungen an gesamtem P-Anfall 85 %.

6.4 Kombinationsvarianten

6.4.1 Rahmenbedingungen

Zur Erreichung des Zielwerts für die Phosphoremissionen von $\leq 1.6 \text{ t}_P/\text{a}$ (Kap. 2.4) zeigte sich im Verlauf der Untersuchung, dass die parallele Umsetzung verschiedener Massnahmen erforderlich ist (Kap. 7.2). Anderenfalls können die P-Gesamtemissionen nicht verlässlich über alle drei P-Eintragspfade (ARA, TS, MW) reduziert werden.

Vor diesem Hintergrund wurden unterschiedliche Kombinationen von Massnahmen modelltechnisch untersucht. Ziel war es, verschiedene Zusammenstellungen zu identifizieren, mit denen der angestrebte Zielwert von $\leq 1.6 \text{ t}_P/\text{a}$ rechnerisch erreicht werden kann.

Für die Entwicklung und Auswahl geeigneter Kombinationsvarianten wurden sowohl fachliche Mindestanforderungen als auch zusätzliche, qualitative Kriterien definiert. Die Anforderungen dienen dazu, sicherzustellen, dass die Varianten nicht nur rechnerisch wirksam sind, sondern auch unter realistischen Rahmenbedingungen weiterverfolgt werden können.

Rahmenbedingungen:

- **Erreichbarkeit des Zielwerts:** Die Kombinationsvariante muss eine Reduktion der Phosphoremissionen auf $\leq 1.6 \text{ t}_P/\text{a}$ ermöglichen, sodass der Zielwert im Modell erreicht werden kann.
- **Klärung der ARA-Standorte:** Voraussetzung ist ein geklärtes Zielbild zur zukünftigen ARA-Struktur. Dafür muss vorgängig festgelegt sein, welche ARA-Standorte langfristig erhalten und weiterentwickelt werden sollen und welche Standorte perspektivisch aufgegeben oder in regionale Lösungen integriert werden. Zudem ist zu berücksichtigen, an welchen Standorten ausreichende räumliche Reserven für einen späteren Ausbau vorhanden sind.
- **Politische Akzeptanz:** Die Umsetzung der Variante muss grundsätzlich politisch vermittelbar sein und darf keine offensichtlich nicht tragbaren Voraussetzungen beinhalten.
- **Technische Machbarkeit:** Die vorgesehenen Massnahmen müssen nach technischer Einschätzung umsetzbar sein und innerhalb der bekannten Rahmenbedingungen des Einzugsgebiets realisiert werden können.

Weitere Anforderungen:

- **Geringe Anzahl beteiligter Akteure:** Varianten mit einer möglichst geringen Anzahl involvierter Akteursgruppen werden bevorzugt. Zu den Akteuren zählen neben Gemeinden und ARA-Betreibern auch Industrie- und Gewerbe, die Landwirtschaft, Private und NGOs. Eine reduzierte Anzahl Beteiligter erleichtert in der Regel die Koordination, Abstimmung und Umsetzung der Massnahmen.
- **Öffentlich vor privat:** Massnahmen im öffentlichen Verantwortungsbereich (z. B. ARA, Kanalnetz, Sonderbauwerke) werden prioritär in Betracht gezogen, bevor Eingriffe im privaten Bereich vorgesehen werden (z. B. Gebäudetechnik, Grundstücksentwässerung).

- **Zeitnahe Realisierung:** Varianten wurden bevorzugt, bei denen erste Umsetzungsschritte kurzfristig eingeleitet werden können und keine langfristigen Vorbedingungen erforderlich sind.
- **Visionär und innovativ:** Zusätzlich wurden auch zukunftsgerichtete Ansätze berücksichtigt, welche über etablierte Standardmassnahmen hinausgehen und potenziell neue Lösungswege eröffnen.

Diese Kriterien bildeten eine orientierende Grundlage für die Diskussion und Auswahl der untersuchten Kombinationsvarianten. Insgesamt wurden fünf Kombinationsvarianten entwickelt.

6.4.2 Variante 0: «ARA-Standorterhalt»

Variante 0 basiert auf dem Weiterbetrieb der bestehenden ARA-Standorte und Abwassersysteme in ihrer heutigen Struktur (Abbildung 18). Zur Reduktion der Phosphoremissionen aus den ARA-Abläufen wird die P-Eliminationsleistung der Anlagen gezielt verbessert.

Zur weiteren Reduktion von Mischabwasserentlastungen ist ein an vielen Stellen ein Ausbau der Regenüberlaufbecken (RÜB) bzw. Mischabwasserspeichervolumina in erheblichem Ausmass vorgesehen. Die Fremdwasseranteile müssen zudem in allen ARA-EZG stark reduziert werden und die Mindestanforderungen deutlich übertreffen.

Ergänzend werden Massnahmen zur Regenabwasserbewirtschaftung nach Schwammstadtprinzipien (RWB) in grossem Umfang für Neu- und Bestandsbauten vorgesehen, um anfallendes Regenwasser von der Kanalisation fernzuhalten und die lokale Versickerung und Retention zu stärken. Aufgrund des hierfür erforderlichen, grossen Flächenbedarfs für die RWB wird in dieser Variante auf zusätzliche Anlagen zur Regenabwasserbehandlung (Retentionsbodenfilter) im Trennsystem verzichtet.

Die vorgesehenen Massnahmen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade sind in Tabelle 19 aufgeführt. Die Erfüllungsgrade der Rahmenbedingungen (Kap. 6.4.1) von Variante 0 sind in Tabelle 20 aufgeführt.



Abbildung 18: Variante 0. Weiter zu betreibende ARA-Standorte (türkis). Es werden zwischen den ARA-Standorten keine Anschlussleitungen neu erstellt. Natürliches Einzugsgebiet des Greifensees (dunkelblau) und kleinere Gewässer (hellblau).

Tabelle 19: Variante 0. Übersicht vorgesehene Massnahmen, Grössenausprägungen und deren abgeschätzte Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade.

Emissions-pfad	Massnahme	Reduktion P-Emission
ARA	Erhalt der bisherigen sieben ARA-Standorte. Zielwert für alle ARA-Abläufe: 0.03 mg _P /l	-70 %
	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «MW»)	-1 bis -3 %
TS	Einführung lokale Regenwasserbewirtschaftung (RWB) für 100 % Neubauflächen und 40 % Bestandsflächen	-40 bis -45 %
MW	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «ARA»)	-40 bis -70 %
	Reduktion Fremdwasseranteil (FWA) auf $x \leq 25$ % (Kombi-Effekt «ARA»)	-5 bis -10 %
	Starker Ausbau zusätzliches RÜB-Speichervolumen (25'000 m ³)	-20 bis -40 %

Tabelle 20: Variante 0. Erfüllungsgrad Rahmenbedingungen.

Rahmenbedingung	Erfüllt?
Zielwert P-Emission erreicht?	Ja
Zukunft ARA-Standorte definiert?	Ja
Politische Akzeptanz möglich?	Ja
Technisch machbar?	Ja
Geringe Anzahl Akteure?	Eher nein
Öffentlich vor privat?	Teilweise
Zeitnaher Beginn Realisierung möglich?	Ja
Visionär-innovativ?	Nein

6.4.3 Variante 1: «Gross-ARA Region Greifensee»

Variante 1 sieht eine grundlegende Umstrukturierung der Abwasserinfrastruktur im EZG Greifensee vor. Sämtliche bestehenden ARA-Standorte werden aufgehoben. Die Abwasserbehandlung wird neu zentral an einem Standort «unterstrom» vom Greifensee, d. h. am Gewässer Glatt lokalisiert (Abbildung 19). Das Abwasser wird mit Hilfe neu zu bauender und grosskalibrierter Anschlussleitungen aus den jeweiligen Gemeindekanalisationen um den Greifensee herumgeführt, sodass es in Richtung des neuen ARA-Standorts abfliessen kann (vgl. Idee einer «Ringleitung» in [5]).

Die aufzuhebenden ARA-Standorte werden nicht vollständig zurückgebaut, sondern deren vorhandene Beckenvolumina teilweise für die Speicherung und Behandlung von Mischabwasser weitergenutzt. Dadurch soll bestehende Infrastruktur in die zukünftige Systemkonzeption integriert und zur Reduktion von Entlastungen aus dem Mischsystem eingesetzt werden.

Ergänzend dazu wird eine Regenabwasserbewirtschaftung für alle Neubauten und einen kleinen Teil der Bestandsbauten vorgesehen. Zusätzlich wird eine weitergehende Reinigung von Regenabwasser (mittels RBF) aus Trennsystemgebieten vor der Einleitung in oberirdische Gewässer vorgesehen.

Die vorgesehenen Massnahmen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade sind in Tabelle 21 aufgeführt. Die Erfüllungsgrade der Rahmenbedingungen (Kap. 6.4.1) von Variante 1 sind in Tabelle 22 aufgeführt.

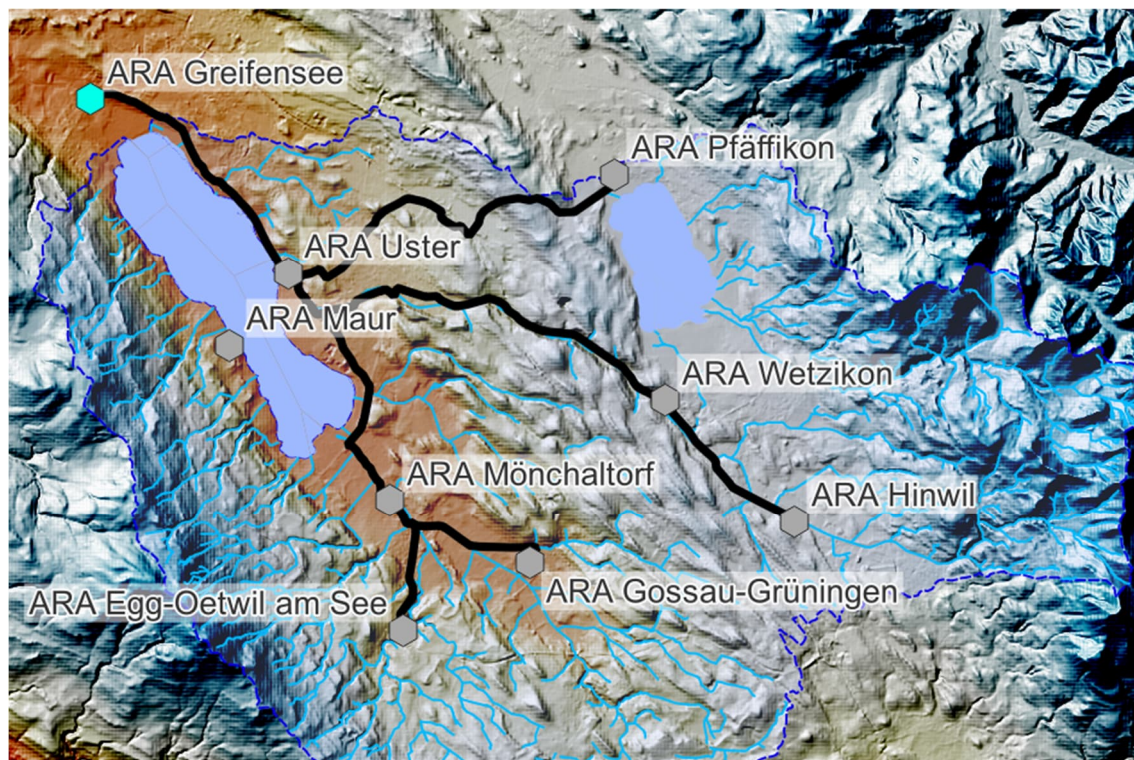


Abbildung 19: Variante 1. Aufzuhebende (grau) und weiter neu zu erstellende (türkis) ARA-Standorte sowie neu zu erstellende Anschlussleitungen (schwarz). Natürliches Einzugsgebiet des Greifensees (dunkelblau) und kleinere Gewässer (hellblau).

Tabelle 21: Variante 1. Übersicht vorgesehene Massnahmen, Grössenausprägungen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade.

Emissionspfad	Massnahme	Reduktion P-Emissionen
ARA	ARA-Fusion: Aufhebung aller bestehenden ARA-Standorte und Ableitung auf eine Gross-ARA unterstrom vom Greifensee an der Glatt (Gebiet Fällanden / Schwerzenbach) mit Zielwert ARA-Abfluss: 0.1 mg _P /l inkl. Weiternutzung 50 % aller bestehenden ARA-Beckenvolumina als Regenüberlaufbecken (RÜB); (Kombi-Effekt «MW»)	-100 %
	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «MW»)	-1 bis -3 %
TS	Einführung lokale Regenwasserbewirtschaftung (RWB) für 100 % Neubauf Flächen und 15 % Bestandsflächen	-30 bis -32 %
	Bau Retentionsbodenfilter (RBF) für ca. 15 % des RAW-Volumenstroms aus Trennsystemen	ca. -12 %
MW	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «ARA»)	-33 bis -60 %
	Reduktion Fremdwasseranteil (FWA) auf $x \leq 30$ % («Ohnehin»-Massnahme; Kombi-Effekt «ARA»)	-3 bis -4 %

Emissions- pfad	Massnahme	Reduktion P-Emissionen
	Zusätzliches RÜB-Speichervolumen (50 %) durch ARA-Fusion (Kombi-Effekt «ARA»)	ca. -18 %

Tabelle 22: Variante 1. Erfüllungsgrad Rahmenbedingungen.

Rahmenbedingung	Erfüllt?
Zielwert P-Emission erreicht?	Ja
Zukunft ARA-Standorte definiert?	Ja
Politische Akzeptanz möglich?	Eher ja
Technisch machbar?	Ja
Geringe Anzahl Akteure?	Eher ja
Öffentlich vor privat?	Eher ja
Zeitnahe Beginn Realisierung möglich?	Ja
Visionär-innovativ?	Ja

6.4.4 Variante 2: «Zentralisierte Abwasserentsorgung Greifensee»

Variante 2 sieht den Weiterbetrieb und Ausbau der ARA-Standorte Uster und Mönchaltorf mit erhöhter P-Elimination vor. Die übrigen ARA-Standorte im Einzugsgebiet werden aufgehoben und an die beiden verbleibenden Anlagen angeschlossen (Abbildung 20). Das Abwasser wird mit Hilfe neu zu bauender und grosskalibriger Anschlussleitungen aus den jeweiligen Gemeindekanalisationen in Richtung der verbleibenden ARA-Standorte abgeführt.

Ergänzend werden Massnahmen zur Regenabwasserbewirtschaftung für alle Neubauten und einen moderaten Teil der Bestandsbauten vorgesehen. Zusätzlich wird eine weitergehende Reinigung von Regenabwasser aus Trennsystemgebieten vor der Einleitung in oberirdische Gewässer vorgesehen.

Die Beckenvolumina der aufzuhebenden ARA-Standorte werden für die Behandlung von Mischabwasser teilweise weitergenutzt, um die Entlastungssituation zu verbessern. Darüber hinaus ist ein Ausbau von Regenüberlaufbecken (RÜB) im Kanalnetz vorgesehen, um zusätzliche Speicherkapazitäten zu schaffen.

Die vorgesehenen Massnahmen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade sind in Tabelle 23 aufgeführt. Die Erfüllungsgrade der Rahmenbedingungen (Kap. 6.4.1) von Variante 2 sind in Tabelle 24 aufgeführt.

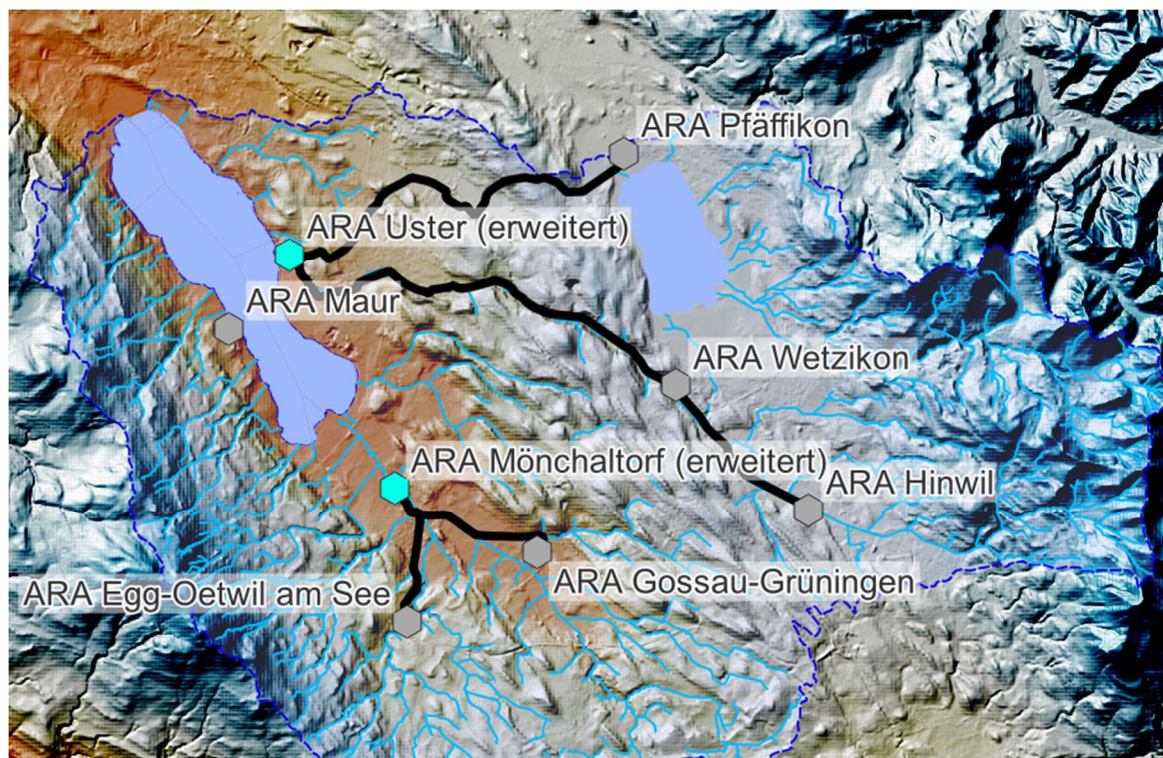


Abbildung 20: Variante 2. Aufzuhebende (grau) und weiter zu betreibende (türkis) ARA-Standorte sowie neu zu erstellende Anschlussleitungen (schwarz). Natürliches Einzugsgebiet des Greifensees (dunkelblau) und kleinere Gewässer (hellblau).

Tabelle 23: Variante 2. Übersicht vorgesehene Massnahmen, Grössenausprägungen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade.

Emissionspfad	Massnahme	Reduktion P-Emission
ARA	ARA-Fusion 1 (*): Aufhebung ARA Egg-Oetwil + Gossau-Grüningen u. Ableitung auf erweiterte ARA Mönchaltorf, Zielwert ARA-Ablauf: 0.03 mg _P /l	-70 %
	ARA-Fusion 2 (*): Aufhebung ARA Hinwil + Wetzikon + Pfäffikon u. Ableitung auf erweiterte ARA Uster; Zielwert ARA-Ablauf: 0.03 mg _P /l (*) inkl. Weiternutzung 50 % aller bestehenden ARA-Becken volumina als Regenüberlaufbecken (RÜB); (Kombi-Effekt «MW»)	
	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «MW»)	-1 bis -3 %
TS	Einführung lokale Regenwasserbewirtschaftung (RWB) für 100 % Neubauflächen und 25 % Bestandsflächen	ca. -30 %
	Bau Retentionsbodenfilter (RBF) für ca. 50 % des RAW-Volumenstroms aus Trennsystemen	ca. -40 %
MW	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «ARA»)	-33 bis -60 %
	Reduktion Fremdwasseranteil (FWA) auf $x \leq 30$ % («Ohnehin»-Massnahme; Kombi-Effekt «ARA»)	-3 bis -4 %
	Zusätzliches RÜB-Speichervolumen (50 %) durch ARA-Fusion; (Kombi-Effekt «ARA»)	ca. -10 %

Emissions- pfad	Massnahme	Reduktion P-Emission
	Ausbau RÜB-Vol. um +5'000 m ³ an vier neuralgischen Punkten und Erhöhung Weiterleitmenge Q _{ab} von RÜ(B) an zwei Stellen	ca. -7 %

Tabelle 24: Variante 2. Erfüllungsgrad Rahmenbedingungen.

Rahmenbedingung	Erfüllt?
Zielwert P-Emission erreicht?	Ja
Zukunft ARA-Standorte definiert?	Ja
Politische Akzeptanz möglich?	Eher ja
Technisch machbar?	Ja
Geringe Anzahl Akteure?	Ja
Öffentlich vor privat?	Eher ja
Zeitnaher Beginn Realisierung möglich?	Ja
Visionär-innovativ?	Ja (bezogen auf ARA-Verfahrenstechnik)

6.4.5 Variante 3: «Zentralisierte Abwasserbewirtschaftung Greifensee»

Variante 3 sieht den Weiterbetrieb und Ausbau der ARA-Standorte Uster und Mönchaltorf mit erhöhter P-Elimination vor. Die übrigen ARA-Standorte im Einzugsgebiet werden aufgehoben und an die beiden verbleibenden Anlagen angeschlossen (Abbildung 21). Das Abwasser wird mit Hilfe neu zu bauender und grosskalibriger Anschlussleitungen aus den jeweiligen Gemeindekanalisationen in Richtung der verbleibenden ARA-Standorte abgeführt.

In einem Teil des Einzugsgebiets werden als ergänzende, modulare und dezentral verteilte Infrastrukturelemente Schmutzabwasserspeicher für alle Neubauten eingeführt. Dadurch wird Schmutzabwasser während Regenereignissen temporär lokal gespeichert und somit aus der Schmutz- bzw. Mischabwasserkanalisation zurückgehalten. Die potenzielle Schmutzabwassermenge, die entlastet werden könnte, wird verringert und während des Zeitraums mit begrenzten Kanalisationskapazitäten zwischengespeichert, um bei Ende des Regenereignisses wieder der Kanalisation zugeführt und anschliessend auf der ARA gereinigt zu werden.

Ergänzend werden Massnahmen zur Regenabwasserbewirtschaftung für alle Neubauten und einen moderaten Teil der Bestandsbauten vorgesehen. Zusätzlich wird eine weitergehende Reinigung von Regenabwasser aus Trennsystemgebieten vor der Einleitung in oberirdische Gewässer vorgesehen.

Die Beckenvolumina der aufzuhebenden ARA-Standorte werden für die Behandlung von Mischabwasser teilweise weitergenutzt, um die Entlastungssituation zu verbessern. Darüber hinaus ist kein Ausbau von Regenüberlaufbecken (RÜB) im Kanalnetz vorgesehen; dieser ist optional möglich aber aufgrund der Schmutzabwasserspeicher nicht nötig.

Die vorgesehenen Massnahmen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade sind in Tabelle 25 aufgeführt. Die Erfüllungsgrade der Rahmenbedingungen (Kap. 6.4.1) von Variante 3 sind in Tabelle 26 aufgeführt.

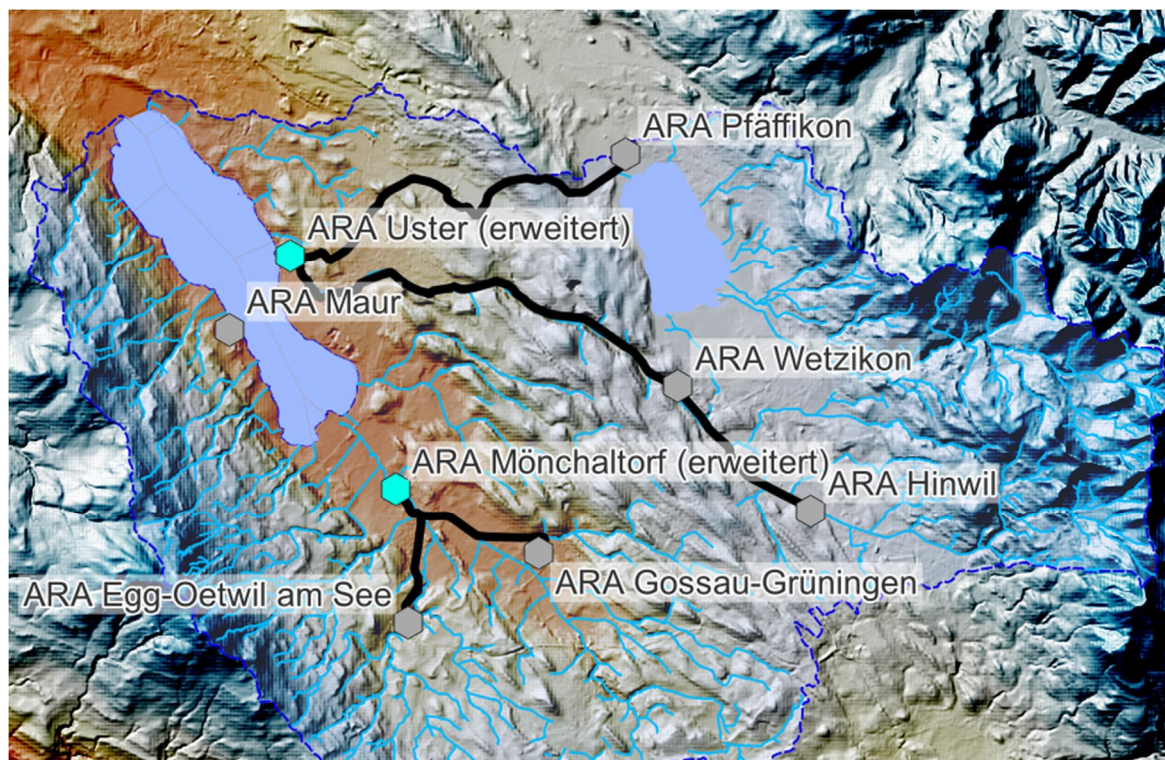


Abbildung 21: Variante 3. Aufzuhebende (grau) und weiter zu betreibende (türkis) ARA-Standorte sowie neu zu erstellende Anschlussleitungen (schwarz). Natürliches Einzugsgebiet des Greifensees (dunkelblau) und kleinere Gewässer (hellblau).

Tabelle 25: Variante 3. Übersicht vorgesehene Massnahmen, Grössenausprägungen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade.

Emissions-pfad	Massnahme	Reduktion P-Emission
ARA	ARA-Fusion 1 (*): Aufhebung ARA Egg-Oetwil + Gossau-Grüningen u. Ableitung auf erweiterte ARA Mönchaltorf, Zielwert ARA-Ablauf: 0.03 mg _P /l	-70 %
	ARA-Fusion 2 (*): Aufhebung ARA Hinwil + Wetzikon + Pfäffikon u. Ableitung auf erweiterte ARA Uster; Zielwert ARA-Ablauf: 0.03 mg _P /l	
	(*) inkl. Weiternutzung 50 % aller bestehenden ARA-Beckenvolumina als Regenüberlaufbecken (RÜB); (Kombi-Effekt «MW»)	
	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «MW»)	-1 bis -3 %
	Einf. Schmutzabwasserspeicher (Kombi-Effekt «MW»)	-1 bis -2 %
TS	Einführung lokale Regenwasserbewirtschaftung (RWB) für 100 % Neubauflächen und 25 % Bestandsflächen	ca. -30 %
	Bau Retentionsbodenfilter (RBF) für ca. 50 % des RAW-Volumenstroms aus Trennsystemen	ca. -40 %
MW	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «ARA»)	-33 bis -60 %
	Reduktion Fremdwasseranteil (FWA) auf $x \leq 30$ % («Ohnehin»-Massnahme; Kombi-Effekt «ARA»)	-3 bis -4 %
	Zusätzliches RÜB-Speichervolumen (50 %) durch ARA-Fusion; (Kombi-Effekt «ARA»)	ca. -10 %

Emissions- pfad	Massnahme	Reduktion P-Emission
	Einführung Speicherung Schmutzabwasser für 100 % Neubau-EW und 0 % Bestands-EW (Kombi-Effekt «ARA»)	-24 bis -47 %

Tabelle 26: Variante 3. Erfüllungsgrad Rahmenbedingungen.

Rahmenbedingung	Erfüllt?
Zielwert P-Emission erreicht?	Ja
Zukunft ARA-Standorte definiert?	Ja
Politische Akzeptanz möglich?	Eher ja
Technisch machbar?	Ja
Geringe Anzahl Akteure?	Eher nein
Öffentlich vor privat?	Eher nein
Zeitnaher Beginn Realisierung möglich?	Ja
Visionär-innovativ?	Ja

6.4.6 Variante 4: «Regionale Abwasserbewirtschaftung Greifensee»

Variante 4 sieht die Aufhebung der ARA Egg-Oetwil, Gossau-Grünigen und Hinwil sowie deren Anschluss an die ausgebauten ARA Wetzikon bzw. ARA Mönchaltorf vor (Abbildung 22). Das Abwasser wird mit Hilfe neu zu bauender und grosskalibrierter Anschlussleitungen aus den jeweiligen Gemeindekanalisationen in Richtung der verbleibenden ARA-Standorte abgeführt. Die P-Eliminationsleistungen aller weiter in Betrieb bleibenden ARA werden deutlich erhöht.

Für rund ein Drittel aller Einwohnerwerte im Einzugsgebiet werden als ergänzende, modulare und dezentral verteilte Infrastrukturelemente in öffentlichen und privaten Gebäuden Sanitärinstallationen für die Urinseparierung eingeführt (Neubauten; Bestandsbauten möglich). Durch die Einführung der Urinseparation als zusätzliche Massnahme können u. a. die Hauptanteile der im häuslichen Abwasser befindlichen Phosphor- und Stickstoffmengen von der Kanalisation ferngehalten werden mit positiven Auswirkungen auf die P-Emissionspfade ARA und MW.

Ergänzend werden Massnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung für alle Neubauten und einen moderaten Teil der Bestandsbauten vorgesehen. Zusätzlich wird eine weitergehende Reinigung von Regenabwasser aus Trennsystemgebieten vor der Einleitung in oberirdische Gewässer vorgesehen.

Die Beckenvolumina der aufzuhebenden ARA-Standorte werden für die Behandlung von Mischabwasser teilweise weitergenutzt, um die Entlastungssituation zu verbessern. Darüber hinaus ist ein Ausbau von Regenüberlaufbecken (RÜB) im Kanalnetz vorgesehen, um zusätzliche Speicherkapazitäten zu schaffen.

Die vorgesehenen Massnahmen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade sind in Tabelle 27 aufgeführt. Die Erfüllungsgrade der Rahmenbedingungen (Kap. 6.4.1) von Variante 4 sind in Tabelle 28 aufgeführt.



Abbildung 22: Variante 4. Aufzuhebende (grau) und weiter zu betreibende (türkis) ARA-Standorte sowie neu zu erstellende Anschlussleitungen (schwarz). Natürliches Einzugsgebiet des Greifensees (dunkelblau) und kleinere Gewässer (hellblau).

Tabelle 27: Variante 4. Übersicht vorgesehene Massnahmen, Grössenausprägungen und deren Reduktionseffekte auf die P-Emissionen der drei Eintragspfade.

Emissions-pfad	Massnahme	Reduktion P-Emission
ARA	Erhalt der ARA Uster + Pfäffikon + Mönchaltorf + Wetzikon	-70 %
	ARA-Fusion 1 (*): Aufhebung ARA Hinwil u. Ableitung auf erweiterte ARA Wetzikon, Zielwert ARA-Ablauf: 0.03 mg _P /l	
	ARA-Fusion 2 (*): Aufhebung Gossau-Grüningen + ARA Egg-Oetwil u. Ableitung auf erweiterte ARA Mönchaltorf; Zielwert ARA-Ablauf: 0.03 mg _P /l	
	(*) inkl. Weiternutzung 50 % aller bestehenden ARA-Beckenvolumina als Regenüberlaufbecken (RÜB); Kombi-Effekt «MW»	
TS	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «MW»)	-1 bis -3 %
	Einf. Urinseparation (Kombi-Effekt «MW»)	ca. -10 %
	Einführung lokale Regenwasserbewirtschaftung (RWB) für 100 % Neubauflächen und 25 % Bestandsflächen	ca. -30 %
MW	Bau Retentionsbodenfilter (RBF) für ca. 50 % des RAW-Volumenstroms aus Trennsystemen	ca. -40 %
	Einf. lokale RWB (Kombi-Effekt «TS» & «ARA»)	-33 bis -60 %
	Reduktion Fremdwasseranteil (FWA) auf x ≤ 30 % («Ohnehin»-Massnahme; Kombi-Effekt «ARA»)	-3 bis -4 %

Emissions- pfad	Massnahme	Reduktion P-Emission
	Zusätzliches RÜB-Speichervolumen (50 %) durch ARA-Fusion (<i>Kombi-Effekt «ARA»</i>)	ca. -5 %
	Einf. Urinseparation (Kombi-Effekt «ARA»)	-8 bis -13 %
	Ausbau RÜB-Vol. um +5'000 m ³ an vier neuralgischen Punkten und Erhöhung Weiterleitmenge Q _{ab} von RÜ(B) an zwei Stellen	ca. -7 %

Tabelle 28: Variante 4. Erfüllungsgrad Rahmenbedingungen.

Rahmenbedingung	Erfüllt?
Zielwert P-Emission erreicht?	Ja
Zukunft ARA-Standorte definiert?	Ja
Politische Akzeptanz möglich?	Unklar
Technisch machbar?	Ja
Geringe Anzahl Akteure?	Nein
Öffentlich vor privat?	Nein
Zeitnahe Beginn Realisierung möglich?	Ja
Visionär-innovativ?	Ja

Mehrwerte durch Stoffstromseparierung

Die vorliegende Variante 4 wurde erstellt, um aufzuzeigen, wie sich in die bestehenden Abwassersysteme im EZG Greifensee grossflächig auch ressourcenorientierte Technologien etappiert integrieren lassen. Die in Var. 4 vorgesehene Urinseparation bietet die Möglichkeit, u. a. die relevanten Phosphoremmissionen aus Haushalten (Schmutzabwasser) zu reduzieren. Stoffstromseparierungstechnologien setzen an der Quelle einer Verschmutzung an und verhindern eine Vermischung mit dem restlichen Abwasser in Haushalten und Gewerbe. Sie sind in der Siedlungsentwässerung das Pendant zur Abfalltrennung, bei der es ebenfalls darum geht, wiederverwertbare Ressourcen von nicht wieder verwertbaren Abfällen zu trennen.

Bei der Urinseparation wird verhindert, dass sich der v. a. sehr stickstoff- und phosphorhaltige Urin mit dem restlichen Abwasser vermischt. Urin beinhaltet in hohen Konzentrationen verschiedene relevante Stoffe (Abbildung 23). Er wird zudem von jeder Person täglich nur in geringen Mengen produziert, d. h. er besitzt viel Fracht in wenig und daher gut handhabbarem Volumen. Wird Urin mit den entsprechenden Technologien aufbereitet, verliert er seine potenzielle Schädlichkeit für Gewässer und ist Ausgangsstoff für ein hygienisch unbedenkliches Düngemittel, dem zudem alle Mikroverunreinigungen vorgängig entzogen werden [146].

Die Produktion von Düngemitteln aus Urin bietet die Möglichkeit, kleinräumige Stoffkreisläufe im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu schliessen bzw. einen erheblichen Beitrag dazu zu leisten. Abbildung 24 zeigt die Landwirtschaftsfläche im EZG Greifensee im Jahr 2024. Variante 4 wurde so ausgestaltet, dass rund 1/3 der zukünftigen Einwohnervorteile im EZG mit Urinseparation ausgestattet würden. Mit dem produzierten Dünger könnten rund 1/3 der Landwirtschaftsflächen im EZG Greifensee jedes Jahr mit regionalem Dünger versorgt werden.

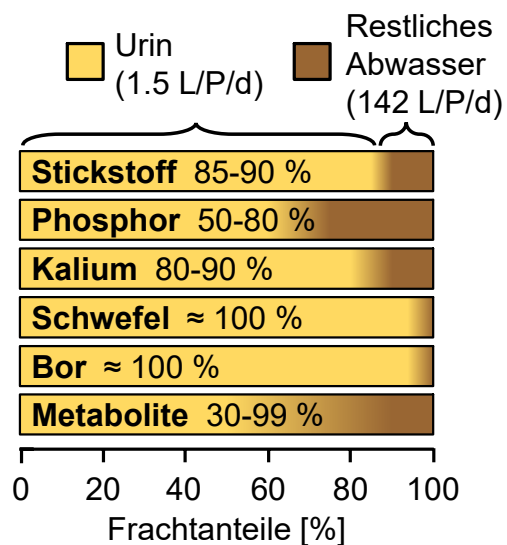


Abbildung 23: Übersicht Frachtanteile verschiedener Schmutz-/Rohstoffe im Urin im Vergleich zu den Inhaltsstoffen im restlichen Abwasser (nicht vollständig). Eigene Darstellung mit Zahlen basierend auf [77][139][146][154].

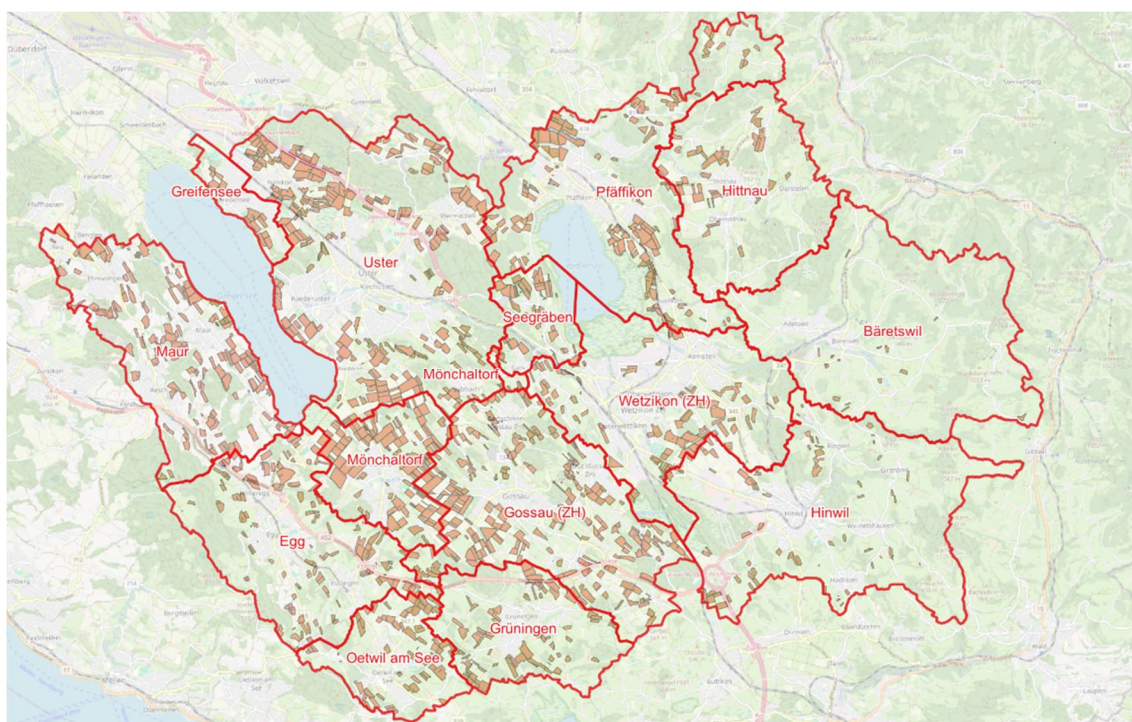


Abbildung 24: Gemeinden und Städte im Einzugsgebiet des Greifensees (rot). Die hervorgehobenen Flächen sind Ackerflächen im EZG (Stand: Ende 2024; Quellen: GIS Kt. ZH und OpenStreetMap).

Neben kurzer Entsorgungs- und Verteilwege (geringere CO₂-Emissionen) reduziert ein regional hergestellter Dünger die Abhängigkeit von internationalen Rohstoff- und Energiemärkten: die Preise und Verfügbarkeiten für Energie und Pflanzendünger sind im Zuge des Ukraine-Kriegs (seit 2022) sowie des Iran-Kriegs (seit 2026) deutlich gestiegen bzw. haben dazu geführt, dass bestimmte Düngemittel aufgrund

der hohen Energiekosten nicht mehr im Ausland produziert und damit im Inland nicht oder nur zu erhöhten Preisen verfügbar waren. Regional produzierte Dünger sind von diesen Preisschwankungen nicht betroffen, da der Rohstoff (Urin) vor Ort produziert wird.

Wird z. B. der Urin abgetrennt und nicht mit dem restlichen Abwasser vermischt, so muss der im Urin enthaltene Phosphor nicht aufwändig auf der ARA u. a. mit Hilfe von Fällmitteln wieder aus dem Abwasser entfernt werden. Eine Urinseparierung hat damit positive Auswirkungen auf den Betriebsmitteleinsatz und die Betriebskosten einer ARA. Zudem reduziert diese Technologie stückweise die Abhängigkeit von Fällmitteln, sodass sich Phasen mit internationaler Knappheit an Fällmitteln (zuletzt 2022/2023) weniger stark auf die Leistungen der Abwasserentsorgung auswirken. Dies gilt analog für die von Menschen abgegebenen Mikroverunreinigungen (z. B. Medikamentenrückstände), die hauptsächlich über den Urin ausgeschieden werden. Nachgewiesen wurde mittlerweile auch, dass Stoffstromseparierungstechnologien dazu beitragen, die auch aus Abwasserquellen in die Umwelt eingetragenen Antibiotikaresistenzen zu reduzieren [85][86].

Durch den Einsatz einer Stoffstromseparierung entstehen für die zusätzlichen Infrastrukturen und Sanitärtechnologien neue, zusätzliche Kosten. Allerdings zeigen die an diese Studie angegliederten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, dass die Abwassersysteme aus Variante 4 langfristig keine klaren Kostenunterschiede mit sich bringen. Das bedeutet, dass dem anfänglich höheren Integrationsaufwand für diese innovativen Technologien in die bestehenden Abwassersysteme diverse Mehrwerte gegenüberstehen – bei nicht deutlich grösseren Kosten. Der Einsatz von Stoffstromseparierungstechnologien stellt einen relevanten Schritt dar für die zunehmend wichtiger werdende Rolle der Abwasserinfrastrukturen bei der angestrebten Kreislaufwirtschaft im Bereich der Nährstoffe [35].

6.4.7 Übersicht und Entscheid Weiterverfolgung

Eine Übersicht über notwendige Massnahmen und Grössenordnungen zur Reduktion der P-Emissionen für jede der fünf entwickelten Kombinationsvarianten ist in Abbildung 26 dargestellt.

Für das Projekt RAG wurden nur die Kombinationsvarianten 0, 1, 2 und 4 weiterverfolgt. Nach einer Entscheidung der Steuerungsgruppe (21.01.2025) wurde die Variante 3 «Zentralisierte Abwasserbewirtschaftung Greifensee» vorerst nicht weiterverfolgt. Die Steuerungsgruppe charakterisierte Variante 3 als Erweiterung der Variante 2 mit zusätzlichen, dezentralen Infrastrukturelementen. Variante 3 sollte noch einmal in den Betrachtungsfokus gerückt und geprüft werden, falls sich im Projektverlauf die Variante 2 als vielversprechend für eine Gesamtlösung herauskristallisieren sollte. Modellbasierte Berechnungen liegen auch für die Variante 3 vor und wurden im vorliegenden Bericht dokumentiert. Variante 3 wurde aber nicht mehr für die Grobprojektierungen und Kostenschätzungen (Kap. 6.5/7.4) und auch nicht mehr für die Wirtschaftlichkeits- und Organisationsformbetrachtungen durch INFRAconcept berücksichtigt [68].

Eine Übersicht über die Massnahmen inkl. Angaben aus der Grobprojektierung (Kap. 6.5) für die weiterverfolgten Kombinationsvarianten ist in Abbildung 25 dargestellt.

Massnahmen		Var. 0	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4
		ARA-Standorterhalt	Gross-ARA Region Greifensee	Zentralisierte Abwasserentsorgung Greifensee	Zentralisierte Abwasserbewirtschaftung Greifensee	Regionale Abwasserbewirtschaftung Greifensee
ARA	ARA-Standorte (Anzahl)	7	1	2	2	4
	P-Zielwert ARA-Abfluss	0.03 mg _P /l	0.1 mg _P /l	0.03 mg _P /l	0.03 mg _P /l	0.03 mg _P /l
TS	RWB für Neubauflächen	100%	100%	100%	100%	100%
	RWB für Bestandsflächen	40%	15%	25%	20%	25%
	RBF-Anteil RAW-Vol.	-	15%	50%	50%	50%
MW	Reduktion neuer FW-Anteil	20-25%	30%	30%	30%	30%
	Alt-ARA-Vol. --> RÜB-Vol. (*)	-	50%	50%	50%	50%
	Zusätzl. RÜB-Vol. (**)	+25'000 m ³	-	+5'000 m ³	-	+5'000 m ³
	Einf. SW-Speicher Neubau-EW	-	-	-	100%	-
	Einf. SW-Speicher Bestands-EW	-	-	-	-	-
	Einf. Urinsep. Neubau-EW	-	-	-	-	100%
	Einf. Urinsep. Bestands-EW	-	-	-	-	-

Abbildung 25: Übersicht notwendige Massnahmen und Grössenordnungen zur Reduktion der P-Emissionen für jede der fünf entwickelten Kombinationsvarianten.

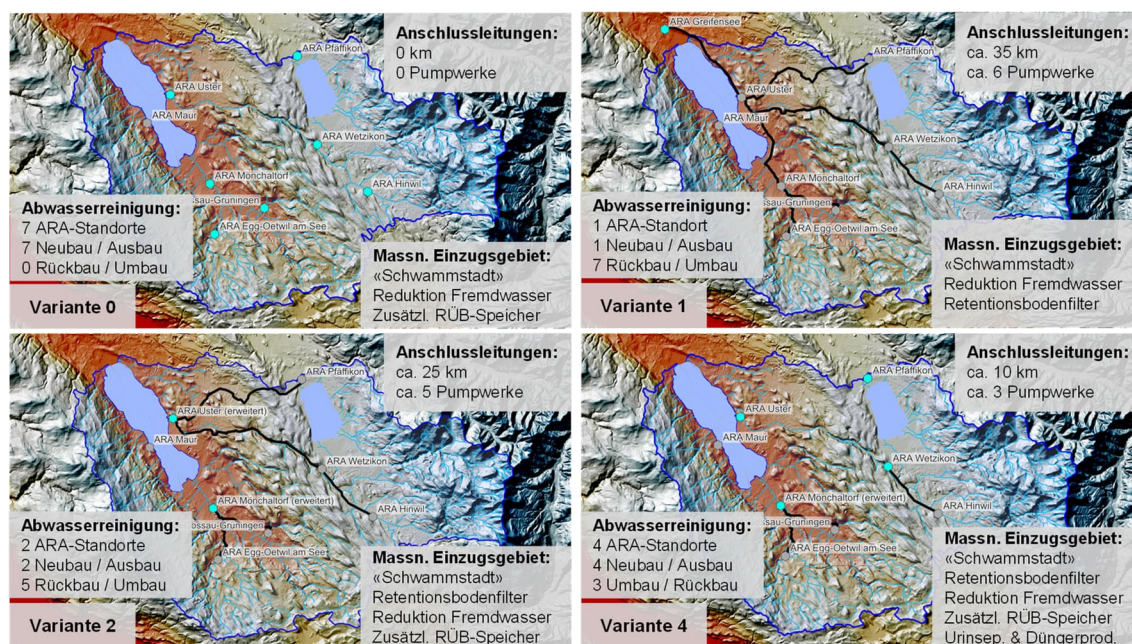


Abbildung 26: Übersicht über die vier weiterverfolgten Kombinationsvarianten (0, 1, 2, 4) im Projekt RAG. Angegeben sind zudem die für jede Variante notwendigen Anpassungen am Abwassersystem in Bezug auf ARA (grau = aufzuhebende ARA-Standorte; türkis = beizubehaltende oder neue ARA-Standorte), Anschlussleitungen (schwarze Linien) und Massnahmen in der Siedlungsentwässerung und auf Liegenschaften («Massn. Einzugsgebiet»).

6.5 Grobprojektierung

6.5.1 ARA

Einleitbedingungen

Als Grundlage wurden die aktuell gültigen und – wo verfügbar – die zukünftig geltenden Einleitbedingungen für die einzelnen Anlagen berücksichtigt. Für den Ausblick auf die zukünftigen Anforderungen wurden die aktuellen gesetzgeberischen Prozesse zur erhöhten Stickstoffelimination und zur weiteren Elimination von Mikroverunreinigungen auf ARA bereits mitberücksichtigt.

- Erhöhte Stickstoffelimination: es ist davon auszugehen, dass künftig Anlagen mit einer Belastung von >10'000 EW eine Stickstoffelimination von 80 % erreichen müssen. Für das RAG-Projekt bedeutet das, dass alle Anlagen im EZG vom Greifensee im Jahresmittel 80 % Stickstoffelimination erfüllen müssen.
- Elimination von Mikroverunreinigungen: Es ist davon auszugehen, dass künftig weitere Kläranlagen eine Reinigungsstufe für die Elimination von Mikroverunreinigungen bauen müssen. Die Ablaufanforderungen sind gewässerabhängig.
 - Für das RAG-Projekt bedeutet das, dass wir für die Kombinationsvarianten 1, 2 und 4 bereits nach aktuellem Gesetz EMV-Stufen für die zu erhaltenden ARA-Standorte vorsehen. Diese sind daher in der Grobprojektierung zu berücksichtigen.
 - Für die «Variante 0» (Idee-Entwurf von SG-Sitzung 21.01.25, acht bisherige ARA-Standorte) werden EMV für alle ARA-Standorte vorgesehen.
- Erhöhte Anforderungen zur Elimination Phosphor aus dem Abwasser im Einzugsgebiet Greifensee zur Reduktion der Phosphorfracht mit folgendem Grenzwert / Zielwert:
 - Vor Greifensee (EZG Greifensee): 0.05 mg/l / 0.03 mg/l
 - Nach Greifensee (Glatt): 0.2 mg/l / 0.1 mg/l

Die beschriebene Phosphoranforderungen nach dem Greifensee wurden als Grundlage für diese Studie verwendet. In späteren Projektphasen müssen der Grenzwert und Zielwert unter Berücksichtigung des kumulativen Abwasseranteils in der Glatt gemäss der AWEL Vollzugshilfe «Anforderungen an die Einleitung von gereinigtem Abwasser in Fließgewässer und Seen im Kanton Zürich» festgelegt werden [6].

Verfahren

Aus den oben beschriebenen Einleitbedingungen wurde das Verfahren pro Variante für die einzelnen ARA definiert (siehe Tabelle 29).

Für die Elimination von 80 % Stickstoff im Jahresmittel wurde eine konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung vorgesehen. Alternativ wurden auch andere biologische Verfahren in Kombination mit einer Rücklaufbehandlung in Betracht gezogen. Das konventionelle Verfahren bietet die Möglichkeit bei zukünftigen Kapazitätssteigerungen im Bestand erweitert zu werden.

Aufgrund der hohen Anforderungen an die MV-Elimination im Ablauf der ARA, insbesondere hinsichtlich der Einhaltung des Grenzwerts für Diclofenac im Gewässer, wurde für Anlagen an einem Fließgewässer zusätzlich eine Verfahrensstufe bestehend aus Ozonung und nachgeschalteter Membranfiltration geplant. Die Ozonung weist eine hohe Wirksamkeit beim Abbau von Diclofenac und weiteren schwer biologisch abbaubaren Mikroverunreinigungen auf. Die anschliessende Sand- bzw. Membranfiltration gewährleistet die Abscheidung verbleibender partikulärer Stoffe und Reaktionsprodukte und trägt zur Einhaltung der geforderten Ablaufqualität bei. In Einzugsgebieten mit erhöhten Bromidgehalten und entsprechendem Risiko der Bromatbildung wurde hingegen ein angepasstes Kombinationsverfahren zur Spurenstoffelimination geplant. Diese umfasst den Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Reduktion sowie zur Vermeidung der Bromatbildung, eine Ozonung zum Abbau von Diclofenac und den weiteren Mikroverunreinigungen, ergänzt durch eine nachgeschalteten Sand- bzw. Membranfiltration zur Abtrennung der beladenen Partikel und Reaktionsprodukte. Bei einzelnen ARA, die in ein stehendes Gewässer (=See) einleiten, wurde auf eine Ozonung verzichtet, da Diclofenac im See durch photochemische Prozesse (UV-Strahlung) sowie durch Verdünnung weiter reduziert wird. Stattdessen wurde ausschliesslich ein PAK-Verfahren in Kombination mit einer Sand- bzw. Membranfiltration vorgesehen.

Der Gesamtposphor P_{tot} ergibt sich aus der Summe von gelöstem und partikulärem Phosphor. Der gelöste Phosphor kann mittels Simultan- und Nachfällung reduziert werden. Der partikuläre Anteil lässt sich durch geeignete Abtrennverfahren nahezu vollständig aus dem Abwasser entfernen. Beim gelösten Phosphor verbleibt jedoch ein nicht fällbarer Restanteil, wodurch ein unteres Limit für die erreichbare Ablaufkonzentration gegeben ist. Nach dem Greifensee (Glatt) wurde vorgesehen die Anforderungen

an die Phosphor-Elimination durch eine Verfahrenskombination aus Simultan- und Nachfällung sowie anschließender Sandfiltration zu erfüllen. Die Wahl der Sandfiltration erfolgte aufgrund der vergleichsweise moderaten Anforderungen an die Phosphorelimination. Zur Einhaltung der höheren Anforderungen an den Gesamtphosphor im Einzugsgebiet Greifensee wurde eine Verfahrenskombination aus Simultan- und Nachfällung sowie eine Membranfiltration zur Abscheidung des partikulären Phosphors vorgesehen. Für die Festlegung der Verfahren wurden grobe Verfahrensschemata pro Variante und ARA erstellt (siehe Beilage «Grobprojektierung Verfahrensschema», Kap. 12).

Tabelle 29: Übersicht ARA-Einleitbedingungen und Verfahrenstechnik (Prognose-Zustand 2050).

		Anforderung	Problematic	Verfahren
Variante 0	ARA Hinwil	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → nicht bekannt Diclofenac im Gewässer → Verfahrenseignung Ozonung abgeklärt	Ozon + Membranfiltration
	ARA Wetzikon	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → bekannt (Aachbach)	PAK + Membranfiltration Ozon + Membranfiltration
	ARA Pfäffikon & ARA Uster	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie / SBR mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → nicht bekannt (See)	PAK + Membranfiltration

		Anforderung	Problematik	Verfahren
Variante 0	ARA Gossau-Grünigen & ARA Egg-Oetwil & ARA Mönchaltorf	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → voraussichtlich nicht eingehalten	PAK + Membranfiltration Ozon + Membranfiltration
Variante 1	ARA Greifensee	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: ⁽²⁾ Grenzwert 0.2 mg/l Zielwert 0.1 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Sandfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → nicht bekannt (Glatt)	PAK + Sandfiltration ⁽¹⁾
Variante 2	ARA Greifensee Nord	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → nicht bekannt (See)	PAK + Membranfiltration
	ARA Greifensee Süd	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → bekannt (Mönchaltorfer Aa)	PAK + Membranfiltration Ozon + Membranfiltration

		Anforderung	Problematik	Verfahren
Variante 4	ARA Pfäffikon & ARA Uster	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie / SBR mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → nicht bekannt (See)	PAK + Membranfiltration
	ARA Greifensee Süd	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → bekannt (Mönchaltorfer Aa)	PAK + Membranfiltration Ozon + Membranfiltration
	ARA Wetzikon inkl. Hinwil	Stickstoff: 80 % Elimination im Jahresmittel		Konventionelle Biologie mit Rücklaufbehandlung
		Phosphor: Grenzwert 0.05 mg/l Zielwert 0.03 mg/l		Simultan- und Nachfällung + Membranfiltration
		MV: notwendig	Bromid/Bromat im EZG → bekannt Diclofenac im Gewässer → bekannt (Aachbach)	PAK + Membranfiltration Ozon + Membranfiltration

1) Es wurde angenommen, dass nach Passage von einem See die Diclofenac-Konzentration durch Verdünnung sowie photochemischen Abbau (UV-Strahlung) vernachlässigbar ist. In späteren Abklärungen auf Basis der hier vorgestellten Studie wird jedoch eine ganzheitliche Betrachtung der Diclofenac-Konzentration in der Glatt notwendig. Dabei ist zukünftig zu prüfen, ob der Einsatz eines Kombiverfahrens notwendig ist (PAK, Ozonung und Sandfiltration).

2) Die dargestellten Grenz- und Zielwerte wurden in der Studie als «Arbeitshypothesen» verwendet. Die konkreten Grenz- und Zielwerte für die Glatt müssten im Bedarfsfall gemäss der Vollzugshilfe AWEL [6] festgelegt werden.

Auslegung ARA

Für die Varianten wurde der Platzbedarf für eine neue ARA gemäss den oben beschriebenen Dimensionierungsgrundlagen festgelegt. Die Abschätzung des Flächenbedarfs der einzelnen Verfahrensstufen erfolgte aus Referenzprojekten gleicher Grössenordnung. Für die grobe Abschätzung wurde als spezifische Grösse der Flächenbedarf pro EW verwendet.

Für die Ermittlung der benötigten Flächen wurden folgende Annahmen getroffen:

- **Mechanische Vorreinigung:** der Flächenbedarf für Rechen, Fett- und Sandfang sowie Vorklärung wird basierend auf der hydraulischen Wassermenge und der minimalen erforderlichen Aufenthaltszeit abgeschätzt. Basis: gute belastbare Erfahrungswerte aus Referenzprojekten.
- **Biologie:** Es wird der Flächenbedarf für ein konventionelle Biologie für jeden ARA-Neubau und jeden ARA-Ausbau im EZG Greifensee berücksichtigt. Unter Berücksichtigung der erwarteten Verschärfung der Anforderung Stickstoffelimination wird angenommen, dass für eine ganzjährige, stabile Nitrifikation und Denitrifikation ein spezifisches Biologievolumen von 320 l/EW bei konventionellem Belebtschlammverfahren (BB+NKB) benötigt wird. Für die Ermittlung des Flächenbedarfs wird eine Beckentiefe von 5 m angenommen. Bei der ARA Uster wird weiterhin das SBR-Verfahren berücksichtigt – für die Erfüllung der Stickstoffelimination wird das spezifischen Biologievolumen von 400 l/s angenommen
- **Rücklaufschlammbehandlung:** Der Flächenbedarf wird basierend auf Erfahrungswerten aus vergleichbaren Projekten geschätzt.
- **EMV:** für die Elimination von Mikroverunreinigungen sind folgende drei Verfahren oder deren Kombination möglich: Oxidation mit Ozon, Adsorption an Pulveraktivkohle (PAK) und Adsorption an granulierter Aktivkohle (GAK). Im Rahmen dieser Studie wird der Flächenbedarf abhängig der oben genannten Verfahren einer Ozonung, einer Adsorption an Pulveraktivkohle bzw. die Kombination mit einer anschliessenden Membranfiltration berücksichtigt.
- **Faulung:** Bei der Faulung wird ein Schlammanfall von 85 g/EW/Tag mit einem Trockensubstanzgehalt von 3.5 % und einer Aufenthaltszeit von 22 Tagen berücksichtigt. Der Flächenbedarf für einen zusätzlichen Faulschlammstapel wird mit einer Aufenthaltszeit von 10 Tagen ermittelt. Bei der Auslegung des Faulwasserstapels wird eine Speicherzeit von 5 Tagen angenommen. Für die Ermittlung vom Flächenbedarf wird eine Faulturmhöhe von 10 m angenommen.
- **Gasometer:** Bei der Dimensionierung vom Gasometer wird eine spezifische Gasproduktion von 30 l/EW/d und eine Aufenthaltszeit von 12 Stunden angenommen.
- **Betriebsgebäude / Lagerplätze / BHKW-Gebäude / Werkleitungsgänge etc.:** Der Flächenbedarf für diese Gebäude und Untergrundbauten wird auf Basis von bisherigen Projekterfahrungen sinnvoll abgeschätzt.

In späteren Projektphasen ist die Auslegung mittels einer Dimensionierung nach DWA A-131 durchzuführen. In der vorliegenden Studie erfolgte die Auslegung hingegen auf Basis einer Abschätzung des erforderlichen Platzbedarfs. Dabei wird angenommen, dass mit den verwendeten spezifischen Kennwerten die geforderten Reinigungsleistungen eingehalten werden kann.

6.5.2 Umbau ARA / Pumpwerk

Die **neuen Pumpwerke** werden, wenn möglich in die bestehenden ARA integriert und folgende Randbedingungen angewendet:

- RÜB: Weiternutzung 50 % aller bestehenden ARA-Beckenvolumina als Regenüberlaufbecken (RÜB)
- ARA-Beckenvolumina: $(VKB+BB+NKB) \cdot 0.5$
- Weiterleitmenge: Bereitstellung Kapazität ab Pumpwerk von $3 \times Q_{TW,max}$ zur dynamischen Netzbewirtschaftung.
- Redundanz Pumpwerk: Vollständige Kapazität des Pumpwerks auch bei Betrieb von n-1 Pumpen.
- Rückhaltevolumen Pumpenvorlagebehälter (zusätzlich(!) zu den 50 %-RÜB-Volumen, die oben für die MW-Speicherung vorgesehen sind): für allfälligen Unterhalt an der Pumpstation oder an der Druckleitung soll ein Rückhaltevolumen (RV) zur Speicherung des Trockenwetteranfalls über 12 Stunden an den Alt-ARA-Standorten bereitgestellt werden. → Die hohe Anforderung bzgl. RV ergibt sich aus der nachfolgenden Annahme bzgl. Auslegungsredundanz der Abwasserdruckleitungen (s. u.).

6.5.3 Anschlussleitungen

Leitungsführung

Für die Auslegung der Leitungen gilt folgendes:

- Basierend auf den topografischen Bedingungen werden grundsätzlich Druckleitungen für den Abwassertransport zwischen Alt-ARA-Standorten und zukünftig neuen bzw. weiter bestehenden ARA-Standorten eingesetzt.
- Aus bisherigen Projekten schätzen wir eine Druckleitung bis 7 km Länge und einer Druckhöhe von 50 m (manometrisch) als technisch machbar ein. Die Verlegetiefe ist variabel. Für die Grobprojektierung wird mit einem Durchschnittswert von 2-4 m unter Terrain gerechnet.
- Redundanz Druckleitung: Druckleitung benötigt keine physische Redundanz. Die Redundanz ist im Rückhaltevolumen berücksichtigt. Es kann daher auf eine zweite Leitung verzichtet werden. Wir gehen nach aktuellen Erfahrungen davon aus, dass diese Lösung mit 1x Leitungsverlegung günstiger ist.
- Verlauf Leitungsführung:
 - Grundwasserschutzzonen: die Druckleitungen dürfen nicht durch Grundwasserschutzzonen geleitet werden.
 - Naturschutzgebiete: die Druckleitungen dürfen nicht durch Naturschutzgebiete geleitet werden.
 - Verläuft die Druckleitung entlang einer Strasse, muss sie im Strassenkörper verlegt werden. In späteren Projektphasen muss geprüft werden, wo die Druckleitung abschnittsweise neben der Strasse und damit kostengünstiger im Wiesland verlegt werden kann. Für die Kostenschätzung der Gesamttrasse wird prozentual ein Anteil im Wiesland berücksichtigt (Grössenordnung: 10 %).
 - Auf eine redundante Leitungsführung wird aufgrund nur einer Leitung verzichtet.
- Spülbohrungen: Abhängig vom Leitungsdurchmesser können Spülbohrungen vorgesehen werden.
 - Aktuell sind Spülbohrungen nur bei Unterquerungen vorgesehen.
 - Max. 1'000 m
 - Mikrotunneling: für grosse Leitungen
- Revisionsschächte (Kontrollschächte, Reinigungsöffnungen): Es werden alle 600 m Revisionsschächte eingeplant.
- Entlüftung / Entleerung: am Hochpunkt bzw. am Tiefpunkt ist eine Entlüftung bzw. Entleerung vorgesehen.
- Durchmesser Leitung: der Durchmesser der Leitung richtet sich nach den kommerziell erhältlichen Massen. Die Wahl des Durchmessers ist eine Optimierung von genügend grosser Fliessgeschwindigkeit (>1.2 m/s) und einer Minimierung des Druckverlusts. Allfällige tiefere Fliessgeschwindigkeiten bei Einzelbetrieb und damit verbundene Sedimentation können steuerungstechnisch durch regelmässigen Parallelbetrieb kompensiert werden.

6.5.4 Lokale Regenwasserbewirtschaftung

Für die Grobprojektierung wurden verschiedene Formen der lokalen Regenwasserbewirtschaftung (RWB) berücksichtigt. Ziel war jeweils der Rückhalt von Regenwasser im Siedlungsgebiet und dessen zentrale oder dezentrale Versickerung bzw. Nutzung. Es wurden im Rahmen der Studie vereinfachend drei grundlegende Typen von blau-grünen Infrastrukturen (BGI) für die RWB betrachtet:

- **Oberflächliche Versickerung mit Bodenpassage:** Das anfallende Regenabwasser wird über begrünte Mulden oder vergleichbare Anlagen oberflächennah versickert und durchläuft dabei die belebte Bodenzone. Dadurch erfolgt neben der hydraulischen Entlastung der Oberflächengewässer
-

auch ein stofflicher Rückhalt in den Bodenschichten und teilweise Stoffumwandlung durch die Bodenökosysteme.

- **Teilversickerung über die Schulter und über wasserdurchlässige Flächen:** Regenabwasser wird über seitliche Randbereiche oder versickerungsfähige Beläge abgeleitet. Ein Teil des Abflusses versickert direkt vor Ort, während Restmengen in die Misch- oder Regenabwasserkanalisation geleitet werden.
- **Unterirdische Versickerung:** Das Regenabwasser wird über unterirdische Versickerungsanlagen, beispielsweise Sickerkörper oder Rigolen in den Untergrund eingeleitet. Diese Systeme kommen insbesondere dort zum Einsatz, wo oberflächliche Lösungen aus Platz- oder Nutzungsgründen nicht realisierbar sind und die stofflichen Belastungen des Regenabwasser eine für das Grundwasser gefährlose Untergrundversickerung gestatten.

Eine liegenschaftsbezogene Verteilung/Verortung der RWB-Massnahmen war in der Studie nicht möglich (Kap. 8.3.4). Die zugrunde gelegte Verteilung der durch RWB-Massnahmen bewirtschafteten Flächen basierte daher auf Annahmen, die sich an den Vorgaben der VSA-Richtlinie [144] sowie weiterer technischer Regelwerke [28] orientieren und aus früheren Projekterfahrungen abgeleitet wurden. Die Anwendung der Überlegungen auf die drei verschiedenen RWB-Massnahmen/Versickerungstypen ist in Tabelle 30 ausgewiesen.

Die Kosten der Massnahmen wurden auf Basis der an die einzelnen Versickerungstypen zugewiesenen Flächen abgeschätzt. Hierfür wurden spezifische Investitions- und Unterhaltskosten aus Literaturquellen und Praxisprojekten herangezogen, auf Schweizer Verhältnisse sowie das Preisniveau 2024 teuerungsbasiert angepasst und auf die ermittelten Flächen der jeweiligen Massnahmentypen umgerechnet.

Die Annahmen zur Verteilung der Flächen in den einzelnen Gemeinden auf die jeweiligen Massnahmentypen sind in der Beilage «Grobprojektierung Regenwasserbewirtschaftung» dokumentiert (Kap. 12).

Tabelle 30: Annahmen zu Flächentypen.

	Flächenanteil [%]		
	Oberflächliche Versickerung	Teilversickerung	Unterirdische Versickerung
Gebäudeflächen	50	0	50
Sonstige befestigte Flächen	80	20	0

6.5.5 Regenabwasserbehandlung Trennsystem

Retentionsbodenfilter (RBF) im Trennsystem dienen dem hydraulischen Rückhalt (Abflussspitzendämpfung) und der stofflichen Behandlung von Regenabwasser vor dessen Einleitung in ein Gewässer. Sie bestehen in der Regel aus einem Retentionsraum und einer bepflanzten Filterfläche mit definiertem, häufig melioriertem Substrataufbau. Das Substrat ist hinsichtlich hydraulischer Durchlässigkeit und stofflicher Rückhaltefähigkeit gezielt zusammengesetzt, um eine wirksame Filtration und ggf. Sorption zu gewährleisten.

Während Niederschlagsereignissen wird das anfallende Regenabwasser im Retentionsraum zunächst zwischengespeichert und anschliessend gedrosselt über die Filterfläche geleitet. Durch die Kombination aus Sedimentation im Retentionsraum sowie Filtration, Sorption und biologischen Prozessen im Bodenfilter werden partikuläre und gelöste Stoffe zurückgehalten. Retentionsbodenfilter leisten damit sowohl einen hydraulischen Beitrag zur Dämpfung von Abflussspitzen als auch eine stoffliche Reinigungswirkung, insbesondere im Hinblick auf partikelgebundene Phosphorfrachten.

Die Dimensionierung der Retentionsbodenfilter im Trennsystem erfolgte modellbasiert in KOSIM. Da in KOSIM kein Beckenvolumen direkt vorgegeben werden kann, sondern die Geometrieparameter definiert

werden müssen, wurde das erforderliche Volumen über die Wahl von Filterhöhe, Retentionsraumhöhe sowie Beckenfläche eingestellt.

Die Filterhöhe wurde mit 1 m angesetzt. Die Retentionsvolumenhöhe wurde mit 2 m definiert. Diese Ansätze orientieren sich am einschlägigen DWA-Regelwerk [26][28] sowie an einer HBT-eigenen Abschätzung, wobei die Filterhöhe dem Doppelten der minimalen Filtermächtigkeit entspricht.

Die Dimensionierung der Beckenfläche (Breite und Länge) erfolgte iterativ durch Anpassung der Geometrieparameter in KOSIM. Filterhöhe und Retentionsraumhöhe wurden dabei konstant gehalten. Ziel war es, die Fläche möglichst klein zu dimensionieren, gleichzeitig jedoch die Entlastungshäufigkeit auf ein vertretbares Mass zu begrenzen. Eine Entlastungshäufigkeit (d. h. ohne Vorbehandlung durch den RBF) von etwa einmal pro Jahr wurde als akzeptabel erachtet.

Für die Regenwasserbehandlung in den einzelnen ARA-EZG und Gemeinden wurde folgendes Vorgehen angewendet:

- Für das ARA-EZG Uster wurde das erforderliche Beckenvolumen empirisch gemäss oben beschriebenen Vorgehen in KOSIM ermittelt. Daraus wurde ein spezifischer Faktor für das RBF-Volumen in $\text{m}^3/\text{ha}_{\text{red}}$ abgeleitet.
 - Dieses Verhältnis konnte im Projekt RAG auf die übrigen ARA-EZG übertragen werden, da im Modell die partikuläre Phosphorkonzentration aus dem Oberflächenabtrag als konstante Regenwasserkonzentration eines jährlich möglichen Abtrags eingestellt wurde und in allen Einzugsgebieten identisch war (Kap. 4.7). Zudem wurde für alle ARA-EZG dieselbe Niederschlagszeitreihe verwendet (Kap. 4.10). Damit hängt die erforderliche Grösse der RBF im Wesentlichen nur noch von der an den RBF angeschlossenen Trennsystemfläche ab ($F_{\text{TS,red}}$).
- Die angeschlossene, abflusswirksame Trennsystemfläche ($F_{\text{TS,red}}$) wurde mit dem abgeleiteten Faktor verknüpft: $V_{\text{Soll}} = A_{\text{red}} \times \text{Faktor}$.
- Durch Anpassung von Länge und Breite im Modell (bei konstanten übrigen Parametern) wurde das resultierende Beckenvolumen möglichst gut an das berechnete Soll-Volumen angenähert.

Die Investitionskosten der Retentionsbodenfilter wurden auf Basis volumenabhängiger Kostenansätze aus[97] abgeschätzt. Die dort ausgewiesenen, spezifischen Baukosten wurden mittels Baupreisindex und Wechselkursverhältnis auf das Schweizer Preisniveau 2024 umgerechnet. Da die RBF flächenintensive Anlagen sind, wurden zusätzlich die Landerwerbskosten der für die Anlagen erforderlichen Flächen berücksichtigt. Die Berechnungen für die RBF-Anlagen sind in der Beilage «Grobprojektierung Retentionsbodenfilter» dokumentiert (Kap. 12).

6.5.6 Fremdwasserreduktion

Massnahmen zur Reduktion von Fremdwasser in öffentlichen Abwassersystemen sind bekannt und vielfältig. Ebenfalls bekannt sind die negativen Auswirkungen von Fremdwasser auf niedrigere Zulaufkonzentrationen in ARA und damit reduzierte Wirkungsgrade bei der Elimination von Phosphor aus dem Abwasser [76]. Für eine einzugsgebietsweite Betrachtung können nur grobe Abschätzungen vorgenommen werden. Grund dafür ist, dass die Reduktionsmassnahmen für Fremdwasser sehr einzugsgebietsabhängig sind – sie müssen spezifisch auf den Herkunftsort des Fremdwassers angepasst werden (z. B. Grundwasserinfiltration, Laufbrunnen, Hangwassereinläufe, Haussickerdrainagen etc.). Die Kosten für die einzelnen Massnahmen sind ebenfalls abhängig von den Ursachen für den Fremdwasseranfall.

In der vorliegenden Studie wurden starke Vereinfachungen auf Basis von Literaturangaben [1][62][63][84][131] inkl. Berücksichtigung «Alt-Ideen» für das EZG Greifensee aus [136] zu sechs möglichen, konzeptionellen Herangehensweisen für die Fremdwasserreduktion erarbeitet und berechnet. Konkret wurde für die Kombinationsvarianten 1, 2 und 4 angenommen, dass 25 % der Parzellen sanierungsbedürftig sind. Aufgrund der höheren erforderlichen Fremdwasserreduktion wurde für Variante 0

ein leicht höherer Anteil von 30 % sanierungsbedürftiger Parzellen angesetzt. Auf Basis der Anzahl vorhandener Parzellen in den einzelnen Gemeinden (AV-Daten) wurde daraus die Anzahl der zu sanierenden Parzellen ermittelt.

Die Kostenschätzung basiert auf einem liegenschaftsspezifischen Sanierungskostenansatz aus [88]. Zur Berücksichtigung der Preisentwicklung wurden die ursprünglichen Kosten mithilfe des Schweizer Baupreisindex für den Tiefbau auf das Preisniveau von Oktober 2024 umgerechnet und anschliessend für die Abschätzung der Gesamtkosten verwendet. Die Berechnungen für die Fremdwassersanierung sind in Beilage «Grobprojektierung Fremdwassersanierung» dokumentiert (Kap. 12).

6.5.7 Stoffstromseparierung durch Urinabtrennung

Für die Kombinationsvariante 4 wurde die Einführung innovativer Sanitärinstallationen in Form der Urinseparierung mittels NoMix-WCs angenommen (Kap. 6.4.6). Die Einführung erfolgt für die Grössenordnung der bis ins Jahr 2050 neu hinzukommenden Einwohnerwerte im Einzugsgebiet: dies entspricht rund 85'000 EW.

NoMix-WCs und -Urinale sehen identisch aus wie typische WC, sind jedoch in der Lage, den Urin hygienisch unbedenklich und geruchsfrei abzutrennen. Die Projektierung basiert auf einem semi-zentralen Bewirtschaftungskonzept. Der Urin wird in lokalen Behältern gesammelt (Keller, Untergrundinstallation), in seltenen aber regelmässigen Abständen durch spezialisierte Sauglaster abgepumpt, zu einer zentralen Urinaufbereitungs- und Düngerproduktionsanlage transportiert (ARA-Betriebsgelände), dort stabilisiert, aufkonzentriert und von Mikroverunreinigungen gereinigt und anschliessend als Pflanzendünger regional weiterverkauft, für den bereits heute in der Schweiz eine Zulassung für Nahrungsmittelpflanzen vorhanden ist. Die nutzbringende Funktionalität und Sinnhaftigkeit als ergänzende Technologie auch in bestehenden Abwassersystemen wurden im Verlauf der Jahre in vielen Studien aufgezeigt, z. B. [138][78][79][148].

Zur Dimensionierung der Infrastruktur wurde eine spezifische Urinproduktion von 1.5 l/(EW*d) angenommen, woraus sich für den Endausbau eine zu behandelnde Urinmenge von rund 127 m³/d ergibt. Auf Basis der heutigen Gebäudestruktur (AV-Daten und kantonale Gebäudestatistik) sowie einer angenommenen Innenverdichtung wurden die zukünftigen Zuwachszahlen der Einwohnerwerte auf verschiedene Gebäudekategorien verteilt und daraus die erforderliche Anzahl dezentraler Urinspeichertanks abgeschätzt.

Für die semi-zentrale Transportlogistik wurden die Tankanzahl, die Entleerungsintervalle sowie ein zentraler Anlagenstandort auf dem bzw. den ARA-Betriebsgelände(n) berücksichtigt. Daraus wurden die erforderlichen Fahrzeug- und Personalressourcen für Sammlung und Transport des Urins abgeschätzt inkl. der damit verbundenen Kosten.

Die zentrale Urinaufbereitungs- und Düngerproduktionsanlage wurde auf die gesamte Urinmenge des Endausbaus ausgelegt. Neben der Verfahrenstechnik wurden auch die erforderlichen Pufferlager für einen kontinuierlichen Anlagenbetrieb sowie die notwendigen Betriebsgebäude berücksichtigt. Überlegungen zu Dimensionierungs- und Betriebsaspekten sowie Investitions- und Betriebskosten der Gesamtanlage wurden auf Grundlage von Erfahrungs- und Literaturangaben [14][15] berechnet sowie mit Hilfe von Mitarbeitenden der Eawag und der VunaNexus AG [147] plausibilisiert und an neueste Erkenntnisse im Umgang mit der Technologie in der Schweiz angepasst. Die Berechnungen für die Urinseparation sind in Beilage «Grobprojektierung Urinseparation» dokumentiert (Kap. 12).

7 Resultate

7.1 P-Emissionen im Ist- und Prognose-Zustand

7.1.1 Hinweis zur Interpretation der Resultate

Die hier dargestellten Ergebnisse sind tendenziell als «oberes Limit» zu interpretieren, da sie unter konservativen Randbedingungen und Annahmen zustande gekommen sind (Kap. 4.1). Das bedeutet, in der Mehrheit der Fälle sollten die Bedingungen in der Realität nicht schlechter/grösser sein als hier dargestellt. Die Resultate zeigen auf, wie sich die Situation der P-Emission entwickeln würde, falls das erwartete Einwohner- und Flächenwachstum anhält und keine zusätzlichen, wirksamen Massnahmen ergriffen werden. Gleichzeitig handelt es sich um Resultate einer Studie auf «hoher Flugebene», die dadurch verschiedenen Unsicherheiten unterliegen (Kap. 7.5). Die präsentierten Ergebnisse müssen daher immer im Kontext ihrer Datengrundlage und Entstehung interpretiert und verwendet werden.

7.1.2 Ist-Zustand 2022/2023

Die modellierten Phosphoremissionen aus der Siedlungsentwässerung im Ist-Zustand 2022/2023 betragen insgesamt 4.39 t_P/a (Abbildung 27). Die Gesamtfracht setzt sich aus drei Eintragspfaden zusammen: den ARA-Abläufen, den Regenauslässen im Trennsystem sowie den Entlastungen aus dem Mischabwassersystem.

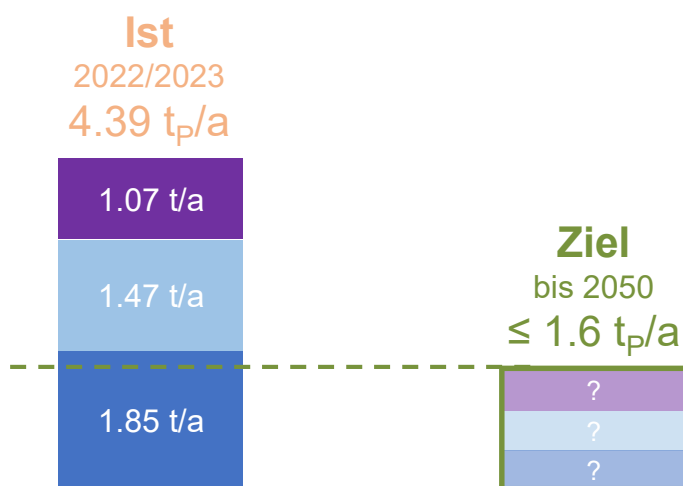


Abbildung 27: Modellerte Phosphoremissionen im Ist-Zustand 2022/2023, aufgeteilt nach den drei Eintragspfaden aus den Siedlungsgebieten im Vergleich zum Zielwert P-Emission Greifensee im Jahr 2050. Es ergibt sich bereits unter den heutigen Randbedingungen im EZG eine Differenz von durchschnittlich 2.78 t_P/a, die jährlich zu viel in die Gewässer im EZG Greifensee emittiert wird.

Mit 1.85 t_P/a entfällt der grösste Anteil auf die ARA-Abläufe. Die Regenauslässe im Trennsystem tragen 1.47 t_P/a zur Gesamtfracht bei. Die Entlastungen aus dem Mischabwassersystem verursachen 1.07 t_P/a. Damit stammt etwas mehr als ein Drittel der Emissionen aus den kontinuierlichen Einleitungen über ARA-Abläufe. Trennsysteme und Mischabwasserentlastungen tragen zusammen deutlich mehr als die Hälfte der P-Gesamtfracht bei.

Ersichtlich wird aus den Simulationsdaten damit auch der in den 2020er Jahren bereits vorhandene, eindrucksvolle «Leistungsausweis» der ARA im EZG Greifensee (Abbildung 28). Im Siedlungsgebiet gelangen pro Jahr durchschnittlich 75 t_P/a in die Kanalisationen – hauptsächlich während der Trockenperioden. So werden aktuell >94 % der möglichen P-Emissionen durch die Abwasserreinigung und die

Mischabwasserbehandlung zurückgehalten, bevor sie ins Gewässer gelangen können. Dieser Leistungsausweis ist Ausdruck für den bisherigen Erfolg der Bemühungen, die P-Emissionen ins Gewässersystem Greifensee durch strenge Anforderungen an die Abwasserreinigung zu begrenzen (Kap. 2.3).



Abbildung 28: «Leistungsausweis» im Einzugsgebiet des Greifensees hinsichtlich der P-Elimination auf ARA in Kombination mit den Effekten der Mischabwasserbehandlung im Zeitraum 2022/2023.

Relevant ist, dass die beiden regengetriebenen Emissionspfade (TS, MW) nur während durchschnittlich 643 h/a, das heisst während 7 % der Zeit eines Jahres Phosphor in die Gewässer emittieren (Kap. 4.10.1, Abbildung 14). Wird weiter berücksichtigt, dass kleinere und mittlere Regenereignisse häufig nicht zu Mischabwasserentlastungen führen, so sinkt der Zeitraum mit Emissionen aus Mischabwasser erfahrungsgemäss auf rund 2 % der Zeit eines Jahres.

Aus Abbildung 28 lässt sich interpretieren, dass die P-Emissionspfade aus TS und MW vor allem dadurch Relevanz erlangt haben, weil die Reinigungsleistungen der ARA im EZG Greifensee stetig verbessert wurden. Obwohl die beiden Emissionspfade nur selten pro Jahr aktiv sind, tragen sie im EZG Greifensee mittlerweile mehr als die Hälfte aller P-Emissionen aus Siedlungsgebieten in die Gewässer ein.

Kurzfasit Ist-Zustand: Im Vergleich zum angestrebten Zielwert von $\leq 1.6 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$ (Kap. 2.4) liegen die P-Emissionen im Ist-Zustand bereits deutlich oberhalb der Zielmarke. Zur Erreichung des Zielwerts ist somit eine substanzielle Reduktion der P-Emissionen erforderlich. Das bedeutet, dass bereits unter heutigen Bedingungen rund zwei Drittel der jährlich emittierten P-Fracht eliminiert werden müssen. Dabei müssen Massnahmen über alle drei P-Eintragspfade geprüft werden, weil bei Berücksichtigung von Massnahmen für nur einen Pfad (z. B. ARA-Abläufe) keine ausreichende P-Reduktion erzielt werden kann.

7.1.3 Prognose-Zustand 2050

Im Prognose-Zustand 2050 (ohne Massnahmen) ergeben sich modellierte Phosphoremissionen von insgesamt $6.02 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$ (Abbildung 29). Gegenüber dem Ist-Zustand ($4.39 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$) entspricht dies einer Zunahme der Gesamtemission um noch einmal rund einem Drittel (37 %). Der Anstieg betrifft alle drei P-Eintragspfade. Die ARA-Abläufe tragen im Prognose-Zustand $2.52 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$ bei, die Regenauslässe im Trennsystem $1.77 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$ und die Entlastungen aus dem Mischabwassersystem $1.73 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$. Der Zielwert von $\leq 1.6 \text{ t}_\text{P}/\text{a}$ («100 %») wird ohne Massnahmen zur P-Reduktion um mehr als das Zweieinhalbfache überschritten (+275 %).

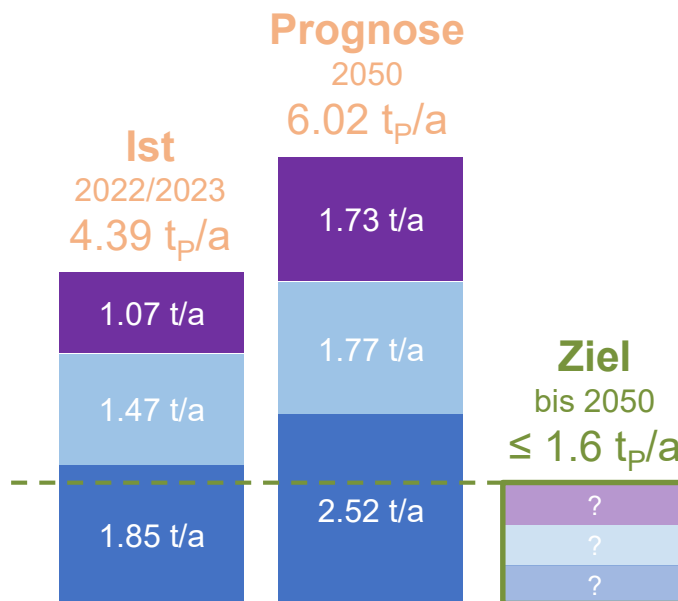


Abbildung 29: Modellierte Phosphoremissionen im Prognose-Zustand 2050 aufgeteilt nach den drei Einzugsfeldern aus dem Siedlungsgebiet im Vergleich zum Zielwert bis 2050 sowie unter der Annahme eines fortgesetzten Einwohner- und Flächenwachstums. Zusätzlich zu den bestehenden, bereits zu hohen P-Emissionen im Ist-Zustand von 2.78 t_P/a (vgl. Abbildung 27) sind durch das Wachstum zusätzliche 1.55 t_P/a und damit in Summe 4.33 t_P/a zu erwarten, die jährlich zu viel in die Gewässer im EZG Greifensee emittiert werden.

Kurzfasit Prognose-Zustand: Mit der heute vorhandenen Infrastruktur der ARA und der Siedlungsentwässerung kann der künftig erwartete Anstieg der Phosphoremissionen nicht kompensiert werden. Der bereits geplante Ausbau einzelner ARA führt zwar zu einer Dämpfung der Zunahme der P-Emissionen, jedoch führt er weder zu einer effektiven Reduktion der Emissionen noch zu einer Stabilisierung auf heutigem Niveau. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass der prognostizierte Anstieg der P-Emissionen erheblich ist. Kleinräumige oder isolierte Einzelmassnahmen werden nicht ausreichen, um den Zielwert von ≤ 1.6 t_P/a zu erreichen. Es sind parallel wirkende Massnahmen an mehreren Wirkorten erforderlich, das heisst kombinierte Lösungsansätze zur Reduktion der Phosphoremissionen in den Greifensee – sowohl kurzfristig als auch mit Blick auf die langfristige Entwicklung.

7.1.4 Resultate Ist- und Prognose-Zustand pro Gemeinde

Die ermittelten Resultate für den Ist- und Prognose-Zustand liegen für das gesamte EZG Greifensee und auch für die einzelnen ARA-Einzugsgebiete vor (Abbildung 30). Der detaillierte Blick auf die spezifischen Ergebnisse aus den einzelnen Gemeinden, Städten und Verbandsgebieten unterstreicht die funktionelle Vielfalt der Abwassersysteme im EZG Greifensee. Es wird deutlich, dass zur Lösung der Herausforderung der P-Emissionen und zur Erreichung des übergeordneten Zielwerts mehr als eine Massnahme notwendig sein wird.

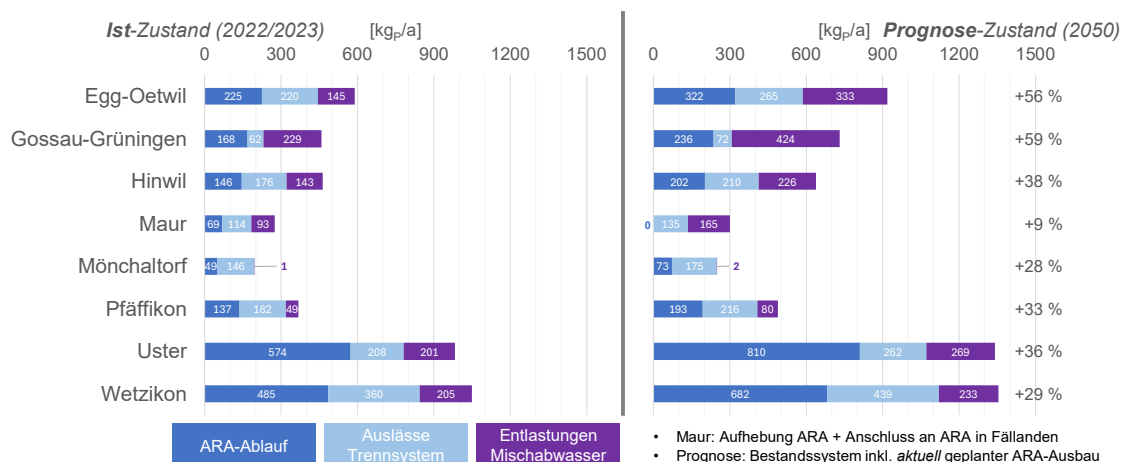


Abbildung 30: Modellerte Phosphoremissionen im Ist- und Prognose-Zustand aufgeteilt nach den drei Eintragspfaden aus dem Siedlungsgebiet (ARA, TS, MW) und aufgeschlüsselt für jedes ARA-Einzugsgebiet. Die Prozentzahlen (rechts) zeigen für jedes ARA-EZG den relativen Anstieg der P-Emission im Vergleich zum Ist-Zustand an. Die Werte für den Prognose-Zustand berücksichtigen bereits die zum Zeitpunkt der Studienerarbeitung begonnenen/geplanten ARA-Ausbautufen (Hinwil, Pfäffikon, Uster, Wetzikon).

Aus Abbildung 30 lassen sich folgende Erkenntnisse in Bezug auf die ARA-EZG festhalten:

- Die Resultate für den Prognose-Zustand zeigen: unter «Weiter-wie-bisher»-Randbedingungen, einem fortgesetzten Wachstum der Siedlungsgebiete und dem Auslassen von Massnahmen verschlechtert sich die P-Emission in allen ARA-EZG und für alle drei Eintragspfade (Ausnahme: EZG Maur; s. u.). Allein mit dem heute vorhandenen und bereits geplanten Infrastrukturbestand (ARA & SE) kann der zukünftige Anstieg der Phosphorfrachten nicht kompensiert werden.
- Es existiert nicht «der eine» P-Emissionspfad, dessen Reduktion die Phosphorproblematik gesamthaft lösen kann. Hinzu kommt, dass eine anderenorts typische Lösung wie die Fusion mehrerer ARA zu einer ARA ausserhalb des EZG Greifensee deutliche Verbesserungen bzgl. der P-Emission bringen würde, jedoch das P-Emissionsproblem gesamthaft nicht lösen kann.
- Die Unterschiede in den relativen Zunahmen der P-Emissionen der ARA-EZG resultieren aus unterschiedlichen Wachstumsbedingungen (mehr Einwohnerwerte durch Verdichtungsmöglichkeiten, Flächenzunahme durch noch vorhandene Bebauungsflächen) und den inhärenten Reserven der vorhandenen Infrastrukturen, die je nach ARA-EZG unterschiedlich gross sind.
- Die ARA-EZG tragen heute und in Zukunft erwartungsgemäss unterschiedlich viel bei zur gesamten P-Emission im Einzugsgebiet des Greifensees. Grund dafür sind v. a. die unterschiedlichen Grössen (Gemeinde vs. Stadt) hinsichtlich Einwohnerzahlen und Gewerbegebiete sowie räumlicher Siedlungsstrukturen (ländlich vs. urban). Massnahmen zur P-Reduktion müssen daher aus einer Palette an Möglichkeiten bestehen und zweckmässig sowie passgenau für jedes ARA-EZG definiert werden.
- Die P-Emissionen aus ARA-Abläufen haben heute und zukünftig eine starke Variation zwischen den EZG. Der Hauptgrund liegt nicht in der Leistungsfähigkeit der ARA (alle ARA leisten heute bereits viel, vgl. Kap. 7.1.2), sondern vor allem an den Unterschieden in der Dimensionierungsgrösse der einzelnen ARA aufgrund der wiederum unterschiedlich grossen Einzugsgebiete. Die ARA-Abläufe sind heute nur noch in der Hälfte der EZG die grössten P-Emittenten.
- Je nachdem, ob Misch- oder Trennsystem in einem ARA-EZG überwiegend vorhanden sind, ergibt sich eine hohe Variation der P-Emissionen über den Eintragspfad MW. Zum Beispiel besitzt das EZG Mönchaltorf fast keine Mischsysteme, weshalb der Eintragspfad vernachlässigbar klein ist im Vergleich zum EZG Gossau-Grüningen. Es braucht passgenaue Massnahmen für jedes EZG.

- Klug konzipiert, bieten Trennsysteme in anderen Anwendungsfällen diverse Vorteile im Vergleich zum Mischsystem. In Bezug auf die P-Emissionen im EZG Greifensee zeigt sich ein deutlicher Nachteil dieser Systeme (Nichtbehandlung des Phosphors aus Oberflächenabtrag im Regenabwasser). Ohne eine langfristige Strategie für den Erhalt und allfälligen (Nicht-)Ausbau von Trennsystemen in Kombination mit Anlagen zur Reinigung des Regenabwassers (z. B. Retentionsbodenfilter) wachsen die P-Emissionen aus Trennsystemgebieten an und müssen über weitergehende Massnahmen bei den Eintragspfaden ARA und MW kompensiert werden (Kap. 8.3.1).
- Der bereits geplante ARA-Ausbau (Hinwil, Pfäffikon, Uster, Wetzikon) führt zu einer Verringerung der Zunahme der P-Frachten aber nicht zu einer Verminderung oder einem Halten auf heutigem Niveau.
- Das Beispiel des ARA-EZG Maur zeigt: die alleinige Aufhebung einer ARA im EZG Greifensee kann einen positiven Beitrag in Bezug auf die P-Frachten darstellen. Diese Massnahme löst jedoch das Problem der P-Emissionen im jeweiligen ARA-EZG nicht.

Kurzfazit: Für eine erfolgreiche Reduktion der P-Emissionen aus Siedlungsgebieten im EZG Greifensee unter den Zielwert braucht es parallele Massnahmen an verschiedenen Orten und für alle drei Eintragspfade – für die heutige wie auch für die zukünftige P-Emissionssituation.

7.2 Reduktionswirkung Phosphor durch Einzelmassnahmen

Mit Hilfe des erstellten Modells der ARA-EZG (Kap. 5) und der identifizierten technischen Möglichkeiten (Kap. 6.3) wurde untersucht, welche Reduktionswirkung die einzelnen Massnahmen auf die P-Emissionen erreichen können (Abbildung 31). Ziel war es, effektive Massnahmen zu finden, um sie anschliessend so miteinander kombinieren zu können, dass der anvisierte P-Zielwert im gesamten EZG Greifensee erreicht werden kann (Kap. 7.3). Basis für die Untersuchung bildete das Modell für den Prognose-Zustand, in dem jeweils eine Massnahme implementiert und dann simuliert wurde.

Aus Abbildung 31 (S. 75) lassen sich folgende Erkenntnisse in Bezug auf die Reduktionswirkung der Einzelmassnahmen festhalten:

- **Kläranlagenabläufe (ARA):**
 - Von allen drei Emissionspfaden ist der ARA-Emissionspfad der einzige, bei dem die P-Einleitungen auf realistischen Wege vollständig eliminiert werden könnten, wenn alle ARA im EZG Greifensee aufgehoben und das Abwasser zu ARA ausserhalb des EZG abgeleitet würde (9.3, 9.4).
 - Den grössten Effekt auf die Reduktion des Emissionspfads ARA erzielen der Einsatz innovativer Verfahrenstechnologien, um sehr niedrige P-Konzentrationen im Ablauf zu erhalten (1.1, 1.2). Ebenfalls wirksam bis sehr wirksam wären der Ausbau einiger weniger ARA-Standorte im EZG mit entsprechend gross dimensionierten Verfahrensstufen (9.1, 9.2, 9.7).
 - Je nach Ausgangslage in den einzelnen ARA-EZG kann die Reduktion von Fremdwassermengen auf tiefe Niveaus (2.1, 2.2) zu deutlichen Rückgängen bei der eingeleiteten P-Fracht aus ARA führen, da durch den verringerten Fremdwasserabfluss auch die emittierte, nicht vermeidbare Restbelastung im ARA-Ablauf sinkt. Es zeigen sich je nach ARA-EZG auch nicht-lineare Positiveffekte, wenn die Fremdwasseranteile auf 20 % statt auf 30 % reduziert werden.
 - Die Reduktion der anfallenden Schmutzabwassermenge aus Haushalten durch die Nachrüstung mit modernen Sanitärinstallationen und Armaturen (3.1, 3.2) erzeugt je nach ARA-EZG keine bis gute Wirkungen. Die Spannweite ist überraschend gross, zeigt aber den Bedarf für passgenaue Massnahmen in den ARA-EZG.
 - Der Einsatz ressourcenorientierter Sanitärsysteme an der Quelle der Verschmutzung (5.1, 5.2) zeigt eine gute Reduktionswirkung in Bezug auf den ARA-Emissionspfad (sowie beim MW-Pfad).
-

- **Einleitungen Trennsysteme (TS):**

- Im Vergleich zu den Emissionspfaden ARA und MW gibt es beim Eintragsweg TS nur zwei mögliche Ansätze, die reduzierend auf die P-Fracht aus Trennsystemen wirken können.
- Wenig überraschend tritt die grösste und auch erhebliche P-Reduktionswirkung im Trennsystem durch die Implementierung von Retentionsbodenfiltern auf (6.1, 6.2), durch die eine Reinigung des Regenabwassers und damit eine P-Elimination erfolgt.
- Am zweitbesten zeigt sich die Einführung einer flächendeckenden Regenwasserbewirtschaftung mit Hilfe blau-grüner Infrastrukturen (6.3), sodass die abfliessende Menge Regenabwasser deutlich reduziert wird und dadurch Phosphor von Oberflächen nicht mehr in die Gewässer abgeschwemmt wird.
- Der Ausbau von zusätzlichen Trennsystemen ohne parallelen Bau von Retentionsbodenfiltern (8.7), in Gebieten, in denen bisher Mischsystementwässerung stattfand, führt beim TS-Emissionspfad – je nach ARA-EZG – zu einem moderaten bis sehr grossen Anstieg der Phosphorfrachten. Es besteht das erkennbare Risiko, Investitionen in den TS-Ausbau zu tätigen, um P-Emissionen aus ARA und MW zu verringern und dabei gleichzeitig einen Grossteil der Reduktionswirkung durch die zusätzlichen Einleitungen aus TS im negativen Sinne zu kompensieren. Der TS-Ausbau kann insgesamt noch zu einer P-Reduktion führen, wenn die P-Frachten aus ARA und MW deutlich höher sind – aber deutlich vermindert im Vergleich zur erhofften Wirkung. → Spezifisch für das EZG Greifensee zeigt sich damit, dass die Zweckmässigkeit des Ausbaus von Trennsystemen ohne Behandlungsanlagen in jedem Fall kritisch hinterfragt werden muss.

- **Entlastungen Mischabwasser (MW):**

- Der Ausbau von Mischabwasserspeichervolumina z. B. in Form von Regenüberlaufbecken (RÜB) an neuralgischen Stellen im Abwassernetz führt zu moderaten bis guten Wirkungen auf den MW-Pfad (8.1, 8.2, 8.3). Gleichzeitig steigt der ARA-Entlastungspfad geringfügig an: mehr Mischabwasser gelangt zur ARA, wo es gereinigt werden kann, jedoch mit der «normalen» Restbelastung als zusätzlicher ARA-Ablauf in der Bilanz auftaucht.
- Die Erhöhung der Weiterleitmengen an Sonderbauwerken (8.4, 8.5, 8.6), sodass mehr Mischabwasser zur ARA gelangen kann, zeigt moderate bis sehr gute Reduktionswirkungen für den MW-Emissionspfad. Wie beim Ausbau von MW-Speichervolumina gilt: ein leichter Anstieg der P-Emissionen erfolgt parallel aufgrund der gesteigerten ARA-Ablaufmengen.
- Die Zwischenspeicherung von Schmutz- oder Schwarzwasser während Regenwetter mit Hilfe kleiner, dezentral im EZG verteilter Speicherbauwerke (4.1, 4.2) ist nur beim MW-Emissionspfad wirkungsvoll, dafür aber mit guten bis sehr guten Reduktionswirkungen. Das während Regenwetter entlastete Mischabwasser ist mengenmässig nur geringfügig reduziert aber durch Einführung dieser Massnahmen deutlich weniger belastet mit P-Fracht, die nach dem Regenwetter der ARA zugeführt und dort gereinigt werden kann.
- Für die Reduktion der P-Emissionen aus MW stehen im Vergleich zu ARA und TS die meisten Massnahmen zur Verfügung.
- Als wirkungsvollste Einzelmassnahme zur Reduktion der MW-Frachten zeigt sich die Regenwasserbewirtschaftung (6.3).

Kurzfazit Einzelmassnahmen:

- Wie erwartet, hat sich die Einführung einer flächendeckenden Regenwasserbewirtschaftung nach Schwammstadtprinzipien auf Liegenschaftsebene (6.3) als «Alleskönner» bzw. «Multitalent» herausgestellt. Die hohe bis sehr hohe Wirkung der RWB auf die P-Reduktion [29] sowie auf andere Abwasserschmutzstoffe und den Gewässerschutz insgesamt ist auch aus vielen anderen Projekten/Einzugsgebieten bekannt [116][117][125]. Diese Massnahme wirkt positiv auf alle drei P-Emissionspfade, vor allem jedoch auf die beiden regenwettergetriebenen Pfade TS (bis -32 %) und MW (bis -60 %). Durch die Austrennung und lokale Nutzung/Versickerung/Zwischenspeicherung des Regenabwassers wird

die Spitzenabflusssdynamik in der Kanalisation erheblich gedämpft und vergleichmässigt. Dadurch sind bestehende Infrastrukturen besser in der Lage, bei stärkeren Regenereignissen die anfallenden Regenwasser- und Phosphormengen zu bewältigen. Andere Massnahmen wirken nur spezifisch auf ein bis zwei der drei P-Emissionspfade aus Siedlungsgebieten.

- Die Verlagerung der ARA-Standorte nach ausserhalb des EZG Greifensee (Fusionen/Zusammenschlüsse) sind sehr wirkungsstark bzgl. des ARA-Emissionspfads und eine gute Wirkung beim Pfad MW, wenn zusätzliche RÜB-Volumina ausgebaut/verfügbar gemacht werden. Aber sie haben keinen Effekt auf den TS-Emissionspfad.
 - Die Menge potenziell wirksamer Massnahmen ist für die Emissionspfade ARA und MW eher hoch und für den TS-Pfad sehr gering. Der (flächendeckende) weitere Ausbau von Trennsystemen im EZG Greifensee sollte daher kritisch evaluiert werden, um Fehlinvestitionen zu vermeiden (s. o.).
 - Die stückweise Integration innovativer Technologien als dezentrale Infrastrukturelemente in das bestehende, zentrale Abwassersystem («Hybridisierung») zeigt über alle P-Emissionspfade in gute bis sehr gute Wirkungen (4.1, 4.2, 5.1, 5.2, 6.3). Aufgrund der Modularität dieser Elemente sind sie vielversprechend für passgenaue und EZG-spezifische Anwendungen. Für eine zusätzliche Kombination der Technologien kann auf eine nicht-lineare Positivwirkung gehofft werden.
 - Die Anfangserwartung wurde bestätigt: keine Massnahme konnte als alleinige Lösung identifiziert werden. Eine wirksame Lösung der Phosphorproblematik im EZG Greifensee braucht eine sinnvolle, d. h. gut und regional aufeinander abgestimmte Kombination der diversen Massnahmen.
-

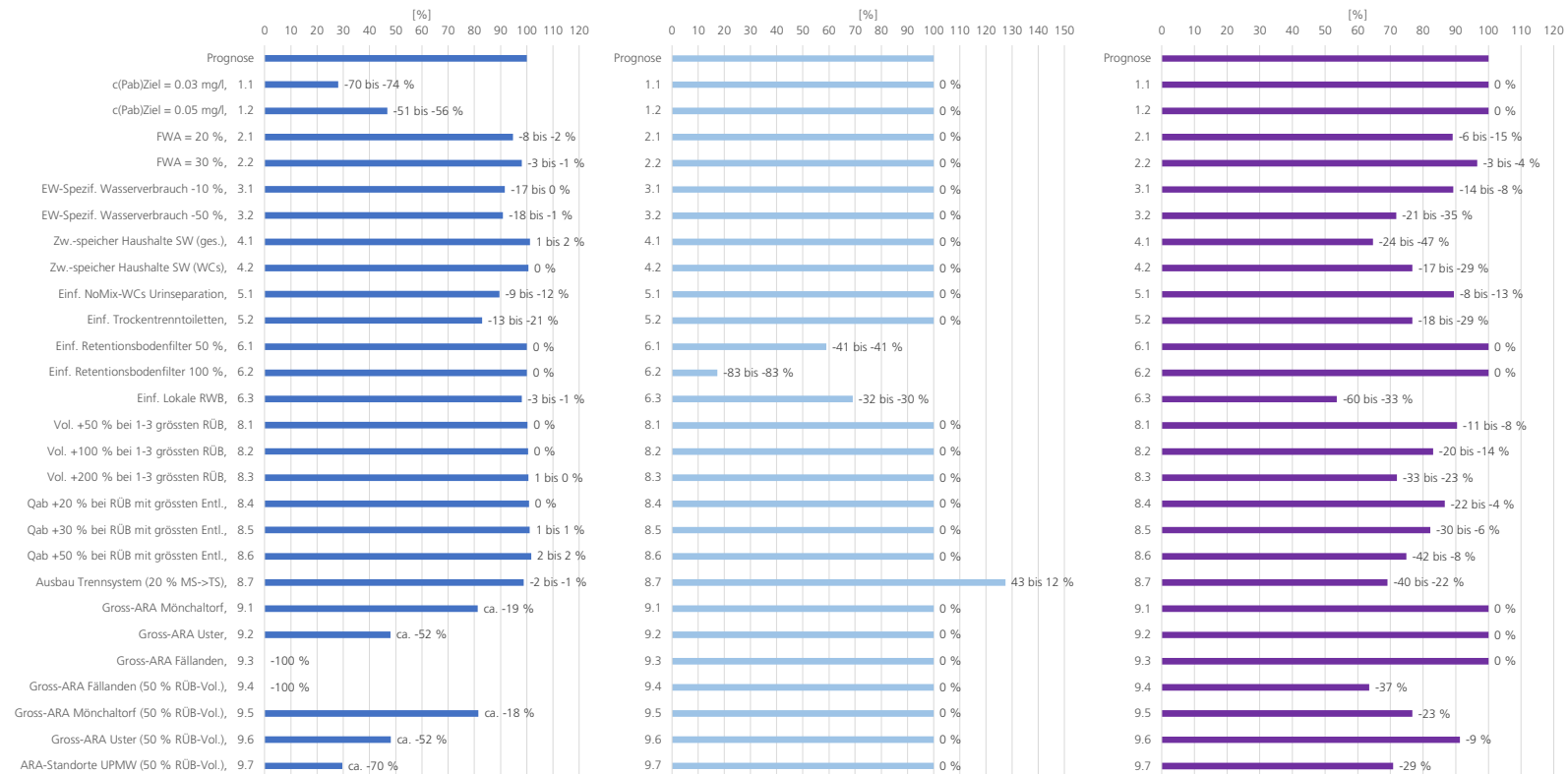


Abbildung 31: Simulationsresultate für die Reduktionswirkung der Einzelmassnahmen auf die drei P-Emissionspfade ARA (dunkelblau, links), TS (hellblau, mittig) und MW (lila, rechts). Die relativen Veränderungen [%] der P-Emissionen im EZG Greifensee durch die jeweiligen Massnahmen beziehen sich auf den Prognose-Zustand (= 100 %). Da die Massnahmen einzugsgebietsspezifisch wirken, wurde Spanneiten «X bis Y %» angegeben, die sich auf die Veränderungen in den hier repräsentativen ARA-EZG Uster sowie Egg-Oetwil beziehen.

7.3 Reduktionswirkung Phosphor durch Kombinationsvarianten

Im Verlauf der Studie RAG wurden fünf Kombinationsvarianten entwickelt, wovon vier für die Grobprojektierung und Kostenschätzung weiterverfolgt wurden (Variante 3 nicht weiterverfolgt; vgl. Kap. 6.4.7). Die für jede der entwickelten und weiterverfolgten Kombinationsvarianten notwendigen Massnahmen (Kap. 6.4) wurden im Modell implementiert (Basis: Prognose-Zustand 2050) und es wurde überprüft, ob der geforderte P-Zielwert $\leq 1.6 \text{ t/a}$ (Kap. 2.4) eingehalten werden kann. Die Resultate und spezifischen P-Frachten für jeden Emissionspfad aus Siedlungsgebieten im EZG Greifensee sind in Abbildung 32 dargestellt.

Kurzfazit Kombinationsvarianten:

- Jede der entwickelten und weiterverfolgten Kombinationsvarianten kann durch die vorgesehene Massnahmenpalette die geforderten P-Emissionen auf $\leq 1.6 \text{ t/a}$ begrenzen. Die Varianten erreichen alle das Gesamtemissionsziel; sie tun dies aber durch unterschiedliche Massnahmen und führen damit auch zu einer unterschiedlich starken Reduktion der P-Frachten aus den drei Emissionspfaden ARA, TS und MW.
- Für die Entscheidungsträger/-innen der Gemeinden, Städte und Verbände im Einzugsgebiet Greifensee stehen verschiedene technische Möglichkeiten zur Lösung der Eutrophierungssituation aufgrund von Phosphor zur Auswahl.
- Die Resultate zeigen, dass das P-Eliminationsziel mit verschiedenen Massnahmenkombinationen erreicht werden kann. Daraus lässt sich ableiten, dass auch weitere, aktuell noch nicht betrachtete Kombinationen von Massnahmen möglich sind, um das Gesamtemissionsziel zu erreichen. Beispielsweise die Integration der Urinseparierung (Var. 4) bei weniger ARA-Standorten (Var. 2), Schmutzabwasserspeicher (Var. 3) als ergänzendes Element bei Beibehaltung aller ARA-Standorte (Var. 0) oder kombinierte Urinseparierung (Var. 4) und Schmutzabwasserspeicherung (Var. 3) zur Reduktion des Ausbaus von RÜB-Volumina und Verzicht auf RBF-Anlagen (Var. 2). Diese Überlegungen und modelltechnischen Abklärungen können zu einem späteren Zeitpunkt gemacht werden, falls keine der vier Kombinationsvarianten in ihrer im vorliegenden Projekt entwickelten Ausgestaltung umgesetzt werden soll.

Massnahmen		Prognose Jahr 2050	Var. 0 ARA-Standortterhalt	Var. 1 Gross-ARA Region Greifensee	Var. 2 Zentralisierte Abwasser- entsorgung Greifensee	Var. 3 Zentralisierte Abwasserbe- wirtschaftung Greifensee	Var. 4 Regionale Abwasserbe- wirtschaftung Greifensee
ARA	ARA-Standorte (Anzahl)	7	7	1	2	2	4
	P-Zielwert ARA-Ablauf	0.1 mg _P /l	0.03 mg _P /l	0.1 mg _P /l	0.03 mg _P /l	0.03 mg _P /l	0.03 mg _P /l
TS	RWB für Neubauflächen	-	100%	100%	100%	100%	100%
	RWB für Bestandsflächen	-	40%	15%	25%	20%	25%
	RBF-Anteil RAW-Vol.	-	-	15%	50%	50%	50%
MW	Reduktion neuer FW-Anteil	-	20-25%	30%	30%	30%	30%
	Alt-ARA-Vol. -> RÜB-Vol. (*)	-	-	50%	50%	50%	50%
	Zusätzl. RÜB-Vol. (**)	-	+25'000 m ³	-	+5'000 m ³	-	+5'000 m ³
	Einf. SW-Speicher Neubau-EW	-	-	-	-	100%	-
	Einf. SW-Speicher Bestands-EW	-	-	-	-	-	-
	Einf. Urinsep. Neubau-EW	-	-	-	-	-	100%
	Einf. Urinsep. Bestands-EW	-	-	-	-	-	-
	P-Emission aus ARA	2.52	0.62	0.00	0.67	0.62	0.67
	P-Emission aus TS	1.77	0.88	1.14	0.65	0.68	0.64
	P-Emission aus MW	1.73	0.09	0.45	0.27	0.29	0.26
Summe P-Emissionen EZG Greifensee		6.02 t/a	$\leq 1.6 \text{ t/a}$	$\leq 1.6 \text{ t/a}$	$\leq 1.6 \text{ t/a}$	$\leq 1.6 \text{ t/a}$	$\leq 1.6 \text{ t/a}$

Implizites (*) und explizites (**) zusätzl. RÜB-Vol.

Abbildung 32: Übersicht notwendige Massnahmen und Grössenordnungen zur Reduktion der P-Emissionen für jede der fünf entwickelten Kombinationsvarianten. Werden die vorgesehenen Massnahmen umgesetzt, kann durch alle Kombinationsvarianten der P-Zielwert eingehalten werden. Zum Vergleich sind die P-Emissionen im Prognose-Zustand ebenfalls dargestellt (Jahr: 2050, keine Massnahmen). Variante 3 ist zusätzlich dargestellt, wurde aber in der Studie nicht weiterverfolgt (Kap. 6.4.7).

7.4 Grobprojektierung und Kostenschätzung

7.4.1 ARA

Die Grundlagen und Randbedingungen für die Grobprojektierung ARA sind in Kapitel 6.5.1 beschrieben. Darauf aufbauend wurde im vorliegenden Kapitel der Flächenbedarf der ARA für die untersuchten Varianten abgeschätzt und zusammengestellt (siehe Tabelle 31 bis Tabelle 34). In der Beilage «Grobprojektierung ARA» sind die Grobskizzen für den notwendigen Flächenbedarf ARA ersichtlich. Aus den Grobskizzen ist ersichtlich, dass je nach Variante und ARA Standort der Flächenbedarf grösser ist als die heutige ARA Fläche.

Variante 0

Tabelle 31: Variante 0 - Zusammenstellung Flächenbedarf Biologie (BB+NKB) und Flächenbedarf Total.

ARA	Flächenbedarf Biologie	Flächenbedarf Total
ARA Hinwil	3'000 m ²	12'000 m ²
ARA Wetzikon	4'000 m ²	16'000 m ²
ARA Pfäffikon	2'300 m ²	9'000 m ²
ARA Gossau-Grüningen	2'600 m ²	10'000 m ²
ARA Egg-Oetwil	2'600 m ²	8'000 m ²
ARA Mönchaltorf	700 m ²	2'000 m ²
ARA Uster	4'000 m ²	18'000 m ²

Variante 1

Tabelle 32: Variante 1 - Zusammenstellung Flächenbedarf Biologie (BB+NKB) und Flächenbedarf Total.

ARA	Flächenbedarf Biologie	Flächenbedarf Total
ARA Greifensee	17'000 m ²	80'000 m ²

Variante 2

Tabelle 33: Variante 2 - Zusammenstellung Flächenbedarf Biologie (BB+NKB) und Flächenbedarf Total.

ARA	Flächenbedarf Biologie	Flächenbedarf Total
ARA Greifensee Nord in Uster	11'000 m ²	50'000 m ²
ARA Greifensee Süd in Mönchaltorf	5'000 m ²	20'000 m ²

Variante 4

Tabelle 34: Variante 4 - Zusammenstellung Flächenbedarf Biologie (BB+NKB) und Flächenbedarf Total.

ARA	Flächenbedarf Biologie	Flächenbedarf Total
ARA Wetzikon inkl. Hinwil	7'000 m ²	30'000 m ²
ARA Pfäffikon	2'300 m ²	9'000 m ²
ARA Greifensee Süd in Mönchaltorf	5'000 m ²	20'000 m ²
ARA Uster	4'000 m ²	18'000 m ²

7.4.2 Umbau ARA / Pumpwerk

In Kapitel 6.5.2 sind die Grundlagen für die Grobprojektierung Umbau ARA / Pumpwerk beschrieben. Für die betrachteten Varianten sind die bestehenden Volumen Vorklärung, Biologie und Nachklärung sowie die Volumen Regenüberlaufbecken und Rückhaltevolumen in Tabelle 35 bis Tabelle 37 zusammengestellt. In der Beilage «Grobprojektierung Umbau ARA / Pumpwerk» sind die Grobskizzen dargestellt.

Variante 1

Tabelle 35: Variante 1 - Zusammenstellung Volumen Umbau ARA.

ARA	Volumen VKB+BB+NKB	Volumen RÜB	Rückhaltevolumen
ARA Hinwil	3'600 m ³	1'800 m ³	3'600 m ³
ARA Wetzikon	10'600 m ³	5'300 m ³	5'300 m ³
ARA Pfäffikon	3'900 m ³	1'900 m ³	3'100 m ³
ARA Gossau-Grüningen	4'100 m ³	2'000 m ³	2'700 m ³
ARA Egg-Oetwil	5'700 m ³	2'800 m ³	3'300 m ³
ARA Mönchaltorf	1'700 m ³	900 m ³	800 m ³
ARA Uster	20'500 m ³	10'000 m ³	10'000 m ³

Variante 2

Tabelle 36: Variante 2 - Zusammenstellung Volumen Umbau ARA.

ARA	Volumen VKB+BB+NKB	Volumen RÜB	Rückhaltevolumen
ARA Hinwil	3'600 m ³	1'800 m ³	3'600 m ³
ARA Wetzikon	10'600 m ³	5'300 m ³	5'300 m ³
ARA Pfäffikon	3'900 m ³	1'900 m ³	3'100 m ³
ARA Gossau-Grüningen	4'100 m ³	2'000 m ³	2'700 m ³
ARA Egg-Oetwil	5'700 m ³	2'800 m ³	3'300 m ³

Variante 4

Tabelle 37: Variante 4 - Zusammenstellung Volumen Umbau ARA.

ARA	Volumen VKB+BB+NKB	Volumen RÜB	Rückhaltevolumen
ARA Hinwil	3'600 m ³	1'800 m ³	3'600 m ³
ARA Gossau-Grüningen	4'100 m ³	2'000 m ³	2'700 m ³
ARA Egg-Oetwil	5'700 m ³	2'800 m ³	3'300 m ³

7.4.3 Anschlussleitungen

In Kapitel 6.5.3 sind die Grundlagen für die Grobprojektierung Anschlussleitungen beschrieben. In den nachfolgenden Tabelle 38 bis Tabelle 40 sind die Leitungsdimensionen dargestellt. In der Beilage «Grobprojektierung Anschlussleitungen» sind die groben Leitungsführungen dargestellt.

Variante 1**Tabelle 38: Variante 1 - Übersicht Anschlussleitungen.**

Von ARA	Nach ARA	Länge	Durchmesser	Q _{max,Leitung}	Hochpunkt
ARA Hinwil 539 m.ü.M.	ARA Wetzikon 518 m.ü.M.	3'200 m	700 mm	450 l/s	541 m.ü.M.
ARA Wetzikon 518 m.ü.M.	ARA Uster 439 m.ü.M.	8'200 m	1'100 mm	1'100 l/s	527 m.ü.M.
ARA Pfäffikon 540 m.ü.M.	ARA Uster 439 m.ü.M.	7'600 m	650 mm	360 l/s	570 m.ü.M.
ARA Gossau- Grüningen 446 m.ü.M.	ARA Mönchaltorf 441 m.ü.M.	3'300 m	600 mm	330 l/s	459 m.ü.M.
ARA Egg-Oetwil 460 m.ü.M.	ARA Mönchaltorf 441 m.ü.M.	2'900 m	650 mm	390 l/s	462 m.ü.M.
ARA Mönchaltorf 441 m.ü.M.	ARA Uster 439 m.ü.M.	5'200 m	1'000 mm	810 l/s	450 m.ü.M.
ARA Uster 439 m.ü.M.	ARA Greifensee 436 m.ü.M.	5'000 m	2'000 mm	3'450 l/s	447 m.ü.M.

Variante 2**Tabelle 39: Variante 2 - Übersicht Anschlussleitungen.**

Von ARA	Nach ARA	Länge	Durchmesser	Q _{max,Leitung}	Hochpunkt
ARA Hinwil 539 m.ü.M.	ARA Wetzikon 518 m.ü.M.	3'200 m	700 mm	450 l/s	541 m.ü.M.
ARA Wetzikon 518 m.ü.M.	ARA Uster 439 m.ü.M.	8'200 m	1'100 mm	1'100 l/s	527 m.ü.M.
ARA Pfäffikon 540 m.ü.M.	ARA Uster 439 m.ü.M.	7'600 m	650 mm	360 l/s	570 m.ü.M.
ARA Gossau- Grüningen 446 m.ü.M.	ARA Mönchaltorf 441 m.ü.M.	3'300 m	600 mm	330 l/s	459 m.ü.M.
ARA Egg-Oetwil 460 m.ü.M.	ARA Mönchaltorf 441 m.ü.M.	2'900 m	650 mm	390 l/s	462 m.ü.M.

Variante 4**Tabelle 40: Variante 4 - Übersicht Anschlussleitungen.**

Von ARA	Nach ARA	Länge	Durchmesser	Q _{max,Leitung}	Hochpunkt
ARA Hinwil 539 m.ü.M.	ARA Wetzikon 518 m.ü.M.	3'200 m	700 mm	450 l/s	541 m.ü.M.
ARA Gossau- Grüningen 446 m.ü.M.	ARA Mönchaltorf 441 m.ü.M.	3'300 m	600 mm	330 l/s	459 m.ü.M.
ARA Egg-Oetwil 460 m.ü.M.	ARA Mönchaltorf 441 m.ü.M.	2'900 m	650 mm	390 l/s	462 m.ü.M.

7.4.4 Massnahmen Siedlungsentwässerung

Zu den Massnahmen Siedlungsentwässerung gehören die lokale Regenwasserbewirtschaftung, die Regenabwasserbehandlung mit Retentionsbodenfiltern, die Fremdwasserreduktion und die Stoffstromseparierung durch Urinabtrennung. Angaben zum konzeptionellen Vorgehen zur Ausgestaltung und Berechnung dieser Massnahmen wurden in Kap. 6.5 präsentiert. Angaben zu den Grobprojektierungen inkl. Kostenschätzungen finden sich in den Beilagen (Kap. 12).

7.4.5 Grundlagen Kostenschätzung

ARA

Bei der Kostenschätzung für den Teil Neubau ARA wurden die Grundlagen in Tabelle 41 verwendet:

Tabelle 41: Grundlagen ARA Kostenschätzung mit Genauigkeit +/-30 %.

Parameter	Annahme
Investitionskosten:	Basierend auf vergleichbaren Projekten HBT Wiederbeschaffungswert (WBW)*
Betriebskosten:	
Betriebskosten ARA ohne EMV	Nach VSA [143] <10'000 EW: 569.8 * EW ^(-0.204) >10'000 EW: 1029.6 * EW ^(-0.28)
Betriebskosten EMV (PAK oder Ozon)	Abgeleitet aus HBT [58], FHNW [34] <6'000 EW: 20 CHF/EW/a <10'000 EW: 14 CHF/EW/a >10'000 EW: 6 CHF/EW/a
Betriebskosten EMV (Kombi)	Abgeleitet aus HBT [58], FHNW [34] <6'000 EW: 30 CHF/EW/a <10'000 EW: 21 CHF/EW/a >10'000 EW: 9 CHF/EW/a
Betriebskosten Rücklaufbehandlung	Annahme HBT 100'000 CHF + 0.05 CHF * EW
* Der Wiederbeschaffungswert wurde bei der Variante 0 und Variante 4 mit dem Faktor 0.65 verwendet, da ein Teil der ARA weiter genutzt werden kann.	

Die Investitionskosten für Instandstellung und Werterhalt wurden basierend auf Wiederbeschaffungswerten geschätzt. Der Wiederbeschaffungswert der ARA ist die Investition, die heute nötig wäre, um die ARA oder einzelne Verfahrensstufen für eine bestimmte Ausbaugrösse von Grund auf neu zu erstellen. Die Verfahrensstufen wurden in Kap. 6.5.1 beschrieben.

Die Wiederbeschaffungswerte wurden basierend auf vergleichbaren Projekten ermittelt. Da bei der Variante 0 und Variante 4 bereits Infrastruktur vorhanden ist, welche weiter genutzt werden kann, wurde der Wiederbeschaffungswert mit dem Faktor 0.65 verwendet. Die Teuerung wurde abhängig vom Baukostenindex mit einem Faktor 15 % berücksichtigt. Zudem wurde mit einem weiteren Faktor (30 %) die grösseren Beckenvolumen für die Denitrifikation berücksichtigt.

Die Betriebskosten ARA wurden abhängig vom Einwohnerwert nach VSA [143] ermittelt. Aufgrund der komplexen Verfahren wurden die höheren Betriebskosten berücksichtigt. Die Betriebskosten EMV wurden aus den Studien HBT [58] und FHNW [34] abgeleitet. Für Die Betriebskosten Rücklaufbehandlung wurde angenommen, dass ein konstanter Teil für den Betrieb und Wartung anfällt und dass der Strombedarf abhängig von der Dimensionierungsgrösse ist.

Umbau ARA / Pumpwerk

Für die Kostenschätzung Umbau ARA / Pumpwerk wurden folgende Grundlagen in Tabelle 42 verwendet.

Tabelle 42: Grundlagen Umbau ARA / Pumpwerk Kostenschätzung mit Genauigkeit +/- 30 %.

Parameter	Annahme
Investitionskosten:	Kennzahlen basierend auf vergleichbaren Projekten HBT
Betriebskosten	
Unterhalt Regenbecken / Rechen	Annahme alle 2 Wochen 2 Personen à 130 CHF à 0.5 Tage
Pumpkosten – Strompreis	15 Rp./kWh

Die Investitionskosten für den Umbau ARA wurden anhand Kennzahlen abgeschätzt.

Für den Unterhalt der Pumpwerke und Becken inkl. mechanischer Reinigung wurde angenommen, dass alle 2 Wochen 2 Personen für einen halben Tag die Pumpwerke und Becken warten.

Anschlussleitungen

Bei der Kostenschätzung für die Anschlussleitungen wurden die Grundlagen in Tabelle 43 verwendet.

Tabelle 43: Grundlagen Anschlussleitungen Kostenschätzung mit Genauigkeit +/- 30 %.

Parameter	Annahme
Investitionskosten:	Kennzahlen basierend auf vergleichbaren Projekten HBT
Betriebskosten	
Unterhalt Leitungen	Abgeleitet aus VSA [143]: <10'000 EW: 5 CHF/m*a >10'000 EW: 6 CHF/m*a >50'000 EW: 9 CHF/m*a

Die Investitionskosten für die Anschlussleitungen wurden basierend auf vergleichbaren Projekten HBT abgeschätzt. Die Betriebskosten Unterhalt Leitungen wurden aus VSA [143] abgeleitet.

7.4.6 Kostenschätzung

Eine Gesamtübersicht zur Kostenschätzung ist in der Beilage «Übersicht Kostenschätzung» ersichtlich. Die Investitions- und Betriebskosten für die Variante sind in Tabelle 44 bis Tabelle 47 zusammengestellt.

Variante 0

Tabelle 44: Übersicht Kostenschätzung Variante 0 mit Genauigkeit +/- 30 %.

ARA & Einzugsgebiete Region Greifensee Kostenschätzung +/- 30 %; exkl. MwSt.	Investitionskosten	Betriebskosten
Neubau / Ausbau ARA	450 Mio. CHF	16.9 Mio. CHF/a
Umbau ARA / Bau Pumpwerk		
Bau Anschlussleitungen		
Regenwasserbewirtschaftung «Schwammstadt»	302 Mio. CHF	6.5 Mio. CHF/a
Neubau / Ausbau zusätzliche Regenüberlaufbecken	88 Mio. CHF	
Bau und Betrieb Retentionsbodenfilter		

ARA & Einzugsgebiete Region Greifensee Kostenschätzung +/- 30 %; exkl. MwSt.	Investitionskosten	Betriebskosten
Massnahmen zur Reduktion Fremdwasser	39 Mio. CHF	
Bau und Betrieb Massnahmen Urinseparation		
Total	879 Mio. CHF	23.4 Mio. CHF/a

Variante 1

Tabelle 45: Übersicht Kostenschätzung Variante 1 mit Genauigkeit +/- 30 %.

ARA & Einzugsgebiete Region Greifensee Kostenschätzung +/- 30 %; exkl. MwSt.	Investitionskosten	Betriebskosten
Neubau / Ausbau ARA	380 Mio. CHF	9.8 Mio. CHF/a
Umbau ARA / Bau Pumpwerk	46 Mio. CHF	3.3 Mio. CHF/a
Bau Anschlussleitungen	264 Mio. CHF	0.2 Mio. CHF/a
Regenwasserbewirtschaftung «Schwammstadt»	152 Mio. CHF	3.4 Mio. CHF/a
Neubau / Ausbau zusätzliche Regenüberlaufbecken		
Bau und Betrieb Retentionsbodenfilter	50 Mio. CHF	0.1 Mio. CHF/a
Massnahmen zur Reduktion Fremdwasser	31 Mio. CHF	
Bau und Betrieb Massnahmen Urinseparation		
Total	923 Mio. CHF	16.8 Mio. CHF/a

Variante 2

Tabelle 46: Übersicht Kostenschätzung Variante 2 mit Genauigkeit +/- 30 %.

ARA & Einzugsgebiete Region Greifensee Kostenschätzung +/- 30 %; exkl. MwSt.	Investitionskosten	Betriebskosten
Neubau / Ausbau ARA	450 Mio. CHF	12 Mio. CHF/a
Umbau ARA / Bau Pumpwerk	31 Mio. CHF	2.6 Mio. CHF/a
Bau Anschlussleitungen	152 Mio. CHF	0.2 Mio. CHF/a
Regenwasserbewirtschaftung «Schwammstadt»	195 Mio. CHF	4.2 Mio. CHF/a
Neubau / Ausbau zusätzliche Regenüberlaufbecken		
Bau und Betrieb Retentionsbodenfilter	44 Mio. CHF	0.1 Mio. CHF/a
Massnahmen zur Reduktion Fremdwasser	31 Mio. CHF	
Bau und Betrieb Massnahmen Urinseparation		
Total	903 Mio. CHF	19.0 Mio. CHF/a

Variante 4

Tabelle 47: Übersicht Kostenschätzung Variante 4 mit Genauigkeit +/- 30 %.

ARA & Einzugsgebiete Region Greifensee Kostenschätzung +/- 30 %; exkl. MwSt.	Investitionskosten	Betriebskosten
Neubau / Ausbau ARA	450 Mio. CHF	14.8 Mio. CHF/a
Umbau ARA / Bau Pumpwerk	17 Mio. CHF	0.4 Mio. CHF/a
Bau Anschlussleitungen	48 Mio. CHF	0.1 Mio. CHF/a
Regenwasserbewirtschaftung «Schwammstadt»	195 Mio. CHF	4.2 Mio. CHF/a
Neubau / Ausbau zusätzliche Regenüberlaufbecken	12 Mio. CHF	
Bau und Betrieb Retentionsbodenfilter	44 Mio. CHF	0.1 Mio. CHF/a
Massnahmen zur Reduktion Fremdwasser	31 Mio. CHF	
Bau und Betrieb Massnahmen Urinseparation	90 Mio. CHF	2.2 Mio. CHF/a
Total	887 Mio. CHF	21.7 Mio. CHF/a

7.5 Unsicherheitsbetrachtung und Sensitivitätsanalyse

7.5.1 Allgemeine Hinweise

Die Arbeit mit (Mess-)Daten, Annahmen, Prognosewerten und Modellen führt immer zu Unsicherheiten in den Resultaten. Diese können sich gegenseitig verstärken oder kompensieren und müssen bei späteren Planungen von Abwasserinfrastrukturen berücksichtigt werden [75].

Wenn bekannt, können diese Unsicherheiten quantifiziert werden. Wo dies nicht (einfach) möglich ist, z. B. weil wie im vorliegenden Fall zu viele Informationsquellen, komplexe sowie nichtlineare Modelle zum Einsatz kommen und unbekannte Unsicherheiten in den Daten vorliegen, können alternativ u. a. der Einsatz von Szenarien [47][83] oder/und Sensitivitätsanalysen [47][52] zur Anwendung kommen. Beide Ansätze helfen, die Auswirkungen variabler Randbedingungen sowie veränderter Annahmen auf die Modellergebnisse abzuschätzen. In der vorliegenden Studie konnten einige Unsicherheiten mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse betrachtet und quantifiziert werden (Kap. 7.5.2). Wo dies nicht möglich war, wurden qualitative Einschätzungen in den nachfolgenden Unterkapiteln ergänzt (Kap. 7.5.3 bis 7.5.7). Die vorgestellten Erkenntnisse aus der Unsicherheits-/Sensitivitätsbetrachtung sind projekt- und einzugsgebietsspezifisch. Sie können nicht ohne Weiteres generalisiert und auf andere Projekte/Einzugsgebiete übertragen werden. Sie sind aber gute Indikatoren, dass bei ähnlichen Fragestellungen und methodischem Vorgehen auch in anderen EZG die gleichen Sensitivitätsparameter relevant sind. Wo aus anderen Projekten vergleichbare Erkenntnisse bekannt sind, wurden Referenzen angegeben.

Die hier ermittelten Resultate unterliegen alle verschiedenen Unsicherheiten. Typischerweise werden neben dem Erwartungswert des Ergebnisses zusätzlich Konfidenzintervalle nach oben und unten angegeben. Das bedeutet, die ermittelten Resultate liegen nicht als definitive Zahl vor, sondern bewegen sich innerhalb einer Spannbreite von ähnlich wahrscheinlichen Ergebnissen. Auf diese Darstellungsart wurde in der vorliegenden Studie verzichtet, da die detaillierte Berechnung aller Unsicherheiten den vorgesehenen Projektrahmen überstiegen hätte – ohne zusätzlichen Genauigkeitswert auf der aktuellen «Flughöhe» hinsichtlich der Aussagekraft der Ergebnisse bereitzustellen. Dennoch gilt, dass die präsentierten Resultate nicht als «exakte» Ergebnisse interpretiert werden dürfen, sondern als aktuell bestmögliche Abschätzungen (z. B. P-Emissionen, Kap. 7.1).

Für die Kostenschätzungen auf Basis der Grobprojektierungen wurden typische Vorgehensweisen angewendet (Kap. 7.4). Die Kostenungenauigkeiten sind mit einer Spannbreite von «+/-30 %» angegeben.

Aufgrund der unsicheren Ausgangsdatenlage sollten diese Spannbreiten als «bestenfalls +/-30 %» interpretiert werden.

7.5.2 Sensitivität Modellparameter Langzeitsimulation

Sensitivitätsanalysen werden genutzt, um die mögliche Bandbreite von Resultaten zu ermitteln, wenn sich die Eingangsdaten und/oder Modellparameter um zuvor definierte Grössenordnungen verändern. Sie helfen herauszufinden, wo der Einsatz z. B. von zusätzlichen Messungen oder Abklärungen am effektivsten ist, um Risiken in den Resultaten zu verringern und so die Belastbarkeit von Aussagen zu erhöhen.

Sensitivitätsanalyse «Regionale Abwasserentsorgung Greifensee»

Im Projekt RAG wurden insgesamt Sensitivitätsanalysen für 16 Modellparameter mit jeweils variierenden Parameterwerten durchgeführt. Die Sensitivitätsanalysen wurden spezifisch für jedes ARA-EZG durchgeführt. Nachfolgend finden sich die zusammengefassten Ergebnisse dargestellt in Abbildung 33 und erläutert in Tabelle 48.

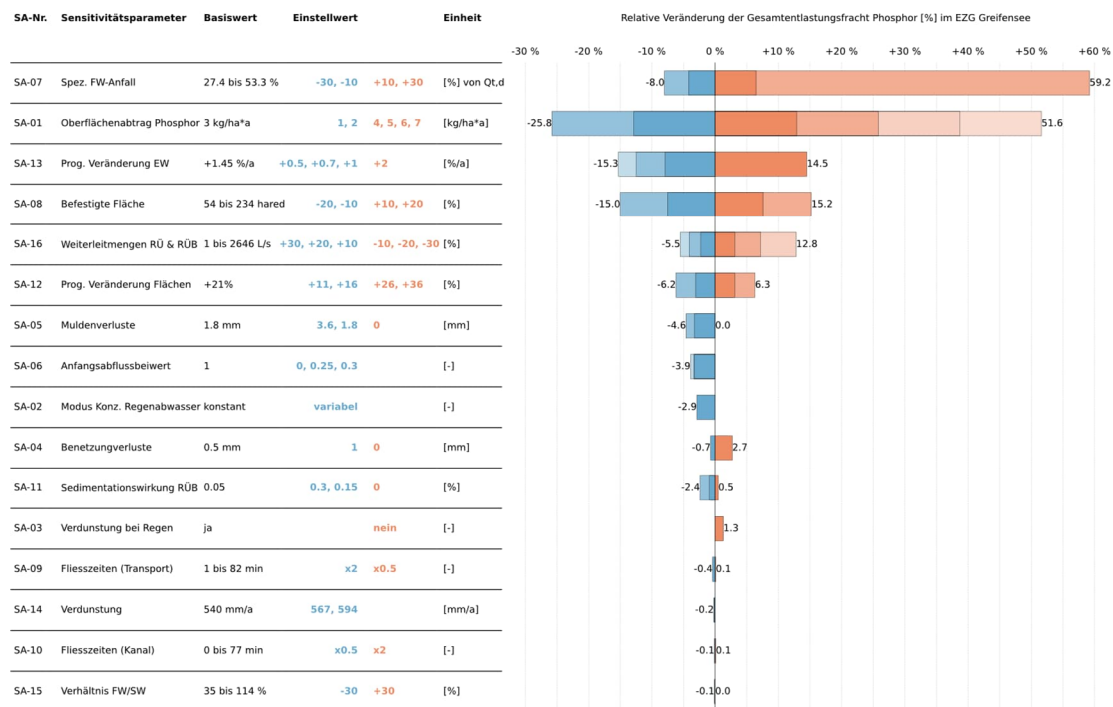


Abbildung 33: Resultate der 16 Sensitivitätsanalysen absteigend geordnet nach ihrem Einfluss auf die Gesamtentlastungsfracht Phosphor aus dem Siedlungsgebiet. Der Basiswert entspricht den für die Variantenbetrachtung gewähltem Einstellwert in den Modellen. Rote Balken: Zunahme der P-Gesamtentlastungsfracht ins Gewässer (= «negativ») bei Verschlechterung des Einstellwerts des jeweiligen Sensitivitätsparameters. Blaue Balken: Abnahme der P-Gesamtentlastungsfracht (= «positiv») bei Verbesserung des Einstellwerts des jeweiligen Sensitivitätsparameters.

Tabelle 48: Kurzauswertung der 16 Sensitivitätsanalysen. Die Sensitivitätsanalysen wurden in der Tabelle in Anlehnung an die Reihenfolge in Abbildung 33 nach absteigender Sensitivität geordnet.

SA-Nr.	Modellparameter	Sensitivität / Relevanz
SA-07	Veränderung des spezif. Fremdwasseranfalls in Relation zum Trockenwetterabfluss	Der Fremdwasseranteil [% von $Q_{t,d}$] kann sinken oder steigen (Veränderung spezifischer Fremdwasserzuschlag) und zeigt dabei eine sehr hohe, nicht lineare Sensitivität insbesondere in negativer Hinsicht. Eine Unterschätzung des Werts hätte eine 6x grössere Folge als eine Überschätzung (-8 % vs. +60 %). Die hohe, negative Sensitivität des Fremdwassers ist vermutlich nicht für jedes ARA-EZG gleich hoch (dieser Aspekt wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht detaillierter untersucht). Stattdessen werden wahrscheinlich einzelne ARA-EZG mit geringen hydraulischen Kapazitäten und in Relation dazu hohen Fremdwassermengen den Ausschlag geben. Nehmen die Fremdwassermengen in solchen ARA-EZG zu, führt dies schnell zu einer Kapazitätsüberlastung und in der Folge zu häufigeren und längeren MW-Entlastungen sowie einem kontinuierlichen, höheren ARA-Ablauf (Restbelastung des gereinigten Abwassers). Eine genaue Kenntnis zu den Wasserverbrauchs- und Fremdwassermengen im EZG Greifensee ist somit von hoher Relevanz, um die P-Emissionen verlässlich zu modellieren und nicht zu unterschätzen (Kap. 7.5.5).
SA-01	Oberflächenabtrag Phosphor	Der Oberflächenabtrag Phosphor musste aufgrund fehlender Messdaten und Grundlageninformationen auf Basis von Fachliteratur abgeschätzt werden (Kap. 4.7). Dieser Modellparameter zeigte eine sehr hohe Sensitivität und ist gemessen an der Schwankungsbreite in positiver und negativer Richtung der sensitivste Parameter im Modell (-26 % bis +52 %). Da der Wert auch in der Fachliteratur breit schwankend angegeben wurde [29], wird es schwierig, genauere Werte ohne begleitende Messkampagnen im EZG Greifensee abzuschätzen. Die SA zeigt aber, dass verlässlichere Informationen zum Oberflächenabtrag von Phosphor für verschiedene Nutzungsarten) sehr relevant sind, da der Modellparameter Einfluss auf die P-Emissionen aus ARA, TS und MW hat.
SA-13	Veränderung der Einwohnerwerte EW	Die bestehenden Einwohnerwerte wurden auf Basis z. T. unsicherer/veralteter GEP-Angaben ermittelt und die prognostizierte Veränderung der EW wurde konservativ abgeschätzt (Kap. 4.4). Die SA zeigt, dass es sich um einen sensitiven Modellparameter handelt, der in positive und negative Richtung direkten, linearen Einfluss auf die P-Emissionen haben kann (+/-15 %).
SA-08	Veränderung der befestigten, abflusswirksamen Fläche F_{red}	Die bestehenden, abflusswirksamen Flächen wurden auf Basis z. T. unsicherer/veralteter GEP-Angaben ermittelt (Kap. 4.4). Die SA zeigt, dass es sich um einen sensitiven Modellparameter handelt, der in positive und negative Richtung direkten, linearen Einfluss auf die P-Emissionen haben kann (+/-15 %).
SA-16	Weiterleitmengen Q_{ab} an RÜ und RÜB	Die an den Sonderbauwerken (SBW) eingestellten Weiterleitmengen wurden auf Basis von GEP- und Betriebsdaten erfasst. Die Resultate der SA zeigen, dass es sich um einen sensitiven Parameter handelt, der insbesondere bei einer Unterschätzung der Weiterleitmengen in negativer Hinsicht nicht-lineare Verschlechterungen bewirkt. Die tatsächlich eingestellten Weiterleitmengen sind im Vgl. zu anderen Modellparametern gut ermittelbare/kontrollierbare Eigenschaften der SBW und stellen einen verhältnismässig geringen Aufwand dar.

SA-Nr.	Modellparameter	Sensitivität / Relevanz
SA-12	Veränderung des prognostizierten Anstiegs abflusswirksamer Flächen	Die Interpretation der Resultate der SA sind analog zu SA-08. Die prognostizierte Veränderung der F_{red} wurde auf Basis bestmöglicher Abwägungen vorhandener GIS-Daten zu Bau- und Reservezonen und Möglichkeiten zur Innenverdichtung abgeschätzt (Kap. 4.4). Der Parameter ist in positiver und negativer Hinsicht gleich sensitiv.
SA-05	Muldenverluste (Hinweis: Für die Einstellwerte «1.8» und «3.6» wurde im Modell zusätzlich der Parameter «Anfangsabflussbeiwert» von «1.0» auf «0.3» verändert.)	Im Modell wurde mit einer konservativen Herangehensweise gearbeitet, sodass die Muldenverluste für die Simulationen de facto deaktiviert wurden (Kap. 5.1.1). Der Parameter ist moderat sensitiv; er zeigt aber, dass eine gute Abschätzung der Muldenverluste bis rund 5 % weniger P-Emissionen bedeuten kann. Für die «Flughöhe» der EZG-weiten Untersuchung kann bei Bedarf auf den Standardwert (1.8 mm) zurückgegriffen werden. Es ergibt kaum bis keinen Sinn, auf Ebene EZG bessere Werte für die Muldenverluste messtechnisch zu bestimmen; diese Möglichkeit besteht bei kleinräumigen, objekt-/liegenschaftsbezogenen Betrachtungen (mutmasslich sind die verbesserten Erkenntnisse gegenüber der Standardannahme auch dann gering).
SA-06	Anfangsabflussbeiwert	Dieser Modellparameter hat einen direkten Einfluss auf die Abflussbildung und die Muldenverluste (vgl. SA-05 und Kap. 5.1.1). Er wurde im Modell konservativ/schlechtestmöglich angenommen und hat daher moderates Potenzial, bei etwas realistischeren Einstellung geringfügig die P-Emissionswerte im Modell zu verringern.
SA-02	Modus Schmutzstoffkonzentration im Regenabwasser	Der Modellparameter stellt eine konzeptionelle Übertragung realistischer Akkumulations-Abtrags-Prozesse auf das Modellgeschehen dar. In der Studie wurden die Akkumulations-Abtrags-Prozesse vereinfacht angenommen: jeder Liter Regenabwasser in einem Simulationsjahr enthält die gleiche Stofffrachtkonzentration. Es wurde eine konstante P-Abtragsfracht $[kg_P/(ha \cdot a)]$ definiert. Die Konzentration im Regenwasser ist damit nur abhängig von der jährlichen Niederschlagsmenge in einem Simulationsjahr (Kap. 4.7/5). Der Modus «variabel» ist realitätsnaher, zeigt jedoch nur eine geringe Sensitivität – allerdings im positiven Sinne.
SA-04	Benetzungsverluste	Die Anpassung des konzeptionellen Modellparameters Benetzungsverluste hat einen gering sensitiven Einfluss auf die P-Emissionen, allerdings einen stärkeren Einfluss in negativer als in positiver Hinsicht. Aufgrund der geringen Sensitivität ergibt es kaum bis keinen Sinn, auf Ebene EZG bessere Werte für die Benetzungsverluste messtechnisch zu bestimmen.
SA-11	Sedimentationswirkung in Regenüberlaufbecken RÜB	Für die Sedimentation und damit die Abscheideleistung partikulärer Phosphorfrachten in RÜB wurde ein geringer Wert angenommen (5 % Abscheidewirkung in Bezug auf die zwischengespeicherte Zulauftracht). Der Parameter reagiert im realistischen Bereich für Abscheideleistungen gering sensitiv. Tiefergehende Analysen/Messkampagnen zur Verbesserung des Standardparameterwerts lohnen sich nicht.
SA-03	Verdunstung bei Regen	Die Verdunstung bei Regen wurde – im Vergleich zu anderen Modellparametern – nicht konservativ, sondern realistisch eingestellt (Verdunstung aktiv auch bei Regen). Die SA zeigt eine minimale Verschlechterungsmöglichkeit der P-Emissionen (+1.3 %), wenn die Verdunstung deaktiviert wird. Der Modellparameter ist nicht sensitiv und für die Unsicherheitsbetrachtung nicht relevant.

SA-Nr.	Modellparameter	Sensitivität / Relevanz
SA-09	Fliesszeiten (Transportleitungen KO-SIM)	Der Modellparameter ist nicht sensitiv und für die Unsicherheitsbetrachtung nicht relevant.
SA-14	Jährliche Verdunstungsmenge	Der Modellparameter ist nicht sensitiv für die im EZG Greifensee angenommenen Variationen der jährlichen Verdunstungsmenge und daher für die Unsicherheitsbetrachtung nicht relevant.
SA-10	Fliesszeiten (Kanalisation in TEZG im KOSIM)	Der Modellparameter ist nicht sensitiv und für die Unsicherheitsbetrachtung nicht relevant.
SA-15	Verhältnis FW/SW an Qt,d (Fremdwasseranteil FWA am Trockenwetterabfluss)	Der Modellparameter ist nicht sensitiv und für die Unsicherheitsbetrachtung nicht relevant. (Im Vergleich zur SA-07 handelt es sich nur um eine Verschiebung der anteiligen Verteilung zwischen Schmutz- und Fremdwasser im KOSIM ohne Veränderung der absoluten Abflussmengen.)

Kurzfasit Sensitivitätsanalysen (SA):

- Die Sensitivitätsanalysen haben gezeigt, dass es im verwendeten Einzugsgebietsmodell einige sehr sensitive Parameter gibt. Für diese Modellparameter würden die Durchführung von faktenliefernden Messkampagnen oder/und die Ausarbeitung besserer Datengrundlagen dabei helfen, die Risiken einer Falschabschätzung der P-Emissionen deutlich zu mindern.
- Trotz der im Projekt bereits konservativ definierten Annahmen, zeigt das Gesamtbild der SA eine mehrheitliche Sensitivität in negativer Richtung, d. h. Verschlechterungen von Bedingungen im EZG können deutlich mehr zum Anstieg der P-Emission beitragen als Verbesserungen zu einer Reduktion führen würden.
- Das Modell reagiert sehr sensibel auf veränderte Fremdwassermengen, insbesondere in negativer Hinsicht. Für die Praxis heisst das, dass eine genaue Kenntnis der Wasserverbrauchs- und Fremdwasserzahlen im EZG sinnvoll und nötig ist. Zudem zeigt die SA-07 klar, dass steigende Fremdwassermengen im EZG unbedingt verhindert werden müssen, da sie zu einem nicht-linearen Anstieg der P-Emissionen führen würden.
- Der Oberflächenabtrag Phosphor ist der wichtigste Modellparameter, für den bessere Daten/Informationen vorteilhaft sein würden. Die P-Fracht aus Oberflächenabtrag ist hauptsächlich durch die getroffene Annahme der Abtragsrate und die abflusswirksamen Flächen bestimmt (s. u.). Da der P-Oberflächenabtrag abhängig von Flächenart und -nutzung ist, können kleinräumige Flächenanalyse zur besseren Aufschlüsselung der abflusswirksamen Flächen im EZG beitragen. Gleichzeitig existieren in der Fachliteratur grosse Bandbreite für die oberflächenspezifischen P-Abtragsraten. Diese können für das EZG Greifensee voraussichtlich nur durch einzelne Messkampagnen versuchsweise repräsentativ bestimmt werden.
- Das Modell und damit die P-Emissionen aus Siedlungsgebieten reagieren sensitiv und direkt auf Veränderungen bei Einwohnerwerten (EW, SA-13) und abflusswirksamen Flächen (F_{red} , SA-08/SA-12). Es lohnt sich daher, einerseits sehr gute Ausgangsdaten für den Ist-Zustand zu erarbeiten (z. B. kleinräumige Einwohnerzahlen, Abwassermengen aus Gewerbe und Industrie, Flächendaten aus der Amtlichen Vermessung) und andererseits die tatsächliche Zukunftsentwicklung der EW und F_{red} in regelmässigen Abständen kleinräumig und flächendeckend im EZG Greifensee nachzuführen. So kann die tatsächliche Entwicklung dieser beiden relevanten Modellparameter möglichst genau abgebildet werden. Gute Flächenangaben wirken doppelt unsicherheitsreduzierend: in Bezug auf das tatsächlich zum Abfluss kommende, hydraulische Volumen sowie die von Oberflächen abgetragene P-Fracht (SA-01). Für weitere Aspekte zu GEP-Daten in Bezug auf EW- und F_{red} -Angaben siehe Kap. 7.5.3.

- Als Einzelparameter zeigten die Modellparameter der SA-05, SA-06, SA-02, SA-04 und SA-11 nur eine geringe bis höchstens moderate Sensitivität. Ihre gewählten Basiswerte sind Ausdruck der konservativen Herangehensweise bei der Modellierung im Projekt RAG (Kap. 4.1). Im Zusammenhang mit den SA zeigen diese Modellparameter, dass ihre Parameteranpassungen hin zu praxisüblicheren weniger konservativen Annahmen durchweg zu einer Verringerung der P-Emissionen in der Simulation führen würden. In Summe handelt es sich um einen Beitrag von rund -10 % der P-Gesamtemissionen, die diese Modellparameter auf das Endergebnis ausmachen könnten. Insgesamt spricht diese Erkenntnis dafür, dass der gewählte konservative Ansatz wie geplant inhärente Reserven bei der Massnahmenplanung erzeugt hat und keine zusätzlichen Sicherheitsreserven auf EZG-Betrachtungsebene hinzugefügt werden müssen.

7.5.3 Belastbarkeit ARA- und GEP-Daten

GEP-Daten

Die Sensitivitätsanalysen SA-08 und SA-13 zeigten, dass die (un-)genaue Identifikation der abflusswirksamen Flächen und der Einwohnerwerte (Ist- sowie Prognose-Zustand) erheblichen Einfluss im positiven, wie im negativen Sinne auf die P-Gesamtemissionen haben (vgl. Abbildung 33 in Kap. 7.5.2). Insbesondere die Relevanz genauer Flächenerfassungen wurde auch schon in anderen Studien zu hydrologischen Modellen bestätigt [122][123]. Daraus folgt, dass eine möglichst genaue Bestimmung dieser Parameter wertvoll für die Robustheit der erzielten Studienergebnisse und späterer Massnahmenplanungen ist.

Die Daten- und Informationsbasis für die abflusswirksamen Flächen und Einwohnerwerte wird massgeblich durch aktuelle, detailliert und gründlich ausgearbeitete GEP-Unterlagen bestimmt. Im vorliegenden Projekt musste die Datenbasis in einigen Fällen klar als «unsicher» eingeschätzt werden. Grund dafür sind die teilweise alten bis sehr alten GEP (vgl. Tabelle 4 in Kap. 4.3.1). Diese entsprachen nicht mehr vollumfänglich den heutigen Anforderungen an die Detailtiefe dieser Planungsinstrumente. Zudem musste angezweifelt werden, dass sie aufgrund ihres Alters – und mangels alternativer Informationsquellen zur Verifikation der vorhandenen Angaben – insbesondere im Hinblick auf die abflusswirksamen Flächen und Einwohnerwerte nicht mehr die tatsächlichen Vor-Ort-Bedingungen repräsentieren (z. B. GEP Hinwil: Listenrechnung mit Abflussbeiwerten basierend auf ursprünglichen Angaben aus dem Jahr 1978).

Um die Risiken für zu grosse/zu kleine Massnahmenplanungen und Fehlinvestitionen für die Zukunft zu verringern, lohnt es sich für die Gemeinden und Städte im EZG Greifensee, in gute GEP und GEP-Daten zu investieren. Diese Aktivitäten erzeugen keine zusätzlichen Kosten, die aus dem RAG-Projekt resultieren, da die Aktualisierung und Nachführung dieser wichtigen Planungsinstrumente für alle Gemeinden eine Ohnehin-Aufgabe darstellt. Im spezifischen Fall des EZG Greifensee haben die GEP und V-GEP damit aber deutliche Mehrwerte: z. B. können aktuelle GEP-Angaben für die Nachführung der Gewässerschutzmodelle und damit für die langfristige Überprüfung und das Monitoring des Fortschritts bei der Reduktion der P-Emissionen genutzt werden.

ARA-Betriebsdaten

Für die vorliegende Studie wurden die Tagesmittelwerte der Betriebsdaten aus den Jahren 2021 und 2022 herangezogen. Für die nächste Projektphase wird empfohlen, zur Dimensionierung der ARA einen längeren Auswertungszeitraum zu berücksichtigen. Dadurch kann gewährleistet werden, dass einzelne hydrologisch «nasse» oder «trockene» Jahre das Ergebnis nicht unverhältnismässig beeinflussen und eine robustere Datengrundlage für die Auslegung entsteht.

Einzugsgebiet ARA Wetzikon

Für das Einzugsgebiet der ARA Wetzikon konnten die EW-spezifischen P-Frachten nicht final, d. h. nur unsicher abgeklärt werden (Kap. 4.6, Tabelle 12). Im Modell wurden die Einstellungen daher so gewählt,

dass die Eingangsdaten der Messungen im Ablauf des Vorklärbeckens verwendet wurden und die Ablaufwerte der ARA Wetzikon im Modell mit denen in der Realität gemessenen übereinstimmen (Kap. 4.6, Tabelle 14).

Bei der «Rückrechnung» auf die EW-spezifischen P-Frachten können dadurch jedoch grössere Unsicherheiten aufgetreten sein, als bisher identifiziert. Aufgrund der gewählten Anpassungen im Modell hätten diese Unsicherheiten einen nur geringen Einfluss auf die P-Emissionen im Ablauf der ARA Wetzikon (minimal höher als bisher). Gleichzeitig könnte aber die EW-spezifische P-Fracht im EZG ARA Wetzikon unterschätzt worden sein, d. h. die in der Kanalisation im Schmutzabwasser befindliche Fracht weicht ab. In diesem Fall sind die entlasteten Mischabwassermengen und damit P-Emissionen aus Mischabwasser (MW) höher als in den Resultaten identifiziert.

Hinzu kommt, dass für das EZG Wetzikon inkl. Bäretswil und inkl. Seegräben nur noch ältere und mittlerweile offensichtlich nicht mehr aktuelle GEP-Daten zur Verfügung standen (Kap. 4.3.1, Tabelle 4), wodurch die abflusswirksamen Flächen F_{red} und die tatsächlichen Einwohnerwerte im ARA-EZG ebenfalls unsicher sind. Im Projektverlauf wurden zudem unklare Fliesswege identifiziert, für die sich bei genauer Recherche zeigte, dass die tatsächlichen Fliesspfade nicht mit den technischen Informationen im Werkkataster übereinstimmen konnten (z. B. wurde in einem relevanten Teileinzugsgebiet Mischabwasser in Richtung ARA abgeleitet in einer Leitung, die im Werkkataster nur für Schmutzabwasser deklariert ist). Diese hatten erheblichen Einfluss und führten zu einem Wechsel der Hauptfliesspfade der Mischabwassermengen zwischen zwei Sonderbauwerken mit entsprechenden Änderungen bei den P-Emissionen aus MW.

Insgesamt bedeutet dies für das EZG ARA Wetzikon unsichere Ergebnisse im Vergleich zu den anderen ARA-EZG. Eine Verbesserung der Erkenntnislage kann gelingen, wenn sowohl die Werkkatasterinformationen auf Aktualität und Korrektheit geprüft sowie aktuelle GEP-Daten für das gesamte EZG ARA Wetzikon erarbeitet werden. Diese aktualisierten Grundlagendaten können im Anschluss mit den Modelleinstellungen für den Ist-Zustand im Projekt RAG abgeglichen werden, um einzuschätzen, wie gross/unsicher die Unterschiede in den bisherigen und den aktualisierten Daten sind.

7.5.4 Niederschlagsdaten

Zusätzliche Niederschlagsinformationen

Die verwendete, 22-jährige Niederschlagsserie Mönchaltorf bildet eine gute und robuste Ausgangslage. Um noch verlässlichere Aussagen aus Langzeitsimulationen und hydrodynamischen Simulationen zu erhalten, werden Regenserien mit einer Dauer von 30 Jahren oder mehr empfohlen [21]. Aktuell liegen im EZG Greifensee so lange Regenzeitreihen mit der notwendigen Messdatenauflösung noch nicht vor. Ändert sich dies in Zukunft, können die längeren Regenserien für zukünftige Simulationen verwendet werden. Wahrscheinlich werden die bereits erhaltenen Ergebnisse sich nicht stark durch eine längere Regenzeitreihe verändern (Ausnahme: Klimawandeleinfluss, s. u.) – der Einfluss anderer Unsicherheitsparameter (s. o.) wird einen relevanteren Einfluss haben.

Für die RAG-Studie wurden Niederschlagsdaten einer Messstation im EZG verwendet (Mönchaltorf); es existieren im EZG Greifensee jedoch noch weitere Messstandorte (Kap. 4.10.4). Zusätzlich könnten zeitlich-räumlich hochaufgelöste Radarregendaten zur Verfügung stehen. Für die regionale Betrachtung der Phosphoremissionen ist das bisherige Vorgehen gut geeignet, da von einer gleichmässigen Überregnung und damit tendenziell von einer höheren Niederschlagsmenge ausgegangen wird als beobachtet wurde (konservative Annahme).

Die Verwendung von Niederschlagsdaten weiterer Messstationen ist relevant für spätere Betrachtungen auf kleinräumigerer Ebene, z. B. im Rahmen der Standort- und Dimensionierungsplanung von Sonderbauwerken sowie der Potenzialprüfung dynamischer Netzbewirtschaftungen und der Validierung von Kanalnetzmodellen [20]. Im Rahmen einer Unsicherheitsbetrachtung kann der Einfluss der Verwendung von Regendaten mehrerer Messstationen an verteilten Standorten genauer untersucht werden (bedingt vorgängig eine distanz- und raumäquivalente Zuordnung der TEZG der SBW zu den Messstandorten).

Zum Einfluss der Wahl unterschiedlicher Regendatenstandorte und Regendatenarten auf die Planung von Abwassersystemen liegen national und international zahlreiche Untersuchungen vor, auf die hier nicht vertieft eingegangen wird.

Verändertes Niederschlagsverhalten

In der RAG-Studie wurden keine synthetischen Niederschlagsdaten verwendet und auch keine gezielten Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses des Klimawandels auf das Niederschlagsregime vorgenommen (Kap. 4.10.2). Die Grösse des Einflusses des zukünftigen Niederschlags im EZG Greifensee auf den Gewässerschutz ist aktuell unsicher. Eine Abschätzung des Einflusses kann ohne detailliertere Betrachtung nicht angegeben werden, da Pauschalaussagen zu einem überschätzten Investitionsbedarf führen können [13][132].

Ein verändertes Niederschlagsverhalten kann negativen Einfluss auf den Gewässerschutz haben, z. B. durch mehr Mischabwasserentlastungen aufgrund häufigerer Starkregen und ein verändertes Akkumulations- und Abtragsverhalten von Schmutzstoffen auf Oberflächen und in der Kanalisation durch längere Trockenperioden (Kap. 7.5.3). Es kann dazu führen, dass andere/mehr/grössere Massnahmen für die Erreichung der Gewässerschutzziele notwendig werden, als sie im Vergleich mit der bisher beobachteten Niederschlags historie nötig gewesen wären. Betroffen sind sowohl Misch- als auch Trennsysteme.

Der Einfluss des Klimawandels kann auf Studienebene durch Verwendung synthetischer Regenserien auf Basis verschiedener Klimaszenarien mitberücksichtigt werden. Insbesondere bei der späteren Objektplanung von notwendigen Massnahmen im Einzugsgebiet müssen die Auswirkungen verschiedener Klimawandelszenarien im Einzelnen betrachtet und bei Dimensionierung und Betrieb berücksichtigt werden.

Das Ziel von Detailabklärungen muss sein, Kenntnis über die Relevanz des klimawandelbedingten Niederschlags im EZG Greifensee zu erhalten und dadurch das Risiko von Fehlinvestitionen in die Abwasserinfrastrukturen zu verringern (z. B. unzureichend ausgebaute Sonderbauwerke). Werden zu einem späteren Zeitpunkt genauere Untersuchungen durchgeführt, sollten folgende Fragen im Fokus stehen:

- (1) Wie gross ist der Einfluss eines klimawandelbedingt veränderten Niederschlagsregimes auf den Gewässerschutz hinsichtlich der Emissionsmengen von Phosphor (und weiterer Schmutzstoffe)?
- (2) Welchen Anteil besitzt der Niederschlagseinfluss auf die Emissionen im Vergleich zu den Prozessen im Siedlungsraum (v. a. Wachstum Einwohnerwerte und Flächen)? Welcher Prozess ist massgebend im Hinblick auf die Gestaltung der Gewässerschutzmassnahmen?
- (3) Ergibt sich aus den Antworten zu (1) und (2) ein Handlungsbedarf hinsichtlich der geplanten Massnahmen? Falls ja, bei welchen Abwassersystemen wo und wieviel (Misch-/Trennsystem, spezifische ARA-EZG)?
- (4) Können die Auswirkungen des veränderten Niederschlagsregimes nur durch konstruktive/bauliche Massnahmen gemindert/vermieden werden oder kann ihnen auch durch betriebliche Massnahmen ausreichend gut begegnet werden (z. B. dynamische Netzbewirtschaftung Sonderbauwerke, angepasste Unterhaltskonzepte zur regelmässigen Reinigung stoffakkumulierender Verkehrsflächen/Oberflächen)?

7.5.5 Belastbarkeit Fremdwassereinfluss

In Kap. 7.5.2 wurde für Fremdwasser eine hohe, insbesondere negativ wirkende Sensitivität aufgezeigt (Abbildung 33, «SA-07»). Wie in Tabelle 48 dargestellt, tragen vermutlich nicht alle, sondern nur einzelne ARA-EZG aufgrund unzureichender hydraulischer Kapazitäten (relevant v. a. für die MW-Entlastungen) bei einem Anstieg der Fremdwassermenge um 30 % sehr stark zu den hohen Sensitivitäten bei.

Einerseits lohnt es sich damit, vor einer Umsetzung von Massnahmen zur Fremdwasserreduktion die spezifische Verortung von FW-Quellen genauer abzuklären. Unter Berücksichtigung der unsicheren Belastbarkeit der GEP-Ausgangsdaten auch für Fremdwasser (Kap. 7.5.3) ist es andererseits sinnvoll, aktuelle und regelmässig nachgeführte Daten zum Fremdwasseraufkommen in jedem ARA-EZG zu ermitteln und diese im bestehenden Modell nachzuführen – bevor Investitionen in Reduktionsmassnahmen getätigt werden.

Dynamischer Fremdwasseranfall: Hinzu kommt, dass in der vorliegenden Studie das Fremdwasseraufkommen einzugsgebietsspezifisch, aber statisch berücksichtigt wurde (= GEP-basierter Anteil am Trockenwetteranfall als konstanter Abfluss; Kap. 4.5). Nicht berücksichtigt wurden bisher die Effekte aus Tagesgängen (Kap. 4.9) und saisonalen Dynamiken, die sich z. B. aus Schneeschmelzen, variierenden Grundwasserständen und niederschlagsabhängigem Fremdwasser ergeben (Drainage- und Sickerleitungen auf Liegenschaften und auf Landwirtschafts- sowie Meliorationsflächen).

Je nach ARA-EZG können diese Einflüsse relevant oder vernachlässigbar sein (in der vorliegenden Studie nicht detailliert untersucht). Mutmasslich sind die dynamischen Einflüsse relevanter in Gebieten mit hohem Fremdwasseraufkommen, da hier das Fremdwasser einen massgeblichen Teil des Trockenwetterabflusses ausmacht. Vor dem Hintergrund der nicht geringen Kosten für Massnahmen zur Fremdwasserreduktion (s. u. und Kap. 7.4.4/7.4.6) kann es sich lohnen, die Relevanz der Dynamik des Fremdwasseraufkommens im Hinblick auf die P-Emissionen genauer zu untersuchen. Dazu könnten die P-Emissionen für mehrere Szenarien und für jedes ARA-EZG im Modell betrachtet werden. Untersucht werden können dann der Einfluss a) unterschiedlicher Fremdwassermengen, b) aus hauptsächlich kontinuierlichem (= Punktquellen) oder diskontinuierlichem (= niederschlagsgetrieben) Fremdwasseranfall, c) unterschiedlicher Herkunftsorte und d) von saisonalen Dynamiken (z. B. aufgrund schwankender Grundwasserpegel; niederschlagsarme/-reiche Jahre).

P-Belastung im Fremdwasser: Bewusst nicht berücksichtigt wurde in der vorliegenden Studie die Möglichkeit, dass auch Fremdwasser eine Phosphorbelastung in das Abwassersystem einbringen kann (aktuell: 0.0 mg/l). Fremdwasser kann Phosphor in Misch- und Trennsysteme eintragen z. B. durch undichte Leitungen und Verbindungen in Form von infiltrierendem Grundwasser Phosphor oder als in der Kanalisation abfliessendes Meliorationswasser. Phosphor im Grundwasser resultiert aus der Rücklösung aus dem Boden. Dieser kann natürlicherweise vorliegen (geogen bedingt) oder durch landwirtschaftliche Bodennutzung (Düngung) in erhöhten Mengen vorliegen. Da sich die Quantifizierung des P-Eintrags aus Grundwasser anderenorts als allgemein schwierig herausgestellt hat [29] und im EZG Greifensee keine bekannten Untersuchungsdaten vorliegen, wurde auf eine Abschätzung des P-Eintrags aus Grundwasser und Fremdwasser verzichtet. Im Umkehrschluss lässt sich aber auch ohne Modellierung dieses P-Emissionspfads festhalten, dass ein guter Zustand mit dichten Kanalisationsleitungen im Trenn- und Mischsystem auch der Reduktion der P-Emissionen dient. Dies gilt insbesondere bei im Grundwasserbereich verlegten Leitungen sowie in Gebieten bzw. ARA-EZG, die von landwirtschaftlicher Aktivität beeinflusst sind.

Fremdwasser in Trennsystemen: Für Teileinzugsgebiete, die im Trennsystem entwässern, wurde ein einwohnerwertspezifischer Fremdwasseranfall berücksichtigt. Das anfallende Fremdwasser wurde vollständig dem Mischabwassersystem zugeschlagen (Kap. 5.2). Dies ist ein konservatives Vorgehen gewesen (Kap. 4.1). Im Modell findet damit in für den TS-Emissionspfad relevanten Trennsystemen kein Fremdwasserabfluss statt.

Dieser Ansatz führt einerseits zu einer Unterschätzung des Abflusses aus Trennsystemen bei Trocken- und Regenwetter. Andererseits hat dieses Vorgehen eine mutmasslich geringe Auswirkung auf die Projektfragestellungen, da Fremdwasser zwar ohne eigenen Phosphorbelastung angenommen wurde (s. o.), aber im Mischsystem Speichervolumina in Sonderbauwerken in Anspruch nimmt (MW) und zu einer höheren Restbelastung aus ARA-Abläufen führt. Das Verhältnis zwischen Fremdwasser in den Schmutz- und Regenabwasserleitungen ist unbekannt. Wird der Einfluss zu einem späteren Zeitpunkt genauer untersucht könnte pragmatisch von einer hälftigen Basisaufteilung (50:50) ausgegangen und diese dann schrittweise zwischen 0:100 und 100:0 variiert werden, um die Auswirkungen auf die Modellergebnisse abzuschätzen. Fremdwasserabfluss in Trennsystemen wird dann relevanter, wenn eine

Regenabwasserbehandlung z. B. mit Hilfe von Retentionsbodenfiltern (RBF) zur Anwendung kommen soll. Für die Dimensionierung der Anlagen ist die Kenntnis zum P-Eintrag aus Fremdwasser relevant sowie für die Modellierung die Tatsache, dass Fremdwasser wie bei ARA zu einem erhöhten Ablauf aus den RBF führt und damit zu einem höheren Austrag von Restbelastung.

Kosten Fremdwasserreduktion: In Kap. 6.5.6 wurde ausgeführt, dass die Massnahmen- und Kosten-schätzung für die Reduktion von Fremdwasser auf Einzugsgebietsebene nur sehr grob möglich waren. Die zur Verfügung gestellten Kostenangaben können lediglich als «Bereitstellung einer Beitragsgrösse» zu den Gesamtkosten RAG angesehen werden. Auf Basis der in dieser Studie ermittelten Fremdwasser-reduktionskosten können keine für die einzelnen ARA-EZG oder Gemeinden/Städte verlässlichen Kos-tenabschätzungen für spezifische Vor-Ort-Massnahmen abgeschätzt werden. Dafür fehlen robuste Fremdwassermengenerfassungen aus jedem ARA-EZG inkl. einer Beschreibung der quantitativen Fremdwasserherkunftsorte. Zusätzlich bräuchte es Angaben zu regionalen oder lokalen Erfahrungswerten spezifischer Massnahmenkosten zur Fremdwasserreduktion. Dass Massnahmen zur Fremdwasserreduktion trotz ihrer Kosten wirtschaftlich sinnvoll sind und für ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Phosphorentfernung sorgen, wurde in einer früheren Studie aufgezeigt [76] und ist aus Erfahrungen zum ARA-Betrieb bekannt [24].

Kurzfazit Belastbarkeit Fremdwasser: Insgesamt zeigte sich, dass Fremdwasser einen erheblichen, nicht linearen Einfluss auf die P-Emissionen im Einzugsgebiet Greifensee haben kann (Kap. 7.5.2). Diese Erkenntnis basiert auf einer unsicheren Ausgangsdatenlage zum Fremdwasseraufkommen in den ARA-EZG (Kap. 7.5.3). Aufgrund impliziten [24] und nicht geringen expliziten Kosten (Kap. 7.4) von Fremd-wasser lohnt sich vor der Umsetzung von Massnahmen genauere Untersuchungen. Bestätigt sich in detaillierten Abklärungen zukünftig die Relevanz von Fremdwasser hinsichtlich der P-Emissionen (s. o.), lohnt sich Massnahmen zur Fremdwasserreduktion auch zur Senkung der P-Emissionen aus Siedlungs-gebieten. Erkannt wurde zudem, dass ein Teil der nicht explizit modellierten P-Emissionen aus Fremd-wasser (s. o.) durch «Ohnehin-Aufgaben» aus dem Unterhalt der Siedlungsentwässerung reduziert wer-den können (Kap. 8.2.3).

7.5.6 Auswahl ARA-Verfahrenstechnik

Bei der Auswahl der Verfahrenstechnik wurden bewusst nur solche Verfahren berücksichtigt, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und die geforderte Reinigungsleistung nachweislich erbringen können. Die in der Studie betrachteten Verfahrenskombinationen (konventionelle biologische Stufe mit Simultanfällung sowie weitergehende Stufen wie Ozonung und/oder PAK-Behandlung mit nachgeschal-teter Membranfiltration zur Phosphorentfernung) stellen etablierte und betrieblich erprobte Lösungen dar.

Interessanterweise konnten bei der ARA Gossau-Grünigen bereits im Jahr 2024 mittlere P-Ablaufkon-zentration von 0.045 mg_P/l über einen längeren Zeitraum gemessen werden, die offenbar aus einer Hoch-/Überdosierung der Eisenfällmittel resultierten (persönliche Mitteilung AWEL, 2025). Bei anderen ARA im EZG Greifensee konnten keine gleichwertigen Effekte durch eine Überdosierung festgestellt werden. Aktuell kann daher nicht abschliessend beurteilt werden, unter welchen konkreten Betriebsbe-dingungen diese geringe P-Ablaufkonzentration verlässlich und dauerhaft erreichbar ist. Bei ARA mit tiefen Phosphorkonzentrationen im Ablauf fällt auf, dass sie eine bedarfsorientierte Steuerung der Fäll-mittelzugabe und optimal funktionierende Filter haben. Die bestehenden ARA-Daten zeigen, dass mit einer allgemeinen Überdosierung der Fällmittel keine verlässlich tiefen P-Ablaufwerte in allen ARA er-reichbar sind.

Es existieren zudem innovative Verfahren zur P-Elimination auf ARA, die sich derzeit noch im Stadium von Pilot- oder Demonstrationsanlagen befinden. Beispielsweise der Einsatz von Eisenhydroxid-Festbett-filtern [127], bei denen Ablaufkonzentrationen von <0.03 mg_P/l erreicht wurden oder modernste Pol-stofffilter kombiniert mit chemischen Fällungen und Aktivkohleadsorption zur Elimination von Phosphor [38][39][90].

Diese innovativen Ansätze wurden im Rahmen der Studie RAG ebenfalls evaluiert. Sie haben z. T. wertvolle Erkenntnisse geliefert, dass die im EZG Greifensee notwendigen, sehr tiefen P-Konzentrationen im ARA-Ablauf technisch umsetzbar und erreichbar sind. Sie wurden in der vorliegenden Studie allerdings bewusst nicht für die Grobprojektierung weiterverfolgt, da sie noch nicht dem allgemeinen Stand der Technik entsprechen und entsprechende Betriebserfahrungen fehlen. Die selektierten Lösungen wurden auch unter dem Aspekt gewählt, dass abhängig von den standortspezifischen Gegebenheiten der jeweilige ARA, ein Ausbau im Bestand weiterhin möglich bleibt. Alternativ zur chemischen P-Fällung oder biologischen P-Elimination auf ARA kann Phosphor durch Stoffstromseparierungstechnologien entfernt werden, bevor er in das Abwasser gelangt (Kap. 6.4.6/6.5.7).

7.5.7 Berücksichtigung Klimawandeleffekte

Die Annahmen für die Ausgestaltung und Grobprojektierung der Massnahmen wurden in der vorliegenden Studie überwiegend konservativ definiert (Kap. 4.1). Einerseits um Auswirkungen auf die Infrastrukturen und Kostenschätzungen eher ausreichend als zu knapp zu berechnen. Andererseits um den in dieser Studie noch nicht explizit berücksichtigten Auswirkungen des ~~anthropogen-verursachten~~ Klimawandels mindestens ansatzweise Rechnung zu tragen. Mögliche Auswirkungen des bereits messbaren Klimawandels auf die Untersuchungsergebnisse wurden z. T. erörtert (Kap. 4.10.2, Kap. 7.5.4).

Durch das Wasserforschungsinstitut Eawag wurde u. a. in Bezug auf Voralpenseen in einer Studie von 2022 aufgezeigt [96], dass der fortschreitende Einfluss des Klimawandels die bisher erreichten Errungenschaften beim Gewässerschutz teilweise wieder zunichtemachen kann – u. a. im Bezug auf die Bemühungen zur Re-Oligotrophierung von überdüngten Seen. Darüber hinaus ist seit Längerem bekannt, dass die Auswirkungen klimawandelbedingt wärmerer Temperaturen auf Seeökosysteme komplex sind und die angestrebten Phosphorlimitierungen verhindern oder verzögern können [125]. Dieser Umstand erfordert, dass geplante Gewässerschutzmassnahmen bei zunehmenden Klimawandeleinflüssen konsequenter und intensiver umgesetzt werden müssten.

Eine neuere Studie der Eawag untersuchte die Konsequenzen der Kombination von hohen Phosphatgehalten im Seewasser und klimawandelbedingten Temperaturveränderungen [94]. Die Forschenden identifizierten Störungspotenzial für die Planktonnetzwerke der entsprechenden Gewässer bereits bei geringen Temperaturänderungen. In der Folge würden sich die Seeökosysteme destabilisieren, wodurch die Wasserqualität abnehmen, die Fischpopulation zurückgehen, die für Mensch und Tier giftigen Algenblüten zunehmen und die Ökosystemleistungen sinken würden. Diese negative Destabilisierung erfolgt bei steigenden Durchschnittstemperaturen im Seewasser je eher und je stärker, umso höher die vorhandenen Phosphatgehalte sind. Der Greifensee war in der Studie der Eawag einer von zehn untersuchten Seen, die von den relevanten Randbedingungen als betroffen identifiziert wurden.

Die obigen Aspekte und Erkenntnisse aus nationalen Studien [13][93][132] zeigen, dass die Auswirkungen des Klimawandels bei Massnahmen- und Investitionsentscheidungen auch im EZG Greifensee nicht konsequenzlos vernachlässigt werden können. Da diese Effekte im Rahmen der vorliegenden Studie noch nicht berücksichtigt wurden, kann nicht final gewährleistet werden, dass die vorgeschlagenen Massnahmen (Menge, Art, Grössenordnung) in jedem Fall ausreichend sind für eine zukünftige Schweiz, die von starken Klimawandeleinflüssen beeinflusst wäre.

Für die spätere Massnahmenplanung gilt grundsätzlich, dass mögliche Klimawandelauswirkungen im Rahmen von Machbarkeitsstudien und Vorprojekten betrachtet werden sollten. Es ist möglich, dass einzelne Massnahmen in ihrer definitiven Grösse kleiner, grösser oder andersartig ausgearbeitet werden müssen. Werden diese Betrachtungen ausser Acht gelassen, besteht ein Risiko, dass die erstellten Bauwerke und getroffenen Massnahmen ihre anvisierte Reduktionswirkung in Bezug auf die P-Emissionen – und damit den Gewässerschutz – nicht oder nicht in ausreichendem Masse erreichen können (= Fehlinvestitionen).

7.5.8 Diffuse Eintragspfade Phosphor

Neben den Phosphoreintragspfaden aus der Siedlungsentwässerung bestehen weitere, diffuse Eintragspfade z. B. aus Landwirtschaft und natürlicher Hintergrundbelastung (Kap. 2.2). Diese wurden aufgrund des klar abgegrenzten Projektperimeters (= P-Emissionen aus Siedlungsgebieten) nicht in die Bilanzierung einbezogen. Zu den natürlichen Belastungen gehören z. B. der Wasseraustausch zwischen Grund- und Fliessgewässer/Seewasser über das hyporheische Interstitial sowie Rücklösungen von Phosphor aus dem Seesediment in die Wasserphase. Wie in Kap. 4.8 ausgeführt, wurden diese P-Eintragspfade sowie solche an der Schnittstelle zwischen Landwirtschaft und Siedlungsraum (z. B. Einleitungen aus Meliorationen) aufgrund nicht vorhandener Daten nicht berücksichtigt und auch nicht abgeschätzt. Insgesamt verbleiben diese P-Eintragspfade damit als «blackbox» und es können in der Studie RAG keine Aussagen zu deren Relevanz getroffen werden, auch wenn in Studien darauf hingewiesen wurde, dass die Nichtberücksichtigung diffuser Nährstoffeinträge zu erheblichen Fehleinschätzungen führen kann [91].

Eine genaue Kenntnis der natürlichen P-Belastungen in den Greifensee aus Zuflüssen, Depositionen und Rücklösungsprozessen wird dann relevant, wenn neben den in dieser Studie aufgezeigten externen Lösungen zukünftig allenfalls auch interne Lösungen zum Tragen kommen sollen [29][82], d. h. Massnahmen direkt im/am Greifensee (z. B. Sedimententschlammung, P-Fällung im Gewässer etc.).

Darüber hinaus kann es in einzelnen Teileinzugsgebieten relevant sein, die P-Konzentrationen im Grundwasser zu beproben. Dies gilt z. B. für TEZG mit hohem Grundwasserstand, schadhaften Leitungsschnitten und/oder vielen an die Kanalisation angeschlossenen Hausdrainagen (Sickerwasser). Auf Basis von Messungen kann überschlagsartig oder basierend auf Messungen abgeschätzt werden [16], ob die durch das infiltrierende bzw. drainierte Grundwasser eingetragenen P-Frachten relevanten Mengen für die jeweilige Gemeinde/Stadt darstellen. Diese Information kann helfen, Sanierungsmassnahmen an öffentlichen und/oder privaten Abwasseranlagen im Sinne des Gewässerschutzes zu priorisieren.

Eine bessere Einsicht in die Schnittstelle Landwirtschaft und Siedlungsraum hinsichtlich der P-Eintragspfade kann zukünftig kleinräumig und anlassbezogen betrachtet werden, z. B. nur in Gemeinden mit ausgeprägten Meliorationsleitungssystemen und einem relevanten Anteil von deren Anschlüssen an die öffentliche Kanalisation. Basis ist dafür, dass von landwirtschaftlicher Seite Ansätze und Modellierungen/Messungen im EZG Greifensee analog zur Studie RAG vorliegen. Dadurch bestünde darüber hinaus die Möglichkeit, Massnahmen zur Reduktion des P-Eintrags dort vorzusehen, wo sie am effizientesten wirken können.

8 Fazit technische Abklärungen und Ausblick

8.1 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie konnte aufzeigen, dass die heutige und zukünftige Emission von Phosphor aus Abwasser eine anspruchsvolle Herausforderung für die Gemeinden und Städte im Einzugsgebiet des Greifensees darstellt (Kap. 2.2/2.3). Bisher gibt es kein anderes See-einzugsgebiet in der Schweiz von vergleichbarer Besiedlungsdichte (Abbildung 5, S. 7), in dem die Erfüllung der gesetzlich verankerten Gewässerschutzbestimmungen Massnahmen in den hier präsentierten Grössenordnungen benötigt (Kap. 7.3).

Antwort zur Leitfrage 1 (Kap. 3.3): Die Studie «RAG» zeigte, dass die heutigen, jährlichen Phosphoremisionen aus Siedlungsgebieten mit rund 4.4 t/a zu ähnlich grossen Teilen aus den ARA-Abläufen, Mischabwasserentlastungen und Trennsystemeinleitungen stammen (Kap. 7.1.2). Entwickeln sich die Siedlungen im EZG weiter wie bisher, wachsen die P-Emissionen bis ins Jahr 2050 auf rund 6 t/a an, wobei alle Emissionspfade einen Zuwachs verzeichnen würden (Kap. 7.1.3). Gegenüber dem für die Gewässerqualität notwendigen Zielwert von 1.6 t/a (Kap. 2.4) zeigt sich sowohl im Ist- (+175 %) wie

auch im Prognose-Zustand (+275 %) deutlicher Handlungsbedarf. Die Studie zeigte auch, dass die einzelnen ARA-EZG Phosphor in unterschiedlichen Mengen aus den drei Eintragspfaden emittieren (Kap. 7.1.4) bedingt durch deren individuelle, historisch geprägte Ausgestaltung der lokalen Abwassersysteme.

Antwort zur Leitfrage 2: Gleichzeitig existiert eine grosse Anzahl von möglichen Technologien und Massnahmen, die hinsichtlich ihrer Reduktionswirkungen auf die P-Emissionen als wirkungsvoll identifiziert wurden (Kap. 6.3). Diese können auf unterschiedliche Weise klug miteinander kombiniert werden (Kap. 6.4/7.3), sodass sie einerseits effiziente, weil nicht-lineare Wirkungen bei der P-Reduktion erzielen und andererseits passgenaue Lösungen für die einzelnen ARA-Einzugsgebiete bereitstellen.

Vorteilhaft ist, dass einige dieser Massnahmen als für die Siedlungsentwässerung «klassische Ohnehin-Aufgaben» bezeichnet werden können. Werden diese konsequent umgesetzt, bewirken sie nicht nur eine Reduktion der P-Emissionen in das Gewässersystem, sondern sie verbessern allgemein die Leistungen der bestehenden Abwasserinfrastruktursysteme und damit deren Kosten-Nutzen-Wirkung. Dazu gehören z. B. die Reduktion von Fremdwassermengen oder auch die im Gewässerschutzgesetz seit mittlerweile mehreren Jahrzehnten geforderte, lokale Regenwasserbewirtschaftung (Kap. 8.2.3). Unabhängig von den aufgezeigten, innovativen Lösungsansätzen in der Siedlungsentwässerung und für ARA-Verfahrenstechnologien (Kap. 6.4.6/6.5.7/7.5.6) bestehen somit rechtliche Grundlagen, deren strenge Auslegung und stringente Umsetzung im EZG bereits viel bewirken würden.

Für Entscheidungsträger/-innen in den Gemeinden und Städten existiert somit eine gute Ausgangslage: es liegen verschiedene Optionen vor, aus denen gewählt werden kann – es muss nicht zwangsläufig nur ein Konzept, eine Variante oder eine Technologie zur Anwendung kommen. Relevant ist die Anerkennung der Phosphorproblematik im EZG Greifensee als Gemeinschaftsziel, d. h., dass die Betreiber/-innen der Abwassersysteme diese als nur gemeinsam lösbare Aufgabenstellung wahrnehmen und überkommunal, d. h. im gesamten Einzugsgebiet Massnahmen miteinander koordinieren (Kap. 7.3).

Technische und unkoordinierte Alleingänge einzelner Abwassersystembetreiber werden vermutlich zu ineffizienten Lösungen und damit hohen Kosten aufgrund nicht genutzter Synergien führen. Findet keine technische Abstimmung zwischen den ARA-EZG statt, führt dies schlimmstenfalls zu der Konsequenz, dass trotz hoher Investitionen die erzielten Reduktionen der Phosphoreinträge nicht ausreichen, um den anvisierten Wert der P-Emissionen aus Siedlungsgebieten auf <1.6 t/a zu begrenzen (Kap. 8.2).

Antwort zur Leitfrage 3: Welche Möglichkeiten bestehen, um eine Organisationsstruktur im EZG Greifensee aufzubauen, die eine geordnete Massnahmenkoordination gewährleistet und Optionen für die Zusammenarbeit bei Betrieb und Unterhalt der Abwassersysteme bietet, wird in der an das Projekt RAG angegliederte Studie von INFRAconcept aufgezeigt [68]. Darin wird auch präsentiert, wie sich die vier weiterverfolgten Kombinationsvarianten (Kap. 6.4.7) jeweils langfristig auf die Kostenentwicklung der Abwasserinfrastrukturen im EZG Greifensee auswirken.

8.2 Ausblick RAG

8.2.1 Erarbeitung eines Regionalen Entwässerungsplans (REP)

Mit den vorliegenden Studienergebnissen und den Resultaten aus [68] zur Leitfrage 3 (Kap. 3.3) wurden durch die Steuerungsgruppe (SG) mögliche nächste Schritte diskutiert (7. SG-Sitzung, 28.10.2025). Das Meinungsbild der SG zum weiteren Vorgehen und die Rückmeldungen aus einer für alle Gemeinden im EZG Greifensee offenen Informationsveranstaltung (05.02.2026) zeigten folgende Voten:

- Den beteiligten und anwesenden Vertreterinnen und Vertreter der Gemeinden und Städte ist es wichtig, den Gewässerschutz für den Greifensee voranzutreiben, um langfristig eine «genau so gute Wasserqualität wie im Zürichsee» zu erreichen.
- Es existiert eine positive Grundstimmung gegenüber dem Ansatz, die Herausforderung der Reduktion der P-Emissionen gemeinsam und übergeordnet koordiniert anzugehen.

- Die Fortsetzung der bisherigen Bemühungen wurde gutgeheissen. Grundsätzlich soll die Weiterführung der Arbeit in einem sehr ähnlichen Konstrukt ablaufen: eine durch die Gemeinden/Städte/Verbände besetzte Steuerungsgruppe und eine durch das AWEL geführte und fachlich besetzte Projektleitung. Zusätzlich sollen neu alle anderen, bisher nicht in der Steuerungsgruppe vertretenen Gemeinden beteiligt werden und aktiv in den Steuerungsprozess eingebunden werden.
- Zwischen der SG, dem AWEL und den beteiligten Fachplanern wurde die Erstellung eines «Regionalen Entwässerungsplans» (REP) als sinnvoller nächster Schritt identifiziert.

Regionaler Entwässerungsplan (REP): Bei einem REP handelt es sich um ein kantonales Planungsinstrument, das strategisch-zielgerichtete Angaben zu den Anforderungen an die Abwasserinfrastrukturen in einem Gewässereinzugsgebiet macht. Im Kanton Zürich ist dieses Planungsinstrument bisher nicht zur Anwendung gekommen. Erfahrungen existieren aber in anderen Kantonen (z. B. Bern, Solothurn, Jura). Ein REP ist übergeordnet behördenverbindlich zu den kommunalen GEP und den ARA-EZG-bezogenen V-GEP. Als kantonales Instrument wird er durch die vollziehende Kantonsbehörde kontrolliert (= AWEL).

Im Verlauf der Gespräche und aufgrund des bisherigen, jahrelangen guten Zusammenarbeitens zwischen SG, AWEL und Fachplanenden zeigte sich eine klare Bereitschaft, die Ausarbeitung der konkreten Inhalte und Vorgaben eines «REP Greifensee» wiederum gemeinsam auszuarbeiten und damit die EZG-Gemeinden in die Konzipierung direkt einzubeziehen. Die genaue Ausgestaltung des Erarbeitungsprozesses für einen «REP Greifensee» ist aktuell noch offen und wird Aufgabe einer neu zu konstituierenden Steuerungsgruppe.

Inhaltlich wird sich ein «REP Greifensee» mit mehreren, noch offenen und sich aus der vorliegenden Studie ergebenden Fragestellungen befassen müssen (Hinweis: nicht alle Aspekte werden Eingang in das Planungsinstrument selbst haben, aber im Prozess der REP-Erstellung diskutiert und gelöst werden müssen):

- Definition und Entwicklung einer oder mehrerer, miteinander im engen Austausch stehenden Organisationsstrukturen für eine übergeordnete Koordination von Massnahmen zur Reduktion der P-Emissionen.
- Übertragung der bisherigen RAG-Studienergebnisse auf konkrete Massnahmen inkl. deren Verortung in den ARA-EZG bzw. auf Ebene Gemeinden/Städte.
- Einigung/Entscheid über die Gesamt- und/oder Einzelverantwortung aller Gemeinden im EZG hinsichtlich der Reduktion von P-Emissionen aus Siedlungsgebieten.
- Einigung/Entscheid über möglichst faire Kosten- und Lastenverteilungen der Massnahmen im EZG (z. B. gemeindespezifische Kontingente für P-Emissionen vs. synergiebasierte Massnahmenfindung) → Siehe dazu Kap. 8.2.2.
- Homogenisierung der kommunalen Anforderungen an Planungsinstrumente (GEP, V-GEP) und deren Qualitätsansprüche an Daten (Umfang, Detailgrad), die als wichtige Grundlagen für die Stoffstrombilanzierungen von Phosphor dienen.
- Festlegung einer schrittweisen Vorgehensweise zur Entwicklung einer Strategie im Umgang mit den Trennsystemen (vgl. Kap. 8.3.1). Einigung über eine (Nicht-)Durchführung einer Messkampagne zur Bereitstellung spezifischer Datengrundlagen im EZG Greifensee (z. B. mit angewandten Forschungsanstalten) vor einer finalen Festlegung für den Umgang mit Trennsystemen.
- Definition von gemeinsamen Standards für Betrieb und Unterhalt der für die P-Emissionen relevanten Abwasserinfrastrukturen (v. a. ARA und Sonderbauwerke) und Oberflächen in Siedlungen (Strassen-/Wege-/Platzreinigung) zur Etablierung einheitlicher Leistungsniveaus.
- Einigung über Bedarf und Umfang zur Homogenisierung bei Siedlungsentwässerungsverordnungen (SEVO) und ggf. Abwassergebührensyste men sowie einer dem Gewässerschutz dienenden, anreizbietenden Gebührengestaltung.

Herausforderung für den REP: übergeordnete Massnahmen

Die Resultate der Studie zeigen, dass die ARA-EZG und einzelnen Gemeinden unterschiedlich stark zur Gesamtemission Phosphor in den Greifensee beitragen (Kap. 7.1.4). Da die Leistungsfähigkeit der Abwasserreinigung an allen ARA im EZG Greifensee gleichwertig und hoch ist, werden die P-Emissionen hauptsächlich dadurch bestimmt, a) wie gut die Leistung der Mischabwasserbewirtschaftung durch Sonderbauwerke funktioniert, b) wieviel Trennsysteme in einer Gemeinde vorhanden sind und c) wie gross eine Stadt oder Gemeinde ist (EW und abflusswirksame Fläche). Pro ARA-EZG können daher unterschiedliche Massnahmen die beste Wirkung entfalten.

Die Herausforderung der übergeordneten Massnahmenplanung im EZG Greifensee liegt in der Anzahl der beteiligten Gemeinden (14) und der vorhandenen, unterschiedlichen Ausgangslagen der einzelnen Abwassersysteme: unterschiedliche Gebührensysteme, unterschiedliche SEVO, gemeindeeigene Bewirtschaftungs- und Unterhaltskonzepte für die Abwasserinfrastrukturen, frühzeitige Landsicherungsaktivitäten für Abwasseranlagen (z. B. ARA, Regenüberlaufbecken, Retentionsbodenfilter). Verbands-, Stadt- und Gemeindegrenzen können potenziell der Wahl der kosteneffizientesten und effektivsten Massnahmen im EZG entgegenwirken. Im Rahmen eines REP müssen daher v. a. auch Mechanismen gefunden werden, wie auf organisatorischer und finanzieller Ebene «über das ganze Einzugsgebiet» gedacht und strategisch geplant werden kann. Verschiedene Ansätze sind bei der Identifikation von konkreten Massnahmen pro ARA-EZG denkbar (Kap. 8.2.2).

8.2.2 Synergiefokus anstreben für die Identifikation von Massnahmen

Die Zuteilung von Kontingenten ist eine rudimentäre Möglichkeit, um die P-Emissionen zu begrenzen, z. B. «Gemeinde X darf pro Jahr 100 kg_P emittieren.». Einmal miteinander ausgehandelt, sind Kontingente transparent definiert und ihre Einhaltung konkret überprüfbar. Jede Gemeinde kann selbst entscheiden, wie sie die kontingentierte Zielmarke in ihrem Einzugsgebiet erreicht. Bei komplexen Problemen wie der Begrenzung der P-Emissionen im EZG Greifensee hat diese methodisch einfache Lösung entscheidende Nachteile.

Erläuterung: *Im EZG Greifensee besteht bei einer gemeindespezifischen Kontingentierung der P-Emissionen das Risiko, dass Massnahmen nicht nur kosteneffizient selektiert und umgesetzt werden. Stattdessen müssen zur Einhaltung von individuellen Kontingenten auch Massnahmen zur P-Reduktion eingeplant werden, die in den Gemeinden nicht mehr effizient und allenfalls nur noch für Kleinstemissionen umgesetzt werden. Gleichzeitig könnte in anderen Gemeinden für die gleichen oder geringere Kosten mehr Phosphor reduziert werden. Massnahmen in der anderen Gemeinde wären damit kosteneffizienter. Gemeindeübergreifende Massnahmen sind schwieriger umsetzbar und benötigen erneute Verhandlungen über Lasten-/Kostenverteilungen. Bei einer Kontingentierung können daher leicht Synergien verpasst werden und ungenutzt bleiben.*

Alternativ würde die Synergiefindung in den Vordergrund gestellt. Massnahmen würden unabhängig von Gemeinde-/Stadtgrenzen jeweils dort verortet, wo sie den grössten Nutzen (= Reduktion P-Emission im EZG Greifensee) bei gleichzeitig geringstem Aufwand-/Kosteinsatz erwarten lassen im Vergleich zu anderen Massnahmen. Die Phosphorentfernung findet dort statt, wo sie zweckmässig, technisch machbar und am günstigsten gelingen kann.

Im übergeordneten Kontext des EZG Greifensee muss zwischen den Gemeinden und Städten koordiniert werden, wo welche Massnahmen zur Reduktion der P-Emission erfolgen sollen und in welchem Umfang. Fast immer gilt dabei, dass kosteneffiziente Massnahmen v. a. dann gefunden werden, wenn nicht jede Gemeinde/Stadt nur in ihren eigenen Grenzen sucht. Stattdessen werden optimale Lösungen häufig dann identifiziert, wenn das Gewässerschutzdefizit als gemeinsames Problem verstanden und Massnahmen gemeindeunabhängig an jeweils den Standorten umgesetzt werden, an denen der Effekt/Wirkungshebel am grössten ist.

Beispiel: *Die spezifischen Investitionskosten für Mischabwasserspeichervolumen sind bei kleineren Regenüberlaufbecken (RÜB) deutlich höher (6'500 CHF/m³) als bei grösseren (3'500 m³). Die*

Schaffung von 10'000 m³ neuem Speichervolumen aufgeteilt auf zwei grosse RÜB in nur zwei Gemeinden oder 25 kleinere RÜB (je 400 m³) in zehn Gemeinden erzeugt daher sehr unterschiedliche Kosten (32 Mio. CHF vs. 65 Mio. CHF), da bei kleineren RÜB die positiven Skaleneffekte kaum Wirkung entfalten. Zusätzlich können Effizienzgewinne bei Betrieb und Unterhalt erwartet werden, wenn es weniger, aber dafür grössere Anlagen in einem EZG gibt. Allerdings gilt: trotz höherer Kosten kann der erzielte Gesamteffekt P-Reduktion bei 25 RÜB grösser sein als bei zwei RÜB. Eine Pauschalierung ist nicht möglich und nur ein ordentlicher Variantenvergleich kann verlässliche Aussagen für Investitionsentscheidungen liefern.

Für das EZG Greifensee bedeutet das, dass bei der Lösungssuche die Gemeinde-/Stadtgrenzen möglichst keine Rolle spielen sollten. Die Wahl des Standorts, an dem die Umsetzung einer Massnahme erfolgt, soll möglichst auf technischen Abwägungen basieren und unter der Prämisse, dass möglichst viele Gemeinden/Städte hinsichtlich der Gemeinschaftsaufgabe profitieren können. Dieses Vorgehen kann dazu führen, dass in einigen Gemeinden/Städten deutlich mehr Massnahmen verortet werden als in anderen.

Die Finanzierung der übergeordneten Massnahmen muss dann standortunabhängig durch alle Akteure erfolgen. Um dies zu erreichen, müssen durch die beteiligten Gemeinden/Städte vorgängig eine gemeinsame Finanzierungsbasis für die übergeordnet relevanten Massnahmen verhandelt, vereinbart und vertraglich fixiert werden. Verschiedene Finanzierungswerkzeuge sind für ein solches Vorgehen denkbar (z. B. Fondslösung, Verteilschlüssel für Investitions- und Betriebskosten von übergeordnet relevanten Anlagen, Emissionszertifikate für Phosphor etc.) und sollten im Rahmen eines REP-Prozesses (Kap. 8.2.1) ebenfalls zur Diskussion kommen.

8.2.3 P-Emissionen in der Praxis: Bedeutung für GEP & V-GEP

Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie und aus [68] sollten kurz- bis mittelfristig Eingang finden in die langfristige Planung der Abwasserinfrastrukturen in den Gemeinden. Da die Erkenntnisse erst auf Studienebene vorliegen, sind Massnahmen/Vorgaben aktuell nur bedingt konkret übertragbar. Zudem wird die Fortführung des Prozesses «Regionale Abwasserentsorgung Greifensee» (Kap. 8.2.1) inkl. daraus resultierender Planungsinstrumente erst in einigen Jahren zu definitiven Vorgaben für kommunale Planungen führen.

Abwasserinfrastrukturen sind sehr langlebig und ihre konstruktive Anpassung an neue Randbedingung kann aufwändig und kostenintensiv sein. Es ist daher sinnvoll, bereits bei heute in Planung befindlichen Vorhaben, die vorliegenden Studienergebnisse zu berücksichtigen. Fehlende gesetzliche Grundlagen stellen dabei nur bei einigen Massnahmen Hindernisse dar (z. B. strengere P-Ablaufkonzentrationen auf ARA). Wie in der Studie aufgezeigt wurde, sind einige mögliche Massnahmen der Siedlungsentwässerung «Ohnehin-Aufgaben» (Kap. 6.4, 8.1), die deutliche, positive Reduktionseffekte auf die P-Emissionen im EZG Greifensee haben können. Dazu gehören z. B. die Reduktion des Fremdwassers und die Einführung der Regenwasserbewirtschaftung deren breite, flächendeckende Umsetzung frühzeitig angegangen werden kann. Bereits aus den bestehenden, gesetzlichen und verordnungstechnischen Vorgaben aus GSchG [50], GSchV [51], kantonalem Wassergesetz WsG [155] und der mittlerweile verbindlich erklärten, kantonalen Richtlinie zur Regenwasserbewirtschaftung des AWEL [7] lassen sich diese Massnahmen als Gewässerschutzaufgaben ableiten. Sie können daher grundsätzlich über die Abwassergebühren mitfinanziert werden. Auch die strategischen Überlegungen zum zukünftigen Einsatz von neuen und der Umgang mit bestehenden Trennsystemgebieten können jederzeit gestartet werden (Kap. 8.3.1).

Darüber hinaus können die Studienergebnisse Eingang finden im Rahmen der Neuerstellung bzw. der schrittweisen Aktualisierung/Nachführung von GEP und V-GEP. Generelle Entwässerungsplanungen werden erfahrungsgemäss alle 15-20 Jahre grundsätzlich überarbeitet – bzw. nach neuem VSA Leitfa-den GEP [145] in kürzeren Perioden und spezifisch pro Teilprojekt nachgeführt. Bei 14 Gemeinden im EZG Greifensee bedeutet dies, dass durchschnittlich alle 1.5 Jahre die Überarbeitung eines neuen GEP oder entsprechender Teilprojekte angegangen wird. Es lohnt sich somit, frühzeitig richtungsweisende Anpassungen an den langfristigen Planungen in GEP und V-GEP vorzunehmen.

Die konkrete Berücksichtigung der Studienergebnisse kann gemäss aktuellem Erkenntnisstand in nachfolgenden Teilprojekten stattfinden. Auch hier gilt: es handelt sich in Teilen bereits um «Ohnehin-Aufgaben», deren fokussierte Durchführung im EZG Greifensee zusätzliche Mehrwerte bei der Reduktion der P-Emissionen ermöglicht.

- **TP Organisation:** Erstellung von Vorgaben zu regelmässigen Betriebs- und Unterhaltsintervallen sowie Sicherstellung von deren Umsetzung. Ziel ist eine Beseitigung von sedimentierten Ablagerungen in Kanalisation und bei Sonderbauwerken, sodass bei Regenwetter ein möglichst geringes Potenzial zur Remobilisierung und Entlastung (Emissionspfad: MW) von partikulären, phosphorhaltigen Ablagerungen besteht. Prüfung und Empfehlung, bei welchen Aufgaben die Betriebsleitung ARA und die Betriebs-/Werksleitung SE/Kanalisation/Werke angepasste Organisationsstrukturen, bessere Koordinationsmodelle sowie gemeinsame Kompetenzen und Aufgabenwahrnehmungen etablieren können.
 - **TP Werkinformation:** Nachführung und laufende Aktualisierung möglichst fehlerfreier Werkkataster Abwasser u. a. nach Datenmodell VSA DSS (öffentliche und private Liegenschaftsentwässerung inbegriffen). Bereitstellung eines guten und mit vollständigen Attributinformationen hinterlegten Datensatzes Versickerungsanlagen (= Versickerungskataster). Gute Werkkataster ermöglichen, die Übersicht über Lage, Grösse und Funktion von Gewässereinleitungen, Versickerungsanlagen, Sonderbauwerken etc. sicherzustellen und Bestandsinfrastrukturen bei Planungen berücksichtigen zu können.
 - **TP Wasserhaushalt:** Fokus setzen auf die Identifikation des (grösstmöglichen) Potenzials zur Regenwasserbewirtschaftung nach Schwammstadtprinzipien bei öffentlichen und privaten Liegenschaften (RWB als Massnahme mit Positivwirkung, Kap. 7.2). Gemäss [145]: «Klärung standortspezifischer Fragestellungen (z. B. Schnittstellen zu Fremdwasser, Industriegebieten, Strassenabwasser u. ä.). Idee: auf Basis der Potenzialerhebung Abschätzung einer etappierten Einführung der RWB priorisiert nach Einfachheit und/oder Wirksamkeit hinsichtlich Flächenabkopplung von der Kanalisation.
 - **TP ZSU Kanalisation:** Dichte Abwasserleitungen im Misch- und Trennsystem verhindern die Exfiltration von Abwasser in die Umwelt und gleichzeitig die Infiltration von Fremdwasser in die Kanalisation (s. u. «TP Fremdwasser»). Die Zustandsuntersuchung öffentlicher und privater Entwässerungsleitungen soll weiterhin regelmässig erfolgen. Bei der anschliessenden Planung von Sanierungsmassnahmen sollte eine Priorisierung zugunsten undichter Leitungen mit Fremdwasserinfiltration erfolgen. Im Fokus sind dabei undichte Leitungen insbesondere in Bereichen mit anstehendem oder saisonal variierendem Grundwasserspiegel sowie in landwirtschaftlich geprägten Gebieten (Kap. 7.5.5). Im Grundwasser vorhandene Phosphorfrachten können so von einem Eintrag in das Oberflächenwasser ferngehalten bzw. deutlich reduziert werden.
 - **TP ZSU SBW:** Im Rahmen von Zustandsuntersuchungen an Sonderbauwerken (ZSU SBW) insbesondere an grösseren RÜB oder relevanten Regenüberläufen (Entlastungsstellen für Mischabwasser) sollen bereits Möglichkeiten für die Installationen von dauerhaften oder temporären Messsensoren und Einbaumöglichkeiten für zusätzliche Behandlungsanlagen (z. B. Siebrechenanlagen) geprüft und dokumentiert werden.
 - **TP Fremdwasser:** Möglichst gute Analyse der Fremdwasseranteile im ARA-EZG oder in der Gemeinde/Stadt. Identifizierung der Fremdwasserquellen und Periodizität des Fremdwasseranfalls, z. B. aufgrund niederschlagsgetriebenen Fremdwassers (Kap. 7.5.5). Ausarbeitung eines Massnahmenprogramms um innert nützlicher Frist die Fremdwasseranteile (FWA) im EZG mindestens auf $FWA \leq 30\%$ zu reduzieren. Etablierung eines Dauermonitorings zur kleinräumigen, regelmässigen Nachkontrolle der Fremdwasserflüsse im System, z. B. an vordefinierten Standorten in der Kanalisation.
 - **TP Entwässerungskonzept:**
 - Erstellung guter Grundlagendaten zu den Teileinzugsgebieten der Sonderbauwerke (parzellenscharfe Basis für abflusswirksame Flächen F_{red} und Einwohnerwerte EW) und kontinuierliche Nachführung/Aktualisierung der Grundlagendaten im Massnahmenprogramm einplanen.
-

- Für die Modellierungen der Kanisationskapazitäten (hydrodynamisch) und der Gewässerschutzbedingen (hydrologische Langzeitsimulation) sollen neben den grundsätzlichen Anforderungen möglichst auch Varianten bzw. Szenarien abgeklärt werden.
- Ziel der Abklärung der Varianten/Szenarien ist es, die Grössenordnung des Handlungsbedarfs durch mögliche Vorgaben eines REP (Kap. 8.2.1) EZG-spezifisch zu verstehen und die Konsequenzen und Massnahmen in betrieblicher, baulicher und finanzieller Hinsicht mindestens grob beziffern zu können.
- Ohne verbindliche Vorgaben zur P-Reduktion müssen die szenarisch identifizierten Massnahmen nicht sofort umgesetzt werden, insofern sie sich nicht ohnehin synergetisch aus dem «konventionellen» Handlungsbedarf zum Gewässerschutz ergeben. Da der GEP nach Fertigstellung der Überarbeitung rollierend nachgeführt wird [145], soll eine einfache Möglichkeit gegeben sein, die in der GEP-Überarbeitung abgeklärten Massnahmen durch strengere / weniger strenge Ausführungen leicht ersetzen zu können, sobald Vorgaben zur P-Reduktion verbindlich vorliegen.
- Auf Basis der bisherigen Studienerkenntnisse werden nachfolgende Szenarienbetrachtungen hinsichtlich der Reduktion von Phosphor in der Massnahmenplanung eines GEP vorgeschlagen:
 - Szenario 1: «Halten» der P-Emissionen trotz Wachstumsbedingungen (100 % der Ist-Situation)
 - Szenario 2: Moderate Reduktion der P-Emissionen (70 % der Ist-Situation)
 - Szenario 3: Halbierung der P-Emissionen (50 % der Ist-Situation)
 - Szenario 4: Ambitionierte Reduktion der P-Emissionen (30 % der Ist-Situation)

8.3 Weitergehende Empfehlungen RAG

8.3.1 Entwicklung einer Strategie für den Umgang mit Trennsystemen

Die Modellresultate für den Ist- und Prognose-Zustand haben gezeigt, dass die Phosphorfrachten aus Trennsystemgebieten einen nicht zu vernachlässigen Anteil an der Gesamtemission haben, der je nach ARA-EZG zwischen 14 bis 74 % der EZG-spezifischen P-Gesamtemission betragen kann (Kap. 7.1). Wird weiter berücksichtigt, dass es eine hohe Variation der P-Frachten von Oberflächen geben kann, die abhängig von deren Nutzungsart ist (Kap. 4.7) und dass diese Akkumulations-Abtrags-Dynamiken von Phosphor von Oberflächen sehr sensitiv sind für die ermittelten Modellergebnisse (Kap. 7.5.2), lässt dies die Schlussfolgerung zu, dass die Trennsystemgebiete ein relevanter und massgeblicher P-Emittent im EZG des Greifensees sind. Eine Nichtmodellierung dieses P-Emissionspfads würde zu einem «blinden Fleck» der Phosphorbilanz aus Siedlungsgebieten und damit zu einer deutlichen Unterschätzung der P-Emissionen in den Greifensee führen.

Spezifisch für die Ausgangslage im EZG Greifensee zeigt sich damit, dass die häufige Grundannahme eines vernachlässigbaren Schmutzstoffbeitrags aus Regenabwassereinleitungen und damit eine Klassifizierung als «nicht verschmutztes» Abwasser gemäss GSchG Art. 7 [50] – praktisch betrachtet – nur bedingt zutrifft. Unter Berücksichtigung der GSchV-Anforderungen [51] einer höchstens mittleren Biomasseproduktion im See (Kap. 2.4) und dem hier aufgezeigten, Beitrag der P-Emissionen an der Nichteinhaltung dieser Anforderung müsste für das EZG Greifensee der Ablauf aus Trennsystemen tendenziell als «verschmutztes Abwasser» klassifiziert und damit einer Behandlung zugeführt werden. (*Nota bene:* bei diesem Absatz handelt es sich nicht um eine juristische Bewertung, sondern eine praxisorientierte und kontextbezogene Einschätzung auf Basis der erzielten Studienresultate.).

Die Vorteile von Trennsystemen in hydraulischer Hinsicht (Entlastung der ARA-Kapazitäten, Verringerung der Mischabwasserentlastungen) werden spezifisch im EZG Greifensee negativ kompensiert durch die Nachteile in stofflicher Hinsicht (keine Behandlung der Einleitungen). Zwar existieren technische Möglichkeiten zur Elimination der P-Frachten aus Trennsystemen, die anderenorts erfolgreich im Einsatz sind,

aber die Auswahl an Massnahmen ist sehr begrenzt (Kap. 7.2), u. a. teuer, flächenintensiv (Kap. 6.5.5) und häufig aufgrund des Flächenmangels nicht machbar [117].

Risiken Trennsystemausbau im EZG Greifensee: Ein weiterer Ausbau von Trennsystemen im EZG Greifensee erfolgt daher nicht risikolos. Einerseits werden bei der Umwandlung von bisher im Mischsystem entwässerten Gebieten hohe Investitionen in neue Leitungssysteme etappiert über viele Jahre notwendig. Der Bau von Trennsystemen ohne Retentionsbodenfilter führt dann andererseits dazu, dass ein Teil der bisher von den Oberflächen abgetragenen Phosphorfrachten nicht mehr über die ARA geführt und gereinigt wird, sondern über die Regenabwasserleitungen direkt und unbehandelt in die Gewässer abgeführt wird (Kap. 7.2, Abbildung 31, Var. 8.7). Die Investition in ein Trennsystem reduziert damit die P-Emissionen für den MW- und in sehr geringem Ausmass für den ARA-Emissionspfad, verlagert aber gleichzeitig einen Teil der Emissionen in den TS-Emissionspfad für einen vglw. hohen Betrag. Die Verlagerung kann nur kompensiert werden, indem mit Hilfe weiterer Investitionen Behandlungsanlagen (z. B. RBF) gebaut werden. Gleichzeitig müssen Lösungen für die P-Emissionen von Trennsystemen im Bestand gefunden werden, für die ggf. ebenfalls eine Nachrüstung in Behandlungsanlagen notwendig würde. Hinzu kommt ein Machbarkeitsrisiko, weil aktuell nicht geklärt ist, ob eine Flächenverfügbarkeit z. B. für die Retentionsbodenfilteranlagen gegeben ist.

Vor dem Hintergrund des P-Emissionsziels und der oben skizzierten Risiken sollte im EZG Greifensee vor einem weiteren Ausbau der Umgang mit Trennsystemen durch die Betreiber/-innen der Abwassersysteme und Aufsichtsbehörden miteinander strategisch definiert werden. Eine «Strategie Trennsysteme Einzugsgebiet Greifensee» sollte sowohl den Umgang mit neuen, noch zu bauenden Trennsystemen benennen als auch Bestandssystemen berücksichtigen und für beide Ziele setzen für deren (Nicht-)Beiträge zur P-Emission.

Je nach ARA-EZG im EZG Greifensee kann ein Ausbau von Trennsystemen (mit/ohne RBF) tatsächlich noch Verbesserungen der P-Emissionen insgesamt bewirken (ggf. aber nicht mehr so kostengünstig wie durch andere Massnahmen). In anderen ARA-EZG können verschiedene, strategische Optionen bessere Alternativen darstellen. Dazu gehören z. B. eine Beibehaltung des Mischsystems kombiniert mit einer flächendeckenden, lokalen Regenwasserbewirtschaftung; eine Nachrüstung einzelner Retentionsbodenfilter; eine gezielte Integration der lokalen Regenwasserbewirtschaftung bei bestehenden, flächendeckend ausgebauten Trennsystemen. Die zu entwickelnde Strategie hätte Auswirkungen auf die mögliche Massnahmenpalette und -umsetzung bei hydraulischen und gewässerschutzorientierten Defiziten und wäre damit unmittelbar relevant für die kommunalen GEP und übergeordnete V-GEP.

Insbesondere der Ansatz zur Beibehaltung des Mischsystems in Kombination mit lokaler Regenwasserbewirtschaftung ist vielversprechend und wurde aufgrund nachfolgender Aspekte anderenorts als zielführend und zukunftstauglich identifiziert [116][117][125]: die Neuverlegung von Leitungen wird erspart, gezielte Investitionen in lokale Anlagen getätigt, der Wasserhaushalt im Siedlungsraum verbessert durch Flächenabkopplung, die Stofffrachtausträge aus ARA und MW reduzieren sich und eine Behandlung des Regenabwasser wird ermöglicht.

8.3.2 Aufbau eines Monitorings der Phosphoremissionen aus Siedlungsgebieten

Aktuell fehlen für das EZG Greifensee an verschiedenen Stellen repräsentative Messungen der P-Frachten, z. B. als Abtragsfrachten von Oberflächen aus Misch- und Trennsystemen, Einleitungen aus Trennsystemen (TS; inkl. Phosphor aus Grundwasserdrainagen) und Entlastungsfrachten aus Mischabwasserentlastungen (MW). Der P-Eintrag aus ARA-Abläufen kann aktuell aufgrund vorhandener Betriebsmessungen auf ARA am verlässlichsten abgeschätzt werden. Damit fehlt noch eine messtechnische Kontrollmöglichkeit von zwei der drei P-Eintragspfade aus Siedlungsgebieten. Aus anderen Seeeinzugsgebieten ist zudem bekannt, dass auch nach einer starken Reduktion der externen P-Einträge, die seeinterne Reduktion der Phosphorkonzentrationen lange dauern kann [91][108][125].

Als sinnvolle Ergänzung wird daher der Aufbau eines regelmässigen, mehrere Jahre umfassenden Monitorings mit Wiederholungsmessungen in Abständen von mehreren Wochen bis Monaten empfohlen. Dies gilt insbesondere für ein Messprogramm zur Erfassung von P-Frachtströmen aus MW-Entlastungen

und TS-Einleitungen. Aus der Fachliteratur ist bekannt, dass der Verzicht auf gut dokumentierte Vor- und Nachuntersuchungen («Erfolgskontrolle») nur eine vermeintliche Kosteneinsparung darstellt. Stattdessen kann nur durch das langfristige Monitoring vermieden werden, dass teure Massnahmen mit geringer Wirksamkeit zur P-Reduktion in einem Seeinzugsgebiet zur Anwendung kommen oder dass Nachjustierungen von Massnahmen verlässlich ermöglicht werden [29][66][67][80][81][125].

Relevant ist, dass die notwendigen Datenerhebungen über alle Gemeinden und Städte im EZG Greifensee möglichst koordiniert und homogen erfolgen, um eine gute Datengrundlage sowie Vergleichbarkeit der Informationen zu gewährleisten. Mutmasslich nicht relevant für den langfristigen Erfolg des Monitorings ist es, an sämtliche Einleitstellen aus Siedlungsgebieten permanente Messungen zu etablieren. Die grössten Eintragspfade (ARA) besitzen bereits permanente Durchflussmessungen inkl. eines engmaschigen Wiederholungsplans für Laboranalysen zur Bestimmung der Phosphorkonzentrationen im Zu-/Ablauf.

Unterstützend für eine bessere Belastbarkeit der Modellaussagen wären eine kluge Kombination aus Stichproben während temporärer Messkampagnen zur Erfassung von Phosphorkonzentrationen und Volumenmessungen an repräsentativen MW-Entlastungen und TS-Gebietseinleitungen. Vermutlich reicht ein einfaches Messprogramm mit repräsentativen Stichproben an mehreren Orten und zu charakteristischen Zeitpunkten aus (inkl. Wiederholungsmessungen), um langfristige Daten zu generieren, die die relevanten regionalen und saisonalen Variationen abdecken.

Diese Grundlage aus Mess- und Analysedaten würde die Überprüfbarkeit der Modellergebnisse und im Umkehrschluss die bessere Anpassung sowie eine Kalibrierung der Modelle an die realen Gegebenheiten ermöglichen. In Verbindung mit dem bestehenden, kantonalen Monitoring der Gewässerqualität des Greifensees (AWEL; Überwachung Phosphorkonzentrationen im Freiwasser und Sediment) bilden die Monitoringdaten eine Schnittstelle, um die Quellen der P-Emissionen klar erkennen und dem Siedlungsgebiet sowie weiteren Verursacher/-innen zuzuordnen.

Zudem bilden diese zu Datenerhebungen die Basis für eine begleitende Wirkungs- und Erfolgskontrolle einer etappenweisen Umsetzung von Massnahmen zur P-Reduktion im EZG Greifensee. Neben einer Kontrollfunktion dient das Monitoring damit auch der Möglichkeit, bei unzureichenden oder deutlich effektiveren Massnahmen entsprechend den Massnahmenumfang gezielt nachzujustieren, sodass etapiert und langfristig die P-Emissionen verlässlich gesenkt werden können (Abbildung 34).

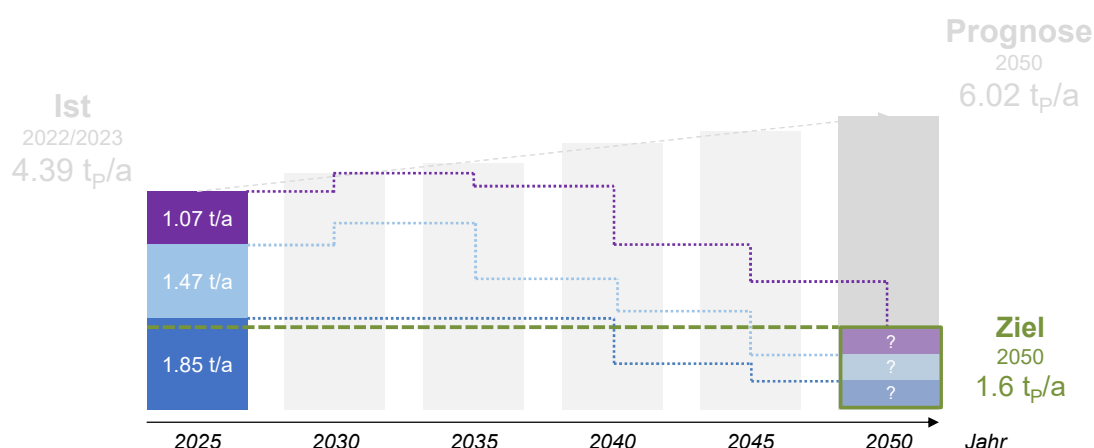


Abbildung 34: Schematische Darstellung der langfristigen Reduktion der P-Emissionen im Rahmen eines etappierten und auf alle drei Emissionspfade ausgerichteten Massnahmenprogramms im EZG Greifensee.

8.3.3 Erhebung Phosphormengen aus gewerblich-industriellem Abwasser

Im EZG Greifensee gibt es gemäss Erkenntnislage der kantonalen Aufsichtsbehörde (AWEL, 2024) nur wenige, gewerblich-industrielle Betriebe, deren eingeleitete Abwässer Phosphor in grösserer Menge enthalten, als es im häuslichen Abwasser typisch ist. Diese Erkenntnisse beruhen teilweise auf viele Jahre alten Einleitbewilligungen und werden nicht überall durch aktuelle Überwachungsmessungen nachgeführt. Es ist daher möglich, dass relevante, gewerblich-industrielle Punktquellen für Phosphor unentdeckt geblieben sind. Gemäss aktuellem Kenntnisstand des AWEL existieren keine gewerblich-industriellen Einleitungen, die hinsichtlich der P-Frachten massgebliche Punktquellen darstellen. Im Verlauf des Projekts RAG wurden daher Varianten zur Reduktion gewerblich-industrieller Einleitungen nicht näher fokussiert (Kap. 6.2, Tabelle 17).

Gewerblich-industrielle Betriebe stellen ggf. relevante Punktquellen und damit interessante Ansatzpunkte für Massnahmen zur P-Elimination dar. Es kann für öffentlichen Abwassersystembetreiber kostenseitig effizienter sein (auch unabhängig von der Kostenträgerschaft), Massnahmen zur P-Elimination an einzelnen, überdurchschnittlich stark zur P-Fracht beitragenden Punktquellen zu etablieren, anstatt im Bereich der Abwasserinfrastrukturen an mehreren Betriebspunkten Massnahmen vorzusehen.

Um diese Abwägung machen zu können, sind bessere Daten/Informationen zu den gewerblich-industriellen P-Emittenten im EZG Greifensee notwendig. Auch bei einer dem GSchG [50] folgenden, verursachergerechten Kostenverteilung kann es für öffentliche Abwasserbetreiber interessant sein, die Elimination von P-Punktquellen z. B. gezielt mit Abwassergebührengeldern zu co-finanzieren, wenn das Kosten-Nutzen-Verhältnis der öffentlichen Beiträge besser ist als für andere Massnahmen im direkten Einflussrahmen der öffentlichen Betreiber.

Eine spätere Erhebung/Erfassung der für die P-Emissionen tatsächlich relevanten Betriebe im EZG sowie deren Standorte, konkrete Emissionsmengen und -zeitpunkte kann Aufschluss darüber geben, ob Massnahmen an gewerblich-industriellen P-Punktquellen evaluiert werden sollten. Eine Erfassung und Beprobung der betrieblichen Einleitungen inkl. Laboranalysen ermöglichen eine Analyse der chemischen Zusammensetzung der eingeleiteten Phosphorfraktionen. Die Analyse gibt Aufschluss darüber, wie gross der Anteil biologisch verfügbaren (P_{bio} , Kap. 2.1) und inerten bzw. schwer fällbaren Phosphors ist. Insbesondere bei industriellen Abwässern kann der schwer fällbare Phosphor in überwiegenden Mengen vorliegen [31][142]. Beide Fraktionen werden bei Messungen erfasst, aber häufig ist v. a. der P_{bio} für den Gewässerschutz relevant. Es klärt sich durch die Laboranalysen, ob aufgrund von Einleitmengen und eingeleiteter Phosphorfraktionen an gewerblich-industriellen Punktquellen Handlungsbedarf besteht.

8.3.4 Überprüfung Modellierungsansatz Regenwasserbewirtschaftung

Die Effekte der flächendeckenden Integration von blau-grünen Infrastrukturen (BGI) zum Zweck der lokalen Regenwasserbewirtschaftung wurde in der vorliegenden Studie im Modell implementiert. Die modelltechnische Abbildung erfolgte vereinfacht: entsprechend den abflusswirksamen Flächen im Bestand und im erwarteten Umfang des Neubaus (F_{red} , Kap. 4.4) wurden diese Flächen anteilig über alle Teileinzugsgebiet der Sonderbauwerke aus dem Modell entfernt bzw. in reduziertem Umfang neu hinzugefügt, sobald eine Regenwasserbewirtschaftung als Massnahme in einer Variante vorgesehen war (Kap. 6.3/0). Der gewünschte Effekt (verringertes Spitzenabfluss in der Kanalisation und weniger Regenabwasserabfluss insgesamt) zur Überprüfung der Auswirkungen auf die drei P-Emissionspfade konnte so erfolgreich getestet werden.

Für die spätere Massnahmenplanung und detaillierte Zuweisung von BGI-Einsatzorten und Anzahl der benötigten Anlagen reicht dieser vereinfachte Modellierungsansatz noch nicht aus. Aktuell existieren noch keine regulatorischen Vorgaben, wie genau BGI für welche modelltechnischen Ansätze berücksichtigt werden sollen. Unter Fachleuten werden verschiedene Möglichkeiten zur «korrekten», d. h. für den jeweiligen Planungs-/Anwendungsfall geeigneten Modellierung diskutiert. Geeignete Übersichten über Grenzen, Möglichkeiten und bisherige Erfahrungen finden sich in [27][30][37]. Für das EZG Greifensee ist ab dem Zeitpunkt detaillierterer Planungen die Konkretisierung der BGI-Modellierung zu definieren.

Zusätzlich ist es für die Verortung von BGI auf den Ebenen ARA-EZG, V-GEP und GEP relevant zu wissen, wo welcher Bedarf und welches naturräumlich-technische Umsetzungspotenzial für die Regenwasserbewirtschaftung besteht. Diese Informationen müssen kleinräumig – optimalerweise parzellenscharf – vorliegen, damit die entsprechenden Abkopplungsflächen identifiziert und den für die Modellierung relevanten Teileinzugsgebietsdatensätzen der Sonderbauwerke zugeordnet werden können. Im Kanton Zürich wurden diese Analysen und Zuordnungen erstmals im Limmattal für das ARA-EZG Limeco (zehn Gemeinden) kleinräumig durchgeführt und erfolgreich angewendet [60]. Werden diese Daten kleinräumig erhoben, verbessert es gleichzeitig die Robustheit der Datenbasis und Aussagekraft wichtiger Modellparameter wie die tatsächlich abflusswirksame Fläche (F_{red}), die sensitiven Einfluss auf das Modellergebnis hat (vgl. Kap. 7.5.2/7.5.3) und die auch an anderer Stelle als mit wichtigster Parameter bei der hydrologischen Modellierung identifiziert wurde [122][123].

In der vorliegenden Studie wurden z. T. vereinfachte Annahmen angewendet mit dem Ziel, erwartbare Wirkungsgrößen für einzelne Massnahmen zu identifizieren und miteinander vergleichen zu können (Kap. 6.3/7.2). Sinnvoll ist es für spätere Planungsphasen und für die nächsten Detailabklärungen, u. a. zur Festlegung der für jedes ARA-EZG konkreten Massnahmen, die Grundlagendaten zu verbessern sowie die bisher getroffenen Annahmen nachzuschärfen und zu verfeinern.

- **Beispiel Wirkung Regenwasserbewirtschaftung** (Kap. 7.2, Tabelle 18, Einzelmassnahme 6.3): Es sollte eine praxisnahe, an die lokalen Verhältnisse im ARA-EZG angepasste Annahme zu den tatsächlich nicht an die Kanalisation angeschlossenen Neubauflächen definiert werden (z. B. 85 % Neubauflächen anstatt wie hier 100 %). Eine Variation dieses Werts für Ist- und Prognose-Zustand oder etappierte Zwischenjahre ist ebenfalls denkbar. So kann die tatsächliche Wirkung der Einführung der Regenwasserbewirtschaftung auf das lokale Abwassersystem und damit die spezifische P-Emission verlässlicher abgeschätzt und die notwendigen Begleitmassnahmen definiert werden.

8.3.5 Einzugsgebietsweiter Erhebungsstandard relevanter Flächen

Die abflusswirksamen Flächen (F_{red}) haben für die Wirkung der P-Emissionen über die drei Emissionspfade ARA, TS und MW eine grosse Bedeutung. Wie gezeigt wurde, haben die abflusswirksamen Flächen einen sensitiven Einfluss auf die hier präsentierten Studienergebnisse (vgl. Kap. 7.5.2/7.5.3) und sie wurden in der Fachliteratur als mit wichtigstem Parameter bei der hydrologischen Modellierung identifiziert [122][123]. Gleichzeitig haben die verwendeten Grundlagendaten ergeben, dass die Flächenerhebungen und Angaben zu den Teileinzugsgebieten in den GEP grosse, qualitative Unterschiede aufzeigen (Kap. 4.3.1/7.5.3).

Langfristig empfiehlt sich daher, die Erhebung und Erfassung von parzellenscharfen Informationen zu den Flächen im Einzugsgebiet des Greifensees über alle Gemeinden so gut wie möglich zu homogenisieren und die Nachführungsprozesse zu standardisieren. Eine Standardisierung bringt den Vorteil, dass die Daten besser automatisch erhoben und nachgeführt werden können, sodass die Menge an «Handarbeit» reduziert werden kann.

Relevant für eine Homogenisierung des Erfassungsprozesses ist u. a., dass a) einheitliche, einzugsgebietsweite Standards für die Zuweisung von Jahres-/Spitzenabflussbeiwerten sowie Phosphorabtragsraten je nach Flächennutzungsart definiert werden (Kap. 4.7), b) die Datenbasis der Amtlichen Vermessung gleichen Stichtagen entspricht und c) die Zuweisung von Teilflächen je nach Entwässerungsart (Misch-/Trennsystem, modifiziertes Mischsystem) an die jeweiligen Kanalisationsleitungen und/oder Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung einheitlich geregelt wird.

Die Standardisierung der Flächenerfassung hilft zudem, zukünftig eine detailliertere Flächenunterscheidung vorzunehmen und im Modell genauer zu implementieren. Anstatt – wie aktuell – nur die abflusswirksamen Flächen abzubilden, können zukünftig befestigte und nicht befestigte Flächen erhoben, spezifische Oberflächenabtragsraten für Phosphor definiert und den Teileinzugsgebieten der Sonderbauwerke separat zugewiesen werden. Kombiniert mit Detailangaben aus den Werkkatastern zu Drainage-/Meliorationsleitungen (relevant z. B. im ARA-EZG Mönchaltorf) könnten Phosphorbeiträge aus befestigten und nicht befestigten Flächen unterschieden werden. Dies ist vorteilhaft, weil die jeweiligen P-

Reduktionsmassnahmen unterschiedlich sind. Im Vorfeld der Aufarbeitung dieser Flächenkategorisierung könnte für ein repräsentatives ARA-EZG untersucht werden, wie relevant unterschiedlichen Flächenarten, -nutzungen und P-Abtragsraten in Bezug auf die Gesamt-P-Emission sind; die Ergebnisse aus Kap. 7.5.2 lassen vermuten, dass der Einfluss eher gross ist.

Ein einheitliches Vorgehen bei der Erfassung von Flächendaten (sowie Versickerungsanlagen, vgl. Kap. 5.3) verbessert die Datengrundlage zur Abschätzung der P-Emissionen und ermöglicht eine strukturelle Vergleichbarkeit zwischen den Gemeinden. Dadurch können Massnahmen zur P-Reduktion bestmöglich verortet werden. Die kleinräumig erhobenen Daten können zudem für weitere Zwecke genutzt werden: Aktualisierungen von GEP/V-GEP inkl. Identifikation von potenziellen Abkopplungsflächen, Berechnungsbasis für Regenabwassergebühren, Vereinfachung des Flächen- und Phosphormonitorings (Kap. 8.3.2), Nutzung für gemeindespezifische Klimaprogramme (z. B. Planung von Massnahmen zur Hitzeminderung).

Im Kanton Zürich wurden durch die IKL Limeco (Limmattal) dazu algorithmusbasierte, GIS-gestützte Ansätze für ein EZG mit zehn Gemeinden getestet und als praktikabel bewertet [60]. Ziel ist es für die Limeco nun, den Prozess der Flächennachführung auf einer jährlichen Basis zu implementieren, sodass für verschiedene Zwecke jederzeit möglichst aktuelle Flächeninformationen zu den einzelnen Einzugsgebieten aus Gemeinden und Sonderbauwerken vorliegen.

8.3.6 Zusätzliche Bewertungsaspekte bei Variantenentscheid

Im Rahmen des Projekts RAG wurden in verschiedenen Sitzungen zusätzliche technische, organisatorische und betriebliche Aspekte der Kombinationsvarianten diskutiert, auf die im Projekt und im vorliegenden Bericht nicht näher eingegangen wurde, da der Fokus auf den P-Emissionen lag (vgl. Leitfragen, Kap. 3.3). Für einen zukünftigen Variantenentscheid können und sollten diese Aspekte aber relevante Entscheidungskriterien darstellen bzw. vorgängig intensiv diskutiert werden. Die Phosphoremissionen in das EZG Greifensee sind Auslöser für das Vorhaben «Regionale Abwasserentsorgung Greifensee»; dennoch ist Phosphor nicht der einzige relevante Aspekt bzgl. der Abwasserinfrastrukturen. Nachfolgend werden die diskutierten Aspekte hier nur aufgezählt, sodass ihre Entscheidungsrelevanz zu einem späteren Zeitpunkt definiert werden kann.

- Nutzung von Abwasserwärme in der Kanalisation oder auf ARA zur Bereitstellung von Wärme- und Kühlenergie für Gebäude und/oder gewerbliche Prozesse
 - Anzahl Betriebs- und Produktionspunkte für die Versorgung von ARA-Standorten und ggf. Umgebungsgebäuden mit Strom- und Wärmeenergie aus Klärgas/Biogas
 - Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser zur Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen (regulär oder temporär während ausgeprägten Trockenphasen) [73][74]
 - Optionen für die Rückgewinnung von Rohstoffen aus Abwasser, Abwasserstoffströmen und Klärschlamm, z. B. Phosphor (u. a. [78] und Kap. 6.4.6)
 - Vermeidbarkeit der Einleitung von gereinigtem Abwasser in kleine und mittlere Gewässer zur Erfüllung zukünftig strengerer Anforderungen an die Elimination Mikroverunreinigungen vs. Erhöhung von Mindestabflüssen in kleinen/mittleren Gewässern während zunehmenden Trockenphasen aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen
 - Relevanz der Beiträge von Emissionen von PFAS und Antibiotikaresistenzen aus Abwasser in die Gewässer und allfällige Vermeidbarkeit durch Behandlungsanlagen, alternative aber massentaugliche Sanitärkonzepte oder «abwasserfreie» Gewässerabschnitte [86]
 - Anzahl Betriebspunkte, Reaktionszeiten in Havariefällen und Anfahrtswege für Bewirtschaftungs- und Unterhaltsaufgaben im EZG Greifensee bei ARA und Siedlungsentwässerung
-

9 Literatur- und Referenzverzeichnis

- [1] AfU BL (2004): «Fremdwasser in Kanalisationen – Erkennen und vermeiden». Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft. Liestal, Januar, 2004.
- [2] Allison, R. A., Chiew, F. H. S., McMahon, T. A. (1998): «Nutrient contribution of leaf litter in urban stormwater». Journal of Environmental Management, 54(4), 269-272, 1998.
- [3] Ambühl, H. (1975): «Forschung am Vierwaldstättersee und die jüngste Entwicklung schweizerischer Seen». Gas, Wasser, Abwasser (GWA), 55(1), S. 5-16.
- [4] AWEL (2003): «Phosphorbelastung des Greifensees – Aktuelle Belastungen, Reduktionspotenziale und deren Kosten, Auswirkungen von Sanierungsmassnahmen auf den Seezustand». Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) der Baudirektion des Kantons Zürich, 15 S., Zürich, November 2003.
- [5] AWEL (2006): «Massnahmenplan Wasser Einzugsgebiet Greifensee». Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) der Baudirektion des Kantons Zürich, 31 S., Esslingen, April 2006.
- [6] AWEL (2020): «Anforderungen an die Einleitung von gereinigtem Abwasser in Fließgewässer und Seen im Kanton Zürich. Vollzugshilfe». Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) der Baudirektion des Kantons Zürich, 17 S., 01. Januar 2020.
- [7] AWEL (2022): «Regenwasserbewirtschaftung. Richtlinie und Praxishilfe zum Umgang mit Regenwasser». Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 2022.
- [8] AWEL (2023): «Wasser und Gewässer 2022». Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) der Baudirektion des Kantons Zürich, 132 S., Zürich, Januar 2023.
- [9] AWEL (2026): «Beurteilung Seezustand Greifensee 2025». Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) der Baudirektion des Kantons Zürich, 12.01.2026. <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/messdaten/gewaesserqualitaet-seen.html>
- [10] BAFU (2009): «Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwasserreinigung, Eine Bestandsaufnahme». Bundesamt für Umwelt, Bern, 2009.
- [11] BAFU (2016): «Der Pfäffikersee – Zustand bezüglich Wasserqualität». Faktenblatt. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern, 01. Juli 2016.
- [12] Barjenbruch, M., Heinzmann, B., Kober, P., Post, M., Remy, C., Rouault, P., Sommer, H., Sonnenberg, H., Weiß, B. (2016): «Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen». Abschlussbericht Forschungsprojekt im Berliner Umweltentlastungsprogramm UEP II/2. Berlin (D), 2016).
- [13] Beutler, P., Kianfar, B., Blumensaat, F., Maurer, M. (2018): «Klimawandel und Starkregen. Führt der Klimawandel zu veränderten Starkregen in der Schweiz? Ein Statusbericht». Aqua & Gas, 98(10), S. 14-20.
- [14] Beutler, P. Lienert, J. (2020): «Zukünftige Abwasserentsorgung im ländlichen Raum – Fallstudie 1». Technischer Bericht. Eawag, Dübendorf, 2020.
- [15] Beutler, P. Larsen, T. A., Maurer, M., Stauffer, P., Lienert, J. (2021): «Potenzial dezentraler Abwassersysteme». Aqua & Gas 101 (1), S. 66-75.
- [16] Blumensaat, F., Bloem, S., Ebi, C., Disch, A., Förster, C., Maurer, M., Rodriguez, M., Rieckermann, J. (2026): «The UWO dataset – long-term observations from a full-scale field laboratory to better understand urban hydrology at small spatio-temporal scales». Earth System Science Data, 2026, 18(7), 5187-5208.

- [17] Brombach, H., Michelbach, S. (1998): «Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaus-
trags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees». Studie. Bericht (Nr. 49) der In-
ternationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), 1998.
 - [18] Brombach, H., Fuchs, S. (2001): «Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von
Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkanalisationen». Abschlussbericht
ATV-DVWK-Forschungsfonds 2001 (Langfassung). Bad Mergentheim/Karlsruhe, 2001.
 - [19] Brombach, H., Fuchs, S., Weiss, G. (2005): «A new database on urban runoff pollution: com-
parison of separate and combined sewer systems». Water Science & Technology, 51(2), 119-
128, 2005.
 - [20] Buss, R., Rusch, J., Würfel, S., Hofmann, M., Gresch, M. (2021): «Modellierung mit Radarregen-
daten – Potenzial für die Validierung von Kanalnetzmodellen». Aqua & Gas 101(10), S. 26-33,
2021.
 - [21] Buss, R., Gresch, M., Flury, R., Fuchs, L., Krieger, K. (2022): «Hydraulische Beurteilung – Lei-
stungsfähigkeit von Kanalisationen und Umgang mit Oberflächenabfluss». Aqua & Gas 102(10),
S. 42-46, 2022.
 - [22] Bühner, H., Szabó, E., & Ambühl, H. (1984): «Die Belastung des Greifensees mit Phosphor, Stick-
stoff, Kohlenstoff, geochemischen Stoffen und Schwermetallen in den Jahren 1977/78: Metho-
dik und Resultate». Wasser, Energie, Luft, 76(11-12), S. 267-274.
 - [23] DWA (2011): «Arbeitsblatt DWA-A 202. Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von
Phosphor aus Abwasser». Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall,
Hennef (D), 2011.
 - [24] DWA (2012): «Merkblatt DWA-M 182. Fremdwasser in Entwässerungssystemen außerhalb von
Gebäuden». Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef (D),
2012.
 - [25] DWA (2016): «Arbeitsblatt DWA-A 131. Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen». Deut-
sche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef (D), 2016.
 - [26] DWA (2019): «Arbeitsblatt DWA-A 178. Retentionsbodenfilteranlagen». Deutsche Vereinigung
für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef (D), 2019
 - [27] DWA (2022): «Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4. Grundsätze zur Bewirtschaftung und Be-
handlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasser-
haushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers.». Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef (D), März 2022.
 - [28] DWA (2024): «Arbeitsblatt DWA-A 138-1. Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser
– Teil 1: Planung, Bau, Betrieb». Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und
Abfall, Hennef (D), 2024.
 - [29] DWA (2024): «Merkblatt DWA-M 606. Grundlagen und Massnahmen der Seentherapie». Deut-
sche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef (D), 2024.
 - [30] DWA (2026): «Modellierung von Blau-Grünen Infrastrukturen». Arbeitsbericht der DWA-Ar-
beitsgruppe SR-2.6 «Abfluss und Schmutzfrachtsimulation». Korrespondenz Abwasser, Abfall
73 (6), S. 480-487. Hennef (D), 2026.
 - [31] DWA (2026): «Schwer fällbare Phosphorverbindungen in industriellen Abwässern – Teil 1: Vor-
kommen, Umgang und Ersatzstrategien». Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe IG-5.2. Kor-
respondenz Abwasser, Abfall 73 (6), S. 507-513. Hennef (D), 2026.
-

-
- [32] DWA (2026): «DWA-A 202. Elimination von Phosphor aus Abwasser». Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef (D), Mai 2026.
- [33] Etter, C. (2023): «Überdüngung – Toxische Bakterien in tiefster Tiefe». Horizonte – Das Schweizer Forschungsmagazin, 07. September 2023.
- [34] FHNW (2024): «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA». Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, 2024
- [35] Forber, K. J., Rothwell, S. A., Metson, G. S., Jarvie H. P. Withers, P. J. A. (2020): «Plant-based diets add to the wastewater phosphorus burden». Environmental Research Letters, 2020, 15(9), 094018.
- [36] Francescangeli, D., Diebold, M., Doda, T., Perga, M. E., Bouffard, D., Janssen, D., Daouk, S., Rossi, L. (2024): «La modélisation comme outil de gestion des Lacs en Suisse. Exemple du phosphore». Aqua & Gas, 104(10), S. 72-82.
- [37] Fuchs, K., Funke, F., Hörnschemeyer, B., Schnaut, S., Staufer, P. (2026): «Eignung und Grenzen von Modellansätzen zur Abbildung Blau-Grüner Infrastrukturen». Korrespondenz Abwasser, Abfall 73 (6), S. 488-497. Hennef (D), 2026.
- [38] Fundneider, T. (2020): «Filtration und Aktivkohleadsorption zur weitergehenden Aufbereitung von kommunalem Abwasser – Phosphor- und Spurenstoffentfernung». Dissertation, TU Darmstadt, Fachbereich 13 Bau- und Umweltingenieurwissenschaften. Darmstadt (D), Februar 2020.
- [39] Fundneider, T., Hernandez, A., Grabbe, U. (2022): «Polstofffiltration zur Wasseraufbereitung: Etablierung einer Technologie». gwf-Wasser | Abwasser 2022 (05), S. 105-110.
- [40] Gantner, K. (2002): «Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungsmethoden». Dissertation. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Berlin. Berlin, 2002.
- [41] Gächter, R., Imboden, D., Bühner, H., Stadelmann, P. (1983): «Mögliche Massnahmen zur Restaurierung des Sempachersees». Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, 1983, 45(1), S. 247-266.
- [42] Geoinfra (2008): «Entwässerungsschema (IST-Zustand)». GEP Hittnau / Technischer Bericht / Anhang K. Geoinfra Ingenieure AG, 2008
- [43] Geoinfra (2023): «Entwässerungsschema IST-Zustand (Entwurf)». GEP Grüningen. Geoinfra Ingenieure AG, 2023.
- [44] GIAG (2023), «Einleitschema Ist-Zustand». GEP Egg. Gossweiler Ingenieure AG, Kloten, 2023.
- [45] GIAG (2023): «Einleitungsschema Ist-Zustand». GEP Oetwil am See. Gossweiler Ingenieure AG, Kloten, 2023.
- [46] Göttle, A. (1978): «Ursachen und Mechanismen der Regenwasserverschmutzung. Ein Beitrag zur Modellierung der Abflussbeschaffenheit in städtischen Gebieten». Wissenschaftliche Fachpublikation in der Schriftenreihe «Berichte aus Wasserwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen», Nr. 23. Technische Universität München, 1978.
- [47] Granger Morgan, M., Henrion, M. (1990): "Uncertainty - A Guide To Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis". Cambridge University Press, 1990.
- [48] Greifensee (1998): «Genereller Entwässerungsplan (GEP) Greifensee». Technischer Bericht, Wädensweiler & Buchmann AG, Uster, 1996 (Bewilligung: 1998).

- [49] Grotehusmann, D. (2008): «Niederschlagswassereinleitungen – Konzepte, Auswirkungen, Behandlungsmöglichkeiten.» Präsentationsfolien UAN (19.06.2008). Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, Hannover.
 - [50] GSchG (1991): «Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG)» vom 24. Januar 1991 in der Fassung vom 01. Januar 2024, Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, SR 814.20.
 - [51] GSchV (1998): «Gewässerschutzverordnung (GSchV)» vom 28. Oktober 1998 in der Fassung vom 01. Dezember 2025, Schweizerischer Bundesrat, SR 814.201.
 - [52] Gujer, W. (2008): "Systems Analysis for Water Technology". Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
 - [53] HBT (2003): «Entwässerungskonzept/Vorprojekt». GEP Bäretswil – Überarbeitung. Gebr. Hunziker AG, Winterthur, 2003.
 - [54] HBT (2007): «GEP Pfäffikon: Systemskizze Ist-Zustand». GEP Pfäffikon. Gebr. Hunziker AG, Winterthur, 2007.
 - [55] HBT (2008): «GEP Wetzikon Phase II: Einleitungsschema IST-Zustand». GEP Wetzikon. Gebr. Hunziker AG, Winterthur, 2008.
 - [56] HBT (2021): «Q_{dim} ARA Uster auf Basis von Kapazitäten der ARA und im Kanalnetz». Technischer Bericht, Hunziker Betatech AG, Winterthur, 2021.
 - [57] HBT (2022): «Ausbau ARA Bachwis 2050: Abgleich Kanalnetz-ARA». Technischer Bericht, Hunziker Betatech AG, Winterthur, 2022.
 - [58] HBT (2023): «Kostenstudie EMV-Kleinanlagen». Technischer Bericht, Hunziker Betatech AG, Winterthur, 2023
 - [59] HBT (2023): «Entwässerungskonzept (Entwurf)». Überarbeitung GEP Gossau. Hunziker Betatech AG, Zürich, 2023.
 - [60] HBT (2025): «Limmattal – Potenzialanalyse Schwammstadt und Regenabwasser». Technischer Bericht, Hunziker Betatech AG, Winterthur, 2025.
 - [61] HeGo (2025): «FerroSorp® GW. Eisenhydroxidbasierte Adsorbentmaterialien für die Gewässer-sanierung und -restaurierung». HeGo Biotec Produkt-/Informationsbroschüre. Berlin (D), 2025.
 - [62] Hennerkes, J. A., Schmidt, A., Schröder, M., Sistemich, S. (2006): «Entwicklung einer systematischen Vorgehensweise zur Fremdwasservermeidung und -reduzierung». Korrespondenz Abwasser, Abfall 53 (4), S. 354-361, Hennef, 2006.
 - [63] Hennerkes, J. A. (2006): «Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung». Dissertation, Fakultät Bauingenieurwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH). Aachen, Oktober 2006.
 - [64] HOLINGER (2022): «ARA Mönchaltorf: Frachtmodellierung Kanalnetz». Technischer Bericht. HOLINGER AG, Liestal, 2022.
 - [65] Holsten, B., et al. (2012): «Potentiale für den Einsatz von Nährstoff-Filtersystemen in Deutschland zur Verringerung der Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer». Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 56.1 (2012), S. 4-15.
-

- [66] Hupfer, M., Gohr, F. Krause, D., Mathes, J., Spieker, J., Wanner, S., Lewandowski, J. (2013): «Vorbereitung und Auswahl von Massnahmen zur Seentherapie». Korrespondenz Wasserwirtschaft 6 (12), S. 710-717. Hennef (D), 2013.
- [67] IGB (2026): «Hilfe für Seen im schlechten Zustand – ein Leitfaden.» IGB Manual. Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB). Berlin, 2026.
- [68] INFRAconcept (2026): «Regionale Abwasserentsorgung Greifensee – Trägerschaft und Wirtschaftlichkeit». INFRAconcept AG, 22 S., Bern, 31.03.2026.
- [69] Jaun, L., Bloesch, J., Diem, T., Wüest, A. (2006): «Sanierungsziele Lauerzersee. P- Reduktionsziele zur Verbesserung der Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser des Lauerzersees während der Sommerstagnation unter Berücksichtigung von geogenem Methan». Bericht, Eawag.
- [70] Kiefer, I., Steinsberger, T., Wüest, A., Müller B. (2020): «Sauerstoffzehrung in Seen». Aqua & Gas 100 (7/8), S. 62-70.
- [71] Kiefer, I., Müller, B., Wüest, A. (2021): «Anleitung zur Analyse von Sauerstoffzehrung und Netto-Ökosystemproduktion in Seen. Arbeitshilfe zur Ermittlung relevanter Grössen der Trophie von Seen». Eawag/École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Kastanienbaum/Lausanne, 2021.
- [72] Kiefer, I., Steinsberger, T., Wüest, A., Müller, B. (2021): «Netto-Ökosystem-Produktion in Seen – Bestimmung aus Monitoring-Daten». Aqua & Gas 101 (4), S. 22-29.
- [73] Knabl, M. A., Rist, B., Morgenroth, E. (2024): "Wasserwiederverwendung in der Schweiz – Bedarf, Chancen, Risiken und abgeleitete Handlungsempfehlungen für Verantwortliche". Abschlussbericht, Eawag, Dübendorf, Mai 2024.
- [74] Knabl, M. A., Rist, B., Morgenroth, E. (2024): "Wiederverwendung von Wasser – auch in der Schweiz". Aqua & Gas 104 (7/8), 2024.
- [75] Kreikenbaum, S., Krejci, V., Fankhauser, R., Rauch, W. (2004): «Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Planung». GAS WASSER ABWASSER (gwa) 84(8), S. 587-594, 2004.
- [76] Kroiss, H., Zessner, M., Lampert, C. (2008): «Die Bedeutung des Phosphormanagements in der Siedlungswasserwirtschaft am Beispiel des Donaeinzugsgebiets.» Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 60 (3), S. 35-43, 2008.
- [77] Larsen, T. A., Gujer, W. (1996): «Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine)». Water Science and Technology 34.3-4 (1996): pp. 87-94.
- [78] Larsen, T. A., Udert, K. M., Lienert, J. (2013): «Source Separation and Decentralization for Wastewater Management». IWA Publishing. London, 2013.
- [79] Larsen, T. A., Hoffmann, S., Lüthi, C., Truffer, B., Maurer, M. (2016): «Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world». Science (352), Issue 6288, pp. 928-933, 20th May 2016.
- [80] Lewandowski, J. (2002): «Untersuchungen zum Einfluss seeinterner Verfahren auf die Phosphor-Diagenese in Sedimenten». Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Humboldt-Universität Berlin, 2002.
- [81] Lewandowski, J., Schauser, I., Hupfer, M. (2002): «Bedeutung von Vor- und Nachuntersuchungen in der Seentherapie». Wasser und Boden 54/9, S. 21-25.

- [82] Lewandowski, J., Hoehn, E., Kasprzak, P., Kleeberg, A., Kurzreuther, H., Lücke, N., Mathes, J., Meis, S., Röncke, H., Sandrock, S., Wauer, G., Rothe, M., Hupfer, M. (2013): «Gewässerinterne Ökotechnologien zur Verminderung der Trophie von Seen und Talsperren». Korrespondenz Wasserwirtschaft 6 (12), S. 718-728. Hennef (D), 2013.
 - [83] Lienert, J., Scholten, L., Egger, C., Maurer, M. (2015): "Structured decision-making for sustainable water infrastructure planning and four future scenarios". EURO Journal on Decision Processes 3(1), S. 107-140.
 - [84] Londong, J. (2003): «Auswirkungen von Fremdwasser auf Kanalisation und Kläranlage». Bauhaus-Universität Weimar. Tagungsbeitrag 4. ATV-DVWK-Landesverbandstagung Suhl, 20.05.2003.
 - [85] Londong, J., Barth, M., Söbke, H. (2021): «Modeling and simulation of source separation in sanitation systems for reducing emissions of antimicrobial resistances». Water 13.23 (2021): 3342, pp. 19.
 - [86] Londong, J. (2022): «HOSS: Ein Hygiene-orientiertes Siedlungsentwässerungssystem». Korrespondenz Abwasser, Abfall 69 (1), S. 28-35. Hennef (D), 2022.
 - [87] Look, J., Nogueira, R., Joost, I., Mennerich, A., Bödecker, J., Voß, E., Oelker, K., Wallner, M. (2023): «Analyse der räumlichen und zeitlichen Variabilität kommunaler Abwässer im Kanalsystem». Korrespondenz Abwasser, Abfall 70 (12), S. 938-949. Hennef (D), 2023.
 - [88] Maurer, M., Chawla, F., von Horn, J., Staufer, P. (2012): «Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz». Hrsg.: Eawag – das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs. Dübendorf, August 2012.
 - [89] Märki, E. (1944): «Chemische, physikalische und bakteriologische Untersuchungen am Greifensee». Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich, 1944.
 - [90] Mecana (2024): «Phosphorentfernung mit Polstofffiltration». Angaben der Unternehmenswebseite und Webinar vom 03.03.2025. Mecana AG Reichenburg, 2024.
 - [91] Meinikmann, K., Barsch, A., Gelbrecht, J., Grüneberg, B., Wanner, S., Wolf, L., Zak, D., Lewandowski, J. (2013): «Diffuse Belastung von Seen aus dem Einzugsgebiet». Korrespondenz Wasserwirtschaft 6 (12), S. 702-709. Hennef (D), 2013.
 - [92] Meißner, E. (1991): «Abschätzung der mittleren Jahresschmutzwasserfracht aus Mischwassereinleitungen». Wissenschaftliche Fachpublikation in der Schriftenreihe «Wasser – Abwasser – Abfall» des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der Universität-Gesamthochschule Kassel, Heft 7. Kassel, 1991.
 - [93] MeteoSchweiz & ETH Zürich (2025): «Klima CH2025 – Klimazukunft Schweiz». Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich, 2025. <https://doi.org/10.18751/climate/scenarios/ch2025/brochure/1.0/de>
 - [94] Merz, E., Saberski, E., Gilarranz, L. J., Isles, P. D. F., Sugihara, G., Berger, C., Pomati, F. (2023): «Disruption of ecological networks in lakes by climate change and nutrient fluctuations». Nature Climate Change 13, S. 389-396 (2023).
 - [95] Miguntanna, N., Liu, A., Egodawatta, P., Goonetilleke, A. (2013): «Charaterising nutrients wash-off for effective urban stormwater treatment design». Journal of Environmental Management, 120 (2013), 61-67.
-

- [96] Minkowski, C., Rehberger, K., Maurer, V., Guthruf, K., Börenbold, F., Schmid, M. (2022): «Vor-alpen- und Jurarandseen – Veränderungen von Temperatur, Zirkulationsverhalten und Sauerstoffgehalt». Aqua & Gas 102 (12), S. 52-57, 2022.
- [97] MKULNV (2015): «Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb». Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW). 2., aktualisierte Auflage, Düsseldorf (D), 2015.
- [98] Morgenthaler (2003): «Gesamtphosphorbelastung aus Abwasserreinigungsanlagen im Einzugsgebiet des Greifensees». Technischer Bericht (107 S.). Hrsg.: Baudirektion des Kantons Zürich. Morgenthaler Ingenieure AG, Zürich, Sept. 2003.
- [99] Moosmann, L., Sturm, M., Müller, B., Wüest, A. (2003): «Phosphorhaushalt des Greifensees – Belastung und seeinterne Umsätze / Zusammenhang zwischen Belastung und Seezustand.» Eawag, Kastanienbaum, 2003.
- [100] Moosmann, L., Wüest, A. (2003): «Phosphorbilanz von Sempachersee und Baldeggersee. Teil I: Eintrag durch Zuflüsse». Bericht, Eawag. Kastanienbaum, Juli 2003.
- [101] Moosmann, L., Wüest, A. (2003): «Phosphorbilanz von Sempachersee und Baldeggersee. Teil II: Phosphorbilanzen während der künstlichen Belüftung des Sempacher- und Baldeggersees». Bericht, Eawag. Kastanienbaum, Juli 2003.
- [102] Moosmann, L., Wüest, A. (2003): «Phosphorhaushalt des Zugersees». Bericht, Eawag. Kastanienbaum, August 2003.
- [103] Moosmann, L., Wüest, A. (2004): «Sanierung des Lauerzersees – Phosphoreintrag und -bilanz». Bericht Eawag, 8 S. Kastanienbaum, 2004.
- [104] MUGV (2012): «Reduzierung der Nährstoffbelastungen von Dahme, Spree und Havel in Berlin sowie der Unteren Havel in Brandenburg. Teil 2: Quantifizierung und Dokumentation der pfadspezifischen Eintragsquellen.» Handlungskonzept BB BE. Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin. Berlin/Potsdam, 21.12.2012.
- [105] Müller, B., Müller, R., Schäffer, E., Stierli, R., Taverna, A., Illi, R. (2010): «Der Vierwaldstättersee Früherkennungsprogramm. Berichte über die 7-Becken-Messkampagnen von 2000, 2004 und 2010». Bericht, Eawag. Kastanienbaum, August 2010.
- [106] Müller, B. (2017): «Abschätzung der mittleren Phosphor-Konzentration im Vierwaldstättersee für verschiedene Eintragsfrachten». Interner Bericht, Eawag. Kastanienbaum, 2017.
- [107] Müller, B., Wüest, A. (2018): «Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht zum Hallwilersee». Bericht, Eawag. Kastanienbaum, Oktober 2018.
- [108] Nixdorf, B., Rücker, J., Dolman, A. M., Wiedner, C., Hilt, S., Kasprzak, P., Köhler, A., van de Weyer, K., Sandrock, S., Scharf, E.-M., Willmitzer, H. (2013): «Prozessverständnis als Grundlage für die Gewässerbewirtschaftung». Korrespondenz Wasserwirtschaft 6 (12), S. 693-701. Hennef (D), 2013.
- [109] Pamuru, S. T., Forgione, E., Croft, K., Kjellerup, B., Davis, A. P. (2022): «Chemical characterization of urban stormwater: Traditional and emerging contaminants». Science of the Total Environment, 813, 151887.
- [110] Pleisch, P. (1970): «Die Herkunft eutrophierender Stoffe beim Pfäffiker- und Greifensee». Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 1970.

- [111] Roberts, P. V., Dauber, L., Novak, B., Zobrist, J. (1976): «Schmutzstoffe im Regenwasser einer städtischen Trennkanalisation». Gas, Wasser, Abwasser (GWA), 56(12), S. 672-679. Zürich, 1976.
 - [112] RRB (1978): Beschluss des Regierungsrats des Kantons Zürich vom 10. Mai 1978, RRB Nr. 1877.
 - [113] Schäfer, M. (1999): «Regionalisierte Stoffstrombilanzen in städtischen Einzugsgebieten, Möglichkeiten, Probleme und Schlussfolgerungen». Dissertation. Karlsruhe (D), 1999.
 - [114] Schmid, M., Janssen, D. (2023): «Sauerstoffdefizit im Lauerzersee: Review bisheriger Arbeiten als Grundlage für die künftige Überwachung und die Beurteilung möglicher Massnahmen». Bericht, Eawag. Kastanienbaum, 29. November 2023.
 - [115] Schmitt, T. G., Welker, A., Dierschke, M., Uhl, M., Maus, C., Remmler, F. (2010): «Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren». Schlussbericht an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) und an die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA). Hennef, 2010.
 - [116] Schmitt, T. G., Grün, E., Spengler, B., Becker, M. (2016): «Aktiver Gewässerschutz durch Regenwasserabkopplung». Korrespondenz Abwasser, Abfall 63 (12), S. 1055-1061. Hennef (D), 2016.
 - [117] Schmitt, T. G. (2021): «Mischkanalisation 2021 – Quo vadis?». Korrespondenz Abwasser, Abfall 68 (6), S. 430-439. Hennef (D), 2021.
 - [118] Schneider, L., Schweizer, J. (2024): «Broye: impact des régionalisations. La modélisation STEP-milieu récepteur pour évaluer l'impact des projets de STEP régionales.». Aqua & Gas, 104(7/8), S. 58-62.
 - [119] Schulthess (2004): «Gemeinde Hinwil, GEP 2004». Schulthess + Dolder AG, Rüti ZH, 2004.
 - [120] Schulthess (2008): «Genereller Entwässerungsplan Seegräben». Schulthess + Dolder AG, Rüti ZH, 2008.
 - [121] Schulz, W., Niemann, J., Kleber-Lerchbaumer, U., Kaballo, H. (1992): «Wirksamkeit von Regenbecken in Mischsystemen zur Beeinflussung des Transportes von anthropogenen Schadstoffen.». Wissenschaftlicher Bericht Forschungsprojekt. Schriftenreihe ISSW, Karlsruhe, 1992.
 - [122] Sedki, K., Neumann, J., Klippstein, C., Dittmer, U. (2023): «Einflüsse auf die Kalibrierbarkeit urbanhydrologischer Modelle – Teil 1: Unsicherheitseinflüsse und Kalibriermethoden». Korrespondenz Abwasser, Abfall 70 (4), S. 258-265. Hennef (D), 2023.
 - [123] Sedki, K., Neumann, J., Klippstein, C., Dittmer, U. (2023): «Einflüsse auf die Kalibrierbarkeit urbanhydrologischer Modelle – Teil 2: Ergebnisse und Diskussion». Korrespondenz Abwasser, Abfall 70 (6), S. 424-432. Hennef (D), 2023.
 - [124] Selbig, W., Buer, N., Bannerman, R., Gaebler, P. (2020): «Reducing Leaf Litter Contributions of Phosphorous and Nitrogen to Urban Stormwater through Municipal Leaf Collection and Street Cleaning Practices». Scientific Investigations Report 2020-5109. United States Geological Survey (USGS).
 - [125] Shatwell, T., Jordan, S., Ackermann, G., Dokulil, M., Rücker, J., Scharf, W., Wagner, A., Kasprzak, P. (2013): «Langzeitbeobachtungen zum Einfluss von Klimawandel und Eutrophierung auf Seen und Talsperren in Deutschland». Korrespondenz Wasserwirtschaft 6 (12), S. 729-736. Hennef (D), 2013.
-

- [126] Sieker, F. (2003): «Regen(ab)wasser und Misch(ab)wasser, eine vernachlässigte Schmutzquelle». GWF Wasser Abwasser 144 (9), S. 614-617, 2003.
- [127] Sperlich, A. (2010): «Phosphate adsorption onto granular ferric hydroxide (GFH) for wastewater reuse». Dissertation, TU Berlin, Fakultät III Prozesswissenschaften, Juli 2010.
- [128] Statistik ZH (2023): «Regionalisierte Bevölkerungsprognose für den Kanton Zürich – Trend ZH 2023». Autor: S. Weingartner. Hrsg.: Statistisches Amt Kanton Zürich. Zürich, 2023.
- [129] Statistik ZH (2023): Datensatz der kantonalen Bevölkerungserhebung zwischen 1962 bis 2022. Statistisches Amt Kanton Zürich. Abgerufen am 30. November 2023.
- [130] Staufer, P., Hennerkes, J., Hausmann, R. (2006): «Entwicklung einer systematischen Herangehensweise zur Fremdwasservermeidung und -reduzierung im ländlichen Raum.» RWTH Aachen, Tagungsunterlagen BEW-MINLV-Seminar, Essen, 24. August 2006.
- [131] Staufer, P., Sistemich, S., Haussmann, R., Stepkes, H. (2008): «Erfahrungen bei der Umsetzung von Massnahmen zur Fremdwasserreduzierung». Tagungsbeitrag 7. DWA Regenwassertage. Aachen, 2008.
- [132] Staufer, P., Leckebusch, G., Pinnekamp, J. (2010): «Die Ermittlung der relevanten Niederschlagscharakteristik für die Siedlungsentwässerung im Klimawandel». Korrespondenz Abwasser, Abfall 57 (12), S. 1203-1208. Hennef, 2010.
- [133] Staufer, P., Scheidegger, A., Rieckermann, J. (2012): «Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow». Water Research, 46(16), 5185-5196.
- [134] Suarez, E. L., et al. (2023): «The emergence and dominance of Planktothrix rubescens as an hypolimnetic cyanobacterium in response to re-oligotrophication of a deep peri-alpine lake». Limnology and Oceanography 68.6 (2023): p. 1346-1359.
- [135] Swisstopo (2023-2026): Im Projekt RAG wurden diverse kostenlose Geodaten und Geodienste des Bundesamts für Landestopografie (swisstopo) verwendet: <https://www.swisstopo.admin.ch/de/nutzungsbedingungen-kostenlose-geodaten-und-geodienste>.
- [136] SWR (2003): «Greifensee. Phosphoreintrag aus Trennsystem und Überläufen – Mengenermittlung und Massnahmen zur Reduktion». Technischer Bericht (66 S.). Hrsg.: Baudirektion des Kantons Zürich. Ingenieur- und Vermessungsbüro Sennhauser, Werner & Rauch AG (SWR), Dietikon, 2003.
- [137] Tinner, B., Suter, L. (2003): «Studie zur Effizienz von Massnahmen zur Reduktion des Phosphoreintrags in den Greifensee». Diplomarbeit ETH Zürich, Technischer Bericht. Uster/Zürich, 18. Juli 2003.
- [138] Udert, K. M. (2002): «The fate of nitrogen and phosphorus in source-separated urine». Dissertation, ETH Zürich, 2002.
- [139] Udert, K. M. et al. (2019): «Faktenblatt Urinseparierung». Eawag. Dübendorf, 2019.
- [140] Uster (2008): «Genereller Entwässerungsplan (GEP)». Ingenieurgemeinschaft IG ewp/ilu/BUPA, Effretikon/Uster, 2008.
- [141] UWE (2025): «Zustandsbericht Mittellandseen – Zustand der Mittellandseen aufgrund aktuellster Gewässerdaten.» Ausgabe 2025 zuhanden der Arbeitsgruppe Seesanieung Mittellandseen (ASSAN). Hrsg.: Amt für Umwelt und Energie Kt. Luzern (UWE) und Amt für Umwelt Kt. Aargau. 43 S. Luzern, April 2025.

- [142] Valerius, B., Knerr, H., Steinmetz, H., Gantner, K., Hennigs, J., Poppelreiter, N., Ney, B., Wölle, J. (2026): «Spurenstoffelimination mittels Pulveraktivkohle und Flexbed Filter – Ergebnisse aus dem Versuchsbetrieb auf der Kläranlage Speyer». Korrespondenz Abwasser, Abfall 73 (4), S. 273-281. Hennef (D), 2026.
 - [143] VSA (2011): «Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung». Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) / Kommunale Infrastrukturen (KI), Glattbrugg, 2011.
 - [144] VSA (2019): «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter». Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg, 2019.
 - [145] VSA (2025): «Leitfaden GEP». Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg, 2025.
 - [146] Vuna (2016): «VUNA Handbook on Urine Treatment». Editors: Bastian Etter, Kai M. Udert. Eawag. Dübendorf, März 2016.
 - [147] VunaNexus AG (2025): Diverse persönliche Auskünfte und Feedbacks von Nadège de Chambrier-Wulff und David de Chambrier zu Dimensionierungs- und Kostenschätzungsangaben für Anlagen und Bestandteile zur Urinaufbereitung im August 2025.
 - [148] Wald, C. (2022): «How recycling urine could help save the world». Nature (602), pp. 202-206, 10th February 2022.
 - [149] Wassmann, H. (1996): «Grundlagen der immissionsorientierten Regenwasserbewirtschaftung in Ballungsräumen». Schriftenreihe Texte Umweltbundesamt (Bd. 76/95). Berlin/Desau, 1996.
 - [150] Welker, A. (2004): «Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf – Aufkommen und Verteilung insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen.» Habilitationsschrift. Schriftenreihe des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der TU Kaiserslautern. Band 20, Kaiserslautern, 2004.
 - [151] Welker, A., Huber, M., Dierschke, M., Drewes, J. E., Helmreich, B. (2015): «Weitergehende Anforderungen an dezentrale Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse: organische Schadstoffe und Phosphor». Manuskript 5. Aqua Urbanica. Hrsg. in: Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, S. 91-108. Stuttgart, 2015.
 - [152] Welker, A., Dierkes, C., Dierschke, M., Huber, M. (2017): «Evaluation of novel sorption media filter materials for the advanced treatment of stormwater runoff from highways». Abstract and presentation slides. International Conference on Urban Drainage (ICUD). Prag, 2017.
 - [153] Welker, A. (2023): Persönliche Mitteilung diverse Literaturquellen im Oktober 2023.
 - [154] Winker, Martina, et al. (2008): «A comparison of human pharmaceutical concentrations in raw municipal wastewater and yellowwater». Science of the total environment 399.1-3 (2008): pp. 96-104.
 - [155] WsG (2026): «Wassergesetz des Kantons Zürich (WsG)» vom 12. Dezember 2022 in der Fassung vom 01. Juni 2026. Regierungsrat des Kantons Zürich.
 - [156] Zamzow, M., Seis, W., Matzinger, A., Hörnschemeyer, B. (2022): «Immissionsbasiertes Bewertungstool. Belastungspotenzial abschätzen, um Anschluss urbaner Flächen an Trennkana-lisation zu planen.» Aqua & Gas, 102(12), S. 68-73.
-

10 Abkürzungsverzeichnis / Glossar

Tabelle 49: Abkürzungsverzeichnis / Glossar.

Abkürzung	Bedeutung
ARA	Abwasserreinigungsanlage (auch: Kläranlage / Klärwerk)
ARA-EZG	Einzugsgebiet einer Abwasserreinigungsanlage (siehe auch: ARA, EZG)
ARE	Amt für Raumentwicklung (Kanton Zürich)
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Aufsichtsbehörde Kanton Zürich)
BB	Belebungsbecken; Verfahrensstufe auf einer ARA
BGI	Blau-grüne Infrastrukturen; Sammelbegriff für Massnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung nach Schwammstadtprinzipien (z. B. Mulden-Rigolen-System, Baumgrube, Versickerungsanlage etc.)
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf; typischer Abwassersummenparameter, um die Belastung eines Abwassers mit sauerstoffzehrenden Kohlenstoffverbindungen zu bewerten
EMV	Elimination Mikroverunreinigung (= Technologien und Verfahrensschritte, um Mikroverunreinigungen/Spurenstoffe aus dem Abwasser zu entfernen)
DBH	Durchlaufbecken im Hauptschluss; Sonderbauwerk (siehe: SBW) mit Speichervolumen für Mischabwasser, das permanent durchflossen wird und zusätzlich eine Entlastungsmöglichkeit von übermässigem Mischabwasseranfall in die Gewässer besitzt
DBN	Durchlaufbecken im Nebenschluss; Sonderbauwerk (siehe: SBW) mit Speichervolumen für Mischabwasser, das nicht permanent durchflossen wird und zusätzlich eine Entlastungsmöglichkeit von übermässigem Mischabwasseranfall in die Gewässer besitzt
EW	Einwohnerwert EW_x : Typischerweise die Menge Schmutzfracht eines Abwasserstoffs X, welche von einer natürlichen Person (E) durchschnittlich pro Tag ausgeschieden und damit einer ARA zugeführt wird. Der Einwohnerwert dient als Bezugsgrundlage zur Bewertung der Abwasserbelastung aus Haushalten (E), Industrie und Gewerbe (EGW). $EW = E + EGW$
EZG	Einzugsgebiet (siehe: TEZG)
FBH	Fangbecken im Hauptschluss; Sonderbauwerk (siehe: SBW) mit Speichervolumen für Mischabwasser, das permanent durchflossen wird
FBN	Fangbecken im Nebenschluss; Sonderbauwerk (siehe: SBW) mit Speichervolumen für Mischabwasser, das nicht permanent durchflossen wird
FW	Fremdwasser; nicht verschmutztes (Ab-)Wasser, das von der Kanalisation ferngehalten werden muss, da es Kapazitäten der Abwasserinfrastrukturen belegt, deren Gewässerschutzwirkung beeinträchtigt und Betriebskosten erhöht
GAK	Granulierte Aktivkohle
GEP	Generelle Entwässerungsplanung bzw. Genereller Entwässerungsplan für das Einzugsgebiet einer Stadt/Gemeinde
GIS	Geoinformationssystem (Datenbanksystem für räumliche Geodaten)
Gmde.	Gemeinde
GWP	Generelle Wasserversorgungsplanung bzw. Genereller Wasserversorgungsplan
HBT	Hunziker Betatech AG
MS	Mischsystem; Kanalisation, bei der Schmutz- und Regenabwasser in der gleichen Leitung gemischt abgeleitet werden
NGO	Non-Governmental Organization (deutsch: Nichtregierungsorganisation), z. B. Vereine, Naturschutzverbände etc.

Abkürzung	Bedeutung
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff; typischer Abwasserparameter, der in häuslichem Abwasser hauptsächlich aus menschlichen Ausscheidungen stammt (Urin)
NKB	Nachklärbecken; Verfahrensstufe auf einer ARA
N _{tot}	Gesamtstickstoff (= gelöste + partikuläre Bestandteile)
OFA	Oberflächenabfluss
PAK	Pulveraktivkohle
P _{bio}	Biologisch verfügbarer Phosphor; kann durch Phytoplankton (z. B. Algen) zum Biomassewachstum genutzt werden
P _{tot}	Gesamtphosphor (= gelöste + partikuläre Bestandteile)
P-Fracht	Phosphorfracht / Fracht Phosphor
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen; eine Gruppe synthetischer Industriechemikalien, die in der Natur nicht vorkommen.
PW	Pumpwerk (auch: HW für Hebewerk)
RAG	Regionale Abwasserentsorgung Greifensee (Studie / Projekt 2023-2026)
RAW	Regenabwasser; abfließender Niederschlag, der beim Abfluss in Richtung Kanalisation verschiedene Schmutzstoffe (u. a. Phosphor) von Oberflächen aufnimmt und dadurch verschmutzt wird
REP	Regionaler Entwässerungsplan bzw. Regionale Entwässerungsplanung (siehe auch: GEP / V-GEP); übergeordnete Planung von Abwasserinfrastrukturen koordiniert über ein gesamtes Gewässereinzugsgebiet
RBF	Retentionsbodenfilter
RRB	Regierungsratsbeschluss
RÜ / RU	Regenüberlauf (früher auch: HE/HWE für Hochwasserentlastung; auch: RU); Sonderbauwerk (siehe SBW) zur Notentlastung von übermässigem Mischabwasseranfall in die Gewässer
RÜB / RUB	Regenüberlaufbecken (auch: RUB); Sonderbauwerk (siehe: SBW) zur Speicherung, Vorbehandlung und ggf. Entlastung von übermässigem Mischabwasseranfall; häufig auch Oberbegriff für verschiedene Speicherbauwerke: DBH, DBN, FBH, FBN, VBN
RV	Rückhaltevolumen; Volumen zur temporären Zwischenspeicherung z. B. in einem Pumpwerk / auf der ARA
RWB	Regenwasserbewirtschaftung
SBW	Sonderbauwerk (Abwasseranlagen z. B. RÜ, RÜB); Bauwerke im Kanalisationssystem, mit insbesondere bei Regenwetter wichtigen Gewässerschutzfunktionen
SE	Siedlungsentwässerung; Begriff, der alle Elemente eines Abwassersystems in einem Siedlungsgebiet umfasst (z. B. Kanalisation, Sonderbauwerke, Kläranlage)
SEVO	Siedlungsentwässerungsverordnung (früher: Abwasser-/Kanalisationsreglement); regelt Rechte/Pflichten/Zuständigkeiten öffentlicher und privater Aufgabenträger des Siedlungsentwässerungssystems in einer Gemeinde/Stadt
TB	Trennbauwerk (= Sonderbauwerk in der Kanalisation)
TEZG	Teileinzugsgebiet (siehe auch: EZG)
TS	Trennsystem; Kanalisation, bei der Schmutz- und Regenabwasser in getrennten Leitungen separat abgeleitet werden
TP	Teilprojekt; Themenfeld innerhalb von GEP / V-GEP
TW	Trockenwetter

Abkürzung	Bedeutung
VBN	Verbundbecken; Sonderbauwerk (siehe: SBW) zur Speicherung, Vorbehandlung und ggf. Entlastung von übermässigem Mischabwasseranfall; ein VBN ist ein kombiniertes Speicherbauwerk und besteht häufig aus einem Fang- (siehe: FBH, FBN) und einem Durchlaufbeckenteil (siehe: DBH, DBN)
V-GEP	Verbands-GEP bzw. Genereller Entwässerungsplan für ein Verbandsgebiet, das häufig das gesamte Einzugsgebiet einer ARA umfasst (siehe auch: GEP, REP)
VKB	Vorklärbecken; Verfahrensstufe auf einer ARA
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute e. V.
ZSU	Zustandsuntersuchung; Teilprojekt (TP) zur Zustandsuntersuchung von Kanalisation und Sonderbauwerken innerhalb eines GEP / V-GEP

11 Anhang – Übersicht und Kennwerte Sonderbauwerke

Tabelle 50: Übersicht der im Modell simulierten Sonderbauwerke für das Einzugsgebiet der ARA Egg-Oetwil. Für eine Erläuterung der modellierten Bauwerkstypen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Bauwerk	Bauwerkstyp	F _{red,direkt} [ha]	V [m³]	Q _{ab} [l/s]
RUB_Kirchwies	FBH	2.53	88	71
RUB_PW_Nidertal	FBH (PW)	4.94	465	45
RUB_Aspholz	VBH	28.28	930	100
RUB_Oberesslingen	DBH	1.63	540	90
RUB_Niederesslingen	DBH	0.00	250	70
RU_3022_Hinteregg	RUE	5.68	0	197
RU_2320_Weiherstrasse	RUE	1.67	0	115
RU_3000_Forchstrasse	RUE	7.43	0	598
RU_2307_Spange	RUE	1.47	0	455
RU_2004_Aspholz	RUE	9.50	0	1'626
RU_1004_Niederesslingen	RUE	0.22	0	2'646
RU_1155_Usterstrasse	RUE	2.40	0	1'361
RU_Gusch	RUE	1.67	0	431
RU_Schoenegg	RUE	3.81	0	346
RU_1154_Loewenstrasse	RUE	2.13	0	2'227



Tabelle 51: Übersicht der im Modell simulierten Sonderbauwerke für das Einzugsgebiet der ARA Gossau-Grünigen. Für eine Erläuterung der modellierten Bauwerkstypen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Bauwerk	Bauwerkstyp	F_{red,direkt} [ha]	V [m³]	Q_{ab} [l/s]
RUB_FB_Ferch	FBH	7.16	200	40
PW_Riet	FBH (PW)	0.19	18	115
PW_Leerueti	FBH (PW)	0.00	7	10
RUB_DB_Berghof	DBH	0.00	313	58
RUB_DB_Leerueti	DBH	0.00	550	0
RUB_DB_Buel	DBH	2.74	300	45
RUB_DB_ARA	DBN	0.00	235	152
RU_Berghof	RUE	9.55	0	715
RU_Gruenenhof	RUE	1.64	0	250
RU_Brunnenweg	RUE	4.51	0	480
RU_Chapfstrasse	RUE	3.38	0	390
RU_Oelestrasse	RUE	1.91	0	23
RU_Leeruetistrasse	RUE	8.69	0	750
RU_Haldenstrasse	RUE	2.30	0	35
RU_Stedtli	RUE	2.72	0	470
RU_Esslingerstrasse	RUE	4.19	0	230
RU_Binzikon	RUE	6.89	0	940
RU_Buel	RUE	2.94	0	474

Tabelle 52: Übersicht der im Modell simulierten Sonderbauwerke für das Einzugsgebiet der ARA Hinwil. Für eine Erläuterung der modellierten Bauwerkstypen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Bauwerk	Bauwerkstyp	F _{red,direkt} [ha]	V [m ³]	Q _{ab} [l/s]
RUB_FB_Hinwil	VBN	35.60	1'355	420
RUB_DB_ARA_Hinwil	DBN	8.41	420	215
RU_D	RUE	3.65	0	120
RU_C	RUE	2.29	0	45
RU_A	RUE	5.38	0	177

Tabelle 53: Übersicht der im Modell simulierten Sonderbauwerke für das Einzugsgebiet des Greifensees in den Gmde. Maur u. Fällanden. Für eine Erläuterung der modellierten Bauwerkstypen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Bauwerk	Bauwerkstyp	F _{red,direkt} [ha]	V [m ³]	Q _{ab} [l/s]
RUB_Ebmatingen	VBN	0.22	1'980	80
RUB_Binz	DBH	9.15	212	80
RUB_Aesch	DBH	4.57	330	36
RUB_DB_ARA_Maur	DBN	6.69	680	90
RU_Muehletal	RUE	6.87	0	200
RU_Lohwisstrasse	RUE	2.56	0	360
RU_115_Faellandenstrasse	RUE	1.58	0	90
RU_525_Chridler	RUE	2.96	0	80
RU_40_Mattenacher	RUE	6.12	0	500
RU_704_Bunt	RUE	7.83	0	350
RU_Stuhlenstrasse	RUE	12.04	0	180

Tabelle 54: Übersicht der im Modell simulierten Sonderbauwerke für das Einzugsgebiet der ARA Mönchaltorf. Für eine Erläuterung der modellierten Bauwerkstypen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Bauwerk	Bauwerkstyp	F _{red,direkt} [ha]	V [m ³]	Q _{ab} [l/s]
RUB_Esslingerstrasse	FBN	2.70	370	25
RUB_Weibelacher	DBN	0.30	174	160
RUB_DB_ARA_Moenchaltorf	DBN	0.10	400	60
RU_116_Gossauerstrasse	RUE	1.68	0	60
RU_89_Puentenweg	RUE	0.80	0	90
RU_Usterstrasse	RUE	0.80	0	100



Tabelle 55: Übersicht der im Modell simulierten Sonderbauwerke für das Einzugsgebiet der ARA Pfäffikon. Für eine Erläuterung der modellierten Bauwerkstypen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Bauwerk	Bauwerkstyp	F _{red,direkt} [ha]	V [m³]	Q _{ab} [l/s]
PW_Usterstr_West	FBH (PW)	0.01	25	37
PW_Lehmboden	FBH (PW)	0.38	36	57
PW_Feichrueti	FBH (PW)	0.01	5	48
PW_Ruetschberg	FBH (PW)	0.01	5	16
PW_Usterstr_Ost	FBH (PW)	0.02	5	24
PW/RUB_Fischzuchtareal	FBH (PW)	16.67	530	170
SK_Russikerstr	FBH	3.14	300	175
PW_Hermatswil	FBH (PW)	0.04	5	16
PW_Wallikon	FBH (PW)	0.01	5	52
PW_Sulzberg	FBH (PW)	0.00	5	17
PW_Spitz	FBH (PW)	0.05	15	33
TB_Rigi_Tumbelenstr	FBH	7.70	1	20
PW_Cherr	FBH (PW)	0.10	20	60
PW_Sitzbueel_Sued	FBH (PW)	0.01	5	24
PW_Affeltranger	FBH (PW)	0.00	5	20
RUB/PW_Stogelen	DBN (PW)	0.00	109	8
PW_Tarn_privat	FBH (PW)	0.00	1	8
PW/RUB_Hittnau	DBN	0.48	350	55
RUB_FB_Stogelen	FBN	0.00	100	0
RUB_DB_Fischzuchtareal	DBN	0.00	500	0
RU_Hotzenweid	RUE	2.30	0	250
RU_Schaeracker	RUE	0.06	0	120
RU_Obermattstr	RUE	1.60	0	200

Tabelle 56: Übersicht der im Modell simulierten Sonderbauwerke für das Einzugsgebiet der ARA Uster. Für eine Erläuterung der modellierten Bauwerkstypen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Bauwerk	Bauwerkstyp	F _{red,direkt} [ha]	V [m³]	Q _{ab} [l/s]
RUB_SK_Florastr	FBH	1.17	126	195
PW_MW_Naenikon	FBH (PW)	0.00	40	70
PW_SW_Werrikon	FBH (PW)	0.02	2	8
RUB_SK_Chilenholz	FBH	1.71	25	54
RUB_FB_Wilstr	VBH	66.82	2'400	450
RUB_SK_Hirzeren	FBH	0.01	17	45
RUB_FB_Loren	VBH	9.93	272	228
PW_SW_Riedikon	FBH (PW)	0.04	16	16
PW_SW_See	FBH (PW)	0.15	5	40
PW_SW_Ackerstr	FBH (PW)	0.00	12	9
PW_SW_Hallenbad	FBH (PW)	0.00	16	29
PW_SW_Loren	FBH (PW)	0.00	5	36
PW_SW_Winikon	FBH (PW)	0.00	1	9
RUB_FB_Talweg	FBH	2.55	100	64
RUB_DB_Talackerstr	DBH	10.13	360	167
RUB_DB_Steigstr	DBH	0.00	165	156
RUB_DB_Stoggelwis	DBH	10.24	485	80
RUB_DB_Niederuster	DBH	11.37	1'150	540
RU_Vorentl_Steigstr	RUE	3.41	0	440
RU_Knuesligasse	RUE	0.46	0	42
RU_Naenikon	RUE	1.38	0	60
RU_Hohle_Gasse	RUE	3.27	0	126
RU_Seestr	RUE	6.72	0	620
RU_Forchstr	RUE	2.99	0	250
RU_Imkerstr	RUE	3.32	0	112
RU_Quellenstr	RUE	4.25	0	280
RU_Sulzbachstr	RUE	4.06	0	350
RU_Stationsstr	RUE	0.65	0	170

Tabelle 57: Übersicht der im Modell simulierten Sonderbauwerke für das Einzugsgebiet der ARA Wetzikon. Für eine Erläuterung der modellierten Bauwerkstypen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Bauwerk	Bauwerkstyp	F _{red,direkt} [ha]	V [m³]	Q _{ab} [l/s]
PW_Heusberg_Seegraeben	FBH (PW)	0.00	2	8
RUB_Muehle_Baeretswil	FBH	1.81	450	50
PW_Dorf_Seegraeben	FBH (PW)	0.03	10	8
PW_Sack_Seegraeben	FBH (PW)	0.08	180	14
PW_Unter_Aathal_Seegraeben	FBH (PW)	1.48	165	20
PW_ARA_Baeretswil	VBH (PW)	0.37	704	80
PW_Chalberweidli	FBH (PW)	0.05	5	30
RUB_SK_IV_Medikon	FBH	1.62	45	20
RUB_SK_IV_Morgental	FBH	6.02	163	16
RUB_FB_Usterstr	FBH	2.43	110	20
PW_Auslikon	FBH (PW)	0.13	20	55
PW_Cherschieben_Seegraeben	FBH (PW)	0.00	1	3
PW_Steinberg_Seegraeben	FBH (PW)	0.00	1	3
RU_T1_Werkhof	FBH	3.61	1	324
RUB_FB_Motorenstr	FBH	4.68	110	15
RUB_FB_Chalberweidli	FBH	0.00	350	0
RUB_DB_Zelgli_Baeretswil	DBH	5.95	195	25
RUB_DB_Laendenbach	DBH	0.00	270	80
RUB_DB_Ringetshalden	DBH	9.30	90	210
RUB_DB_Birkenweg	DBH	16.31	300	120
RUB_DB_A1_Ochsen	DBH	4.49	120	20
RUB_DB_Schoenastr	DBH	2.79	130	14
RUB_DB_ARA_Flos	DBH	0.00	900	0
RU_M1_Weststr	RUE	0.10	0	10
RU_L1_Stegen	RUE	1.90	0	95
RU_B1_Toestalstr	RUE	2.15	0	250
TB_D4_Krone	RUE	10.91	0	70
RU_E1_Schmidlin	RUE	3.96	0	214
RU_G1_Aemmet	RUE	1.15	0	100
RU_O1_Leutholdsbrunnen	RUE	8.60	0	295
RU_F1_Walfershuse	RUE	0.97	0	142
RU_C_Seegraeben	RUE	1.54	0	75

Bauwerk	Bauwerkstyp	F _{red,direkt} [ha]	V [m³]	Q _{ab} [l/s]
RU_D_Seegraeben	RUE	0.90	0	49
RU_F_Seegraeben	RUE	2.43	0	163
RU_Baumastrasse_Baeretswil	RUE	0.99	0	86
RU_Muehlestrasse_Baeretswil	RUE	1.14	0	189
RU_Bahnhof_Baeretswil	RUE	5.08	0	197
RU_Alpenblick_Baeretswil	RUE	1.81	0	355
RU_Oberdorf_Baeretswil	RUE	2.90	0	226
RU_U1_Usterstr	RUE	3.11	0	20
RU_S1_Halden	RUE	1.04	0	95
TB_P1_Matt_Nord	RUE	2.09	0	100
RU_N1_Schoeneich	RUE	0.62	0	130
PW_Heusberg_Seegraeben	FBH (PW)	0.00	2	8



12 Beilagen

- Beilage 01 «Grobprojektierung ARA»
- Beilage 02 «Grobprojektierung Anschlussleitungen»
- Beilage 03 «Grobprojektierung Umbau»
- Beilage 04 «Grobprojektierung Verfahrensschema»
- Beilage 05 «Grobprojektierung Regenwasserbewirtschaftung»
- Beilage 06 «Grobprojektierung Retentionsbodenfilter»
- Beilage 07 «Grobprojektierung Fremdwassersanierung»
- Beilage 08 «Grobprojektierung Urinseparation»
- Beilage 09 «Übersicht Kostenschätzung»

Winterthur, 12. August 2026
pbe / ros / ast

HUNZIKER **BETATECH**

Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur



