

Kläranlage der Zukunft –Verfahrenskonzepte und Strategien für den Wupperverband

Inka Hobus¹, Gerd Kolisch¹, Dirk Gengnagel²

¹Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH, ²Wupperverband

Abstract: Kommunale Kläranlagen, die derzeit in Europa betrieben werden, basieren auf Verfahrenstechniken und Bemessungsregeln, die in den 1960er bis 1990er Jahren entwickelt wurden. Das Hauptziel dieser Anlagen ist es, die organische Belastung des Zulaufs zu eliminieren und den Nährstoffeintrag in den Vorfluter auf ein zulässiges Maß zu begrenzen. Seit Umsetzung der Stickstoff- und Phosphorentfernung gemäß der europäischen Kommunalabwasserrichtlinie (91/271/EGC) sind jedoch insbesondere im letzten Jahrzehnt neue Anforderungen entstanden. Es stehen zusätzlich die Eigenenergienutzung, die Eliminierung von Mikroschadstoffen und Mikroplastik, die Desinfektion und das Recycling von Wertstoffen aus dem Abwasser im Fokus der technischen und öffentlichen Diskussion. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann die Kläranlage der Zukunft ein anderes Design benötigen und bestehende Kläranlagen müssen möglicherweise umfassend angepasst werden. Für den Wupperverband wurde im Hinblick auf die neuen Anforderungen mögliche Ansätze für eine Kläranlage der Zukunft erarbeitet.

Key Words: Verfahrenskonzepte, Neue Technologien

1 Einleitung

Der Wupperverband ist für die Bewirtschaftung des 813 km² großen Einzugsgebiets der Wupper über kommunale Grenzen hinweg zuständig und betreibt 14 Talsperren, 11 Kläranlagen und eine Schlammverbrennungsanlage. Die 11 Kläranlagen sind für eine weitergehende Stickstoff- und Phosphorelimination ausgelegt. Für den Schutz des Vorfluters sind an 5 Kläranlagen Flockungsfiltrationsanlagen installiert, um P_{ges} -Ablaufwerte von kleiner 0,5 mg/l einzuhalten. Bis auf zwei Kläranlagen sind alle Anlagen mit einer anaeroben Schlammbehandlung mit Eigenenergienutzung ausgestattet. Der erzeugte Klärschlamm wird in einer eigenen zentralen Wirbelschichtanlage verbrannt.

In den letzten Jahren stehen neue Anforderungen an die Kläranlagen in der öffentlichen und fachlichen Diskussion, wie z.B. die Elimination von Mikroschadstoffen und Mikroplastik, die Abwasserdesinfektion und das Recycling von Wertstoffen aus dem Abwasser. Mit der Studie Kläranlage der Zukunft will der Wupperverband Strategien für die Anpassung der betriebenen Kläranlagen an die neuen Anforderungen entwickeln.

2 Einsatz neuer Technologien

In der Literatur finden sich verschiedene neue Ansätze zur Weiterentwicklung der konventionellen Abwasserbehandlung. Sie zielen auf eine Steigerung der Energieeffizienz, eine fortgeschrittene Phosphorelimination, die Integration der Deammonifikation im Neben- und Hauptstrom sowie Ansätze zur Ressourcenrückgewinnung (z.B. (Eliquo 2015), (Gottardo Morandi et al. 2018), (Horn et al. 2009), (Mergelmeyer et al. 2014), (Palmowski et al. 2018), (Pittmann et al. 2017), (Remy et al. 2016), (Schmitt 2017), (Smart-plant 2019), (WOW 2020), (Weissenbacher et al. 2013)).

In Tabelle 1 sind heute bekannte neue Technologien für einzelne Prozessschritte der Abwasser- und Schlammbehandlung zusammengestellt. Die einzelnen Verfahren wurden qualitativ hinsichtlich der Reinigungsleistung, des Aufwands für Mess- und Regeltechnik, dem Energieverbrauch, dem Personalbedarf, die Rückgewinnung von Wertstoffen und die Umsetzungsreife (Stand der Forschung zum Stand der Technik) bewertet. In Tabelle 2 ist beispielhaft die Bewertung für die biologische Stufe zusammengestellt.

Tabelle 1: Technologien in Abhängigkeit von der Verfahrensstufe

Mechanik	Biologische Stufe	Schlamm	Energie	Spurenstoffe	Hygienisierung	Mikroplastik	Ressourcen
ohne VK	konv. Belebung	stat. Voreindickung	Heizkessel	Aktivkohle	Ozonung	Umkehrosmose	P / N
Vorklärung	SBR-Verfahren	MÜSE	BHKW	Ozonung	UV-Bestrahlung	Membranverf.	Cellulose
Mikrosiebung	Membranbelebung	konv. Faulung	ORC	AOP	Membranverfahr.		PHA
Mikroflotation	2-stufige-Verfahren	mehrstufig. Faulung	Mikroturbine	Umkehrosmose			Lipide
Fällung	Biofilmverfahren	Kompaktfaulung	Regelenergie	Nyex TM			Gas
	Granulaverfahren	modifi. Faulung	Methanisierung				Brauchwasser
	Hybrid-Verfahren	Desintegration	Wärmenetze				Aktivkohle
	Hauptstrom-Deammo.	Entwässerung	Wärmerückgew.				Bioöl
	Bioaugmentation	Verbrennung					Essigsäure
	PWBH-Deammo.	Pyrolyse					

Tabelle 2: Bewertung von Technologien der biologischen Stufe

Verfahren	Ablaufqualität	Fläche _{Red}	Volumen _{Red}	Invest	Betrieb	Umsetzungsreife
Biologische Stufe						
konv. Belebung	o	0 %	0 %	o	o	Stand der Technik
SBR-Verfahren	o	20-30%	5-20%	o	o	Stand der Technik
Membranbelebung	++	70 - 80 %	65 - 80 %	+	++	Stand der Technik
2-stufige-Verfahren	o	5 - 20 %	10 - 25 %	+	-	Stand der Technik
Biofilmverfahren	o	n. b.	n. b.	++	+	Stand der Technik
Granulaverfahren	- (AFS)	40 - 60 %	20 - 40 %	+	o	Stand der Technik
Hybrid-Verfahren	o	12 % - 15 %	15 % - 30 %	o	o	Stand der Technik
Hauptstrom-Deammo.	- (Lachgas)	5 - 20 %	10 - 25 %	+	-	Großtechnisch
Bioaugmentation	- (Lachgas)	0 %	0 %	o	-	Großtechnisch

3 Erfahrungsaustausch Planung

Neben der Recherche zum Einsatz neuer Verfahrenstechniken wurden ausgewählte KA-Neubauprojekte besichtigt, um im Austausch mit Betreibern und Planern Gründe zum planerischen Vorgehen, Kriterien für die technologische Ausgestaltung des Anlagenkonzeptes und Erfahrungen aus der Realisierung dieser Kläranlagen zu sammeln. Es wurden zwei Nereda®-Anlagen (NL-Utrecht, CH-Kloten Opfikon), eine SBR-Anlage (CH-Basel) und eine Anlage zur Wertstoffrückgewinnung (NL-Beemster) besichtigt (siehe Abbildung 1 bis Abbildung 4).

Das in Utrecht gewählte Konzept mit dem Bau von 6 Nereda®-Reaktoren in Fertigteilbauweise und ohne Einbindung in den Baugrund konnte in einer Bauzeit von 3 Jahren umgesetzt werden. Hierbei ist eine halbjährige stufenweise Inbetriebnahmephase zur Anreicherung der Granula berücksichtigt. Mit dem Verfahren können mittlere Ablaufwerte von 3-4 mg/l N_{ges} im Jahresmittel erreicht werden. Nachgeschaltet ist eine Sandfiltration, um Feinsuspensa zurückzuhalten. Um Ablaufpeaks bei dem hohen Q_M/ Q_{T,d,aM} Verhältnis von 4,5 zu vermeiden, wurde das Beschickungsmanagement der Nereda®-Reaktoren optimiert.

Für die Kläranlage Kloten-Opfikon mit einer Ausbaugröße von 125.000 E sind 4 Nereda®-Reaktoren projektiert. Die Verfahrenstechnik wurde aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse gewählt. Zur Spurenstoffelimination sind eine Ozonanlage und eine Filtration nachgeschaltet. Die Ertüchtigung der gesamten Anlage inklusive Mechanik und Schlammbehandlung wird in einem Zeitraum von 2017 – 2023 umgesetzt. Die längere Bauzeit ist auf den Umbau unter laufenden Betrieb zurückzuführen als auch die Umsetzung der Nereda®-Reaktoren in Ort beton unter Berücksichtigung der bestehenden Beckenkubatur der biologischen Stufe.



Technische Daten: RZWI Utrecht	
Belastung	450.000 E
$Q_M / Q_{T,d,aM}$	4,5
Anforderung	$T_N < 5 \text{ mg/l}$ im Jahresmittel
Mechanik	Rechen / Sandfang
Volumen Biologie	1 Speicher + 6 Nereda®-Reaktoren ($V = 72.000 \text{ m}^3$)
weitere. Reinigung	nachgeschaltete Sandfiltration
Stabilisierung	aerob
Bauzeit	2017 - 2019
Bau	Fertigteil-Reaktoren
Wertstoffe	EPS
Inbetriebnahme	Stufenweise

Abbildung 1: RZWI Utrecht: Nereda®-Verfahren für 450.000 E (Bild: <https://www.hdsr.nl/beleid-plannen/projectenkaart/utrecht/vernieuwing-utrecht/>)



Technische Daten: ARA Kloten-Opfikon	
Belastung	125.000 E
$Q_M / Q_{T,d,aM}$	2,3
Anforderung	$\text{NH}_4\text{-N} < 1 \text{ mg/l}$, $T_N < 70 \%$ im Jahresmittel
Mechanik	Rechen / Sandfang / Vorklärung
Volumen Biologie	4 Nereda®-Reaktoren ($V = 19.200 \text{ m}^3$)
weitere. Reinigung	Ozonung / Filtration
Stabilisierung	anaerob
Bauzeit	2017 - 2023
Bau	Umbau unter Betrieb / Ortbeton
Wertstoffe	- / -
Inbetriebnahme	Stufenweise

Abbildung 2: ARA Kloten Opfikon: Nereda®-Verfahren in Bau für 125.000 E

Für die Kläranlage Basel wurde auch aufgrund der engen Platzverhältnisse für die Erweiterung der Anlage das SBR-Verfahren eingesetzt. Die 9 SBR-Reaktoren wurden kompakt in einem 3*3 Raster angeordnet. Die Ausführung erfolgt hier auch in Ortbeton. Die Ertüchtigung der gesamten Anlage inklusive Mechanik und Schlammbehandlung und Spurenstoffelimination mit Ozon, PAK und Filtration wird in einem Zeitraum von 2018 – 2024 umgesetzt.

Die Kläranlage Beemster wurde ausgesucht, um eine Kläranlage mit Ressourcengewinnung zu besichtigen. Die Kläranlage Beemster ist eine aerob stabilisierende Kläranlage mit Umlaufbecken und Druckbelüftung. Die Ausbaugröße der Anlage liegt bei 170.000 E. Zur Erhöhung der Reinigungskapazität wurden 8 Salsnes-Siebanlagen zur Rückgewinnung von Cellulose angeordnet. Hiermit konnte der Sauerstoffbedarf der Anlage gesenkt werden sowie die Anschlusskapazität durch die Einbindung der Siebanlage erhöht werden.

Technische Daten: ARA Basel	
Belastung	520.000 E
$Q_M / Q_{T,d,aM}$	2,6
Anforderung	$NH_4-N < 1mg/l$, $T_N < 70 \%$ im Jahresmittel
Mechanik	Rechen / Sandfang / Vorklärung
Volumen Biologie	9 SBR-Reaktoren ($V = 90.000 m^3$)
weitere Reinigung	Ozonung / PAK / Filtration
Stabilisierung	anaerob
Bauzeit	2018 - 2024
Bau	Umbau unter Betrieb / Ortbeton / kompakt
Wertstoffe	- / -
Inbetriebnahme	Stufenweise

Abbildung 3: ARA Basel: SBR-Verfahren für 520.000 E

Technische Daten: RZWI Beemster	
Belastung	170.000 E
$Q_M / Q_{T,d,aM}$	3
Anforderung	$T_N < 70 \%$ im Jahresmittel
Mechanik	Rechen / 8 Siebanlage mit $450 m^3/h$
Volumen Biologie	Umlaufbecken
weitere Reinigung	Ozonung / Filtration
Stabilisierung	aerob
Bauzeit	- / -
Bau	- / -
Wertstoffe	Cellulose
Inbetriebnahme	- / -

Abbildung 4: RZWI Beemster: Cellulose-Rückgewinnung für 170.000 E

4 Workshop „Kläranlage der Zukunft“

Die erkannten Bausteine für eine Kläranlage der Zukunft wurden auf einem Workshop mit Teilnehmern aus der Wissenschaft, externen Betreibern von kommunalen Kläranlagen und dem Wupperverband im Hinblick auf Betriebserfahrungen und eine Einbindung in bestehende Kläranlagen diskutiert (siehe Abbildung 5). In der Diskussion wurden als Ergebnis folgende Umsetzungsvarianten für einen Neubau bzw. eine Ertüchtigung bestehender kommunaler Kläranlage identifiziert:

- Konventionelle Beckenbiologie als Referenzanlage
- s:select®-Verfahren (Verbesserung der Absetzgeschwindigkeit in der NK)
- SBR-Verfahren (kleinerer Footprint)
- Nereda®-Verfahren (Aerobe granuliert Biomasse)

- MBR-Verfahren (TS-Steigerung, Hygienisierung)
- Kaltwasserdeammonifikation (ressourcenefficient)

Ziele: Energie / CO ₂ / Ressourcen / Spurenstoffe / Resistenzen		
Einzugsgebiet: Kanalnetz / Fremdwasser / Ressourcen im EZG		
Rückfallebenen bei neuen Technologien	Betriebliche Flexibilität	Bausteine der Zukunft berücksichtigen
Redundanzen für Außerbetriebnahmen	Volumen (Biologie)	Fit for purpose
PW: TMP/Schnecke	BB: Nereda / Hybrid	
MECH: Rechen / Siebung	BB: 2-stufige Anlage	
MECH: Fettelimination	BB: Membran im Teilstrom	
C-Ausnutzung: Sieb/VK	BB: Nachgeschalt. Membran	
PWBH: Deammonifikation	BB: Kaltwasserdeammonifik.	
FB: 2-stufig / Hochlast+2FB	Ressourceneffiziente Anlage	

Abbildung 5: Ideenwerkstatt: Erweiterung und Optimierung bestehender / neuer Kläranlagen

In Abbildung 6 ist die Bewertung der Workshop-Teilnehmer unterteilt nach Wissenschaft, Betreiber von Kläranlagen und Wupperverbandsmitarbeitern dargestellt. Die Variante 1 mit einer konventionellen Belebung als 3er-Kaskade wurde als stabile und betriebssichere Variante mit einer guten Reinigungsleistung, die flexibel an zukünftige Anforderungen angepasst werden kann, bewertet.

Als zukunftsfähige Lösung wurde das MBR-Verfahren aufgrund der sehr guten Ablaufqualität, der Nutzung des Ablaufs als Brauchwasser sowie einem Rückhalt von Mikroplastik und von multiresistenten Bakterien beim Einsatz einer Ultrafiltration eingestuft. Aufgrund eines auf vielen Kläranlagen des Wupperverbandes hohen Q_M/Q_T -Verhältnisses erscheint die Kombination aus konventioneller Belebung mit einer Membranbelebung zielführend (Hybrid-MBR). Hiermit kann 100% der Jahresabwassermenge membranfiltriert werden, bei Regenwetter werden dann nur 60% der Zulaufmenge in der MBR-Anlage behandelt und die restlichen 40% in der konventionellen Belebung. Das MBR-Verfahren wurde zudem insbesondere im Hinblick auf die Einbindung von Bausteinen zur Ressourcenrückgewinnung positiv beurteilt.

Eine nachhaltige Lösung im Hinblick auf die Ressourceneffizienz wurde in der Umsetzung einer Kaltwasserdeammonifikation gesehen. Aufgrund der noch geringen Betriebserfahrungen wird diese Variante im Hinblick auf Stabilität und Reinigungsleistung jedoch aktuell noch als nicht praxisrelevant eingestuft. Neben den Varianten 3 und 7 wurde das SBR-Verfahren von einigen Teilnehmern aufgrund der hohen Flexibilität für zukünftige Umbauten auch als eine zielführende Lösung angesehen.

Das s:select-Verfahren wurde von den Teilnehmern als Maßnahme zur möglichen Erweiterung bzw. Verbesserung der Reinigungsleistung bestehender Anlagen, aber nicht für eine Neudimensionierung eingestuft. Das Nereda®-Verfahren wurde aufgrund der möglichen hohen AFS-Konzentrationen im Ablauf infolge eines Feststoffabtriebs insbesondere in der Inbetriebnahmephase kritisch beurteilt. Das Verfahren ist bei hohen Anforderungen an die AFS- und P_{ges} -Ablaufkonzentration zudem nur in Kombination mit einer Filtrationsstufe umzusetzen.

Kriterien	Wertung						
	VAR 01	VAR 02	VAR 03	VAR 04	VAR 05	VAR 07	VAR 08
	konv. BB	s:select	SBR	Nereda ohne FB	Nereda mit FB	Hybrid-membran	Kaltwasser-Demon
Verfahren (Stabilität)							
Betrieb (Personalbedarf / Qualifikation / Automatisierung)							
Reinigungsleistung (N/P)							
Reststoffe + Betriebsmittel (Schlamm / Fäll-/ Flockungsmittel)							
Nachhaltigkeit (Energie, Ressourcen, CO ₂)							
Flexibilität (Anstieg Frachten / Wassermengen)							
Zukunftsfähigkeit (4. Stufe, P = 0,5 mg/l, Mikroplastik etc.)							

Abbildung 6: Bewertung der untersuchten Varianten (je Kriterium und Teilnehmer wurden drei Punkte unterteilt nach Wissenschaft: rot, Betreiber von Kläranlagen: gelb, Wupperverband: blau vergeben)

Als weiteres Ergebnis des Workshops wurde empfohlen, Maßnahmen im Einzugsgebiet der Kläranlagen zur Minimierung des Regen- und

Fremdwasseranfalls durchzuführen. Hiermit können zum einen die Kosten für die Nachklärung, das erforderliche Austauschvolumen beim SBR/Nereda®-Verfahren oder die Membranfläche beim MBR-Verfahren reduziert werden, zum anderen kann das nicht abgeleitete Regenwasser am Anfallort nachhaltig genutzt werden. Ansätze zum Stoffstrommanagement sollten mit dem Ziel untersucht werden, Nährstoffe für ein Recycling direkt am Anfallort zu entfernen (Stoffstromtrennung) und hiermit z.B. das C:N-Verhältnis im Zulauf der Kläranlage zu verbessern.

5 Variantenentwicklung

Aufbauend auf den Ergebnissen der Technologiebewertung und dem Workshop wurden 4 unterschiedliche Varianten einer biologische Stufe am Beispiel einer Kläranlage der GK 5 mit einer Ausbaugröße von 300.000 E untersucht: das s:select®-Verfahren, das SBR-Verfahren, das Nereda®-Verfahren (ohne und mit Faulung) und das MBR-Verfahren. Im Vergleich hierzu wurde als Referenzanlage eine konventionelle Kläranlage verschaltet als 3er-Kaskade bemessen. Neben den erforderlichen Volumina wurden die Kapital- und Betriebsausgaben anhand von Erfahrungswerten bzw. Richtpreisangeboten abgeschätzt und Lageplankonzepte erstellt. Weiterhin wurde die Anpassungsfähigkeit an zukünftige Anforderungen bewertet. Die Einbindung von Aufwuchskörpern und der Bypass um die Belebungsbecken wurden als möglicher Baustein zur Verbesserung der Reinigungsleistung der konventionellen Belebung für eine Erweiterung der Anlage vorgesehen, jedoch im Rahmen der Variantenuntersuchung nicht weiter berücksichtigt. Die Umsetzung einer Deammonifikation im Hauptstrom wurde aufgrund der geringen Betriebserfahrungen ebenfalls nicht als zielführend eingestuft.

5.1 Auslegung der biologischen Stufe

In Abbildung 7 sind die erforderlichen Beckenvolumina für die untersuchten Varianten zusammengestellt. Für die 3er-Kaskade ergibt sich ein Beckenvolumen von 41.500 m³, trotz Einbindung einer PWBH liegt das V_{DN}/V_{BB} -Verhältnis bei 0,6. Mit der Einbindung des s:select®-Verfahrens kann das Beckenvolumen aufgrund des höheren TS_{BB} auf 27.400 m³ reduziert werden. Für das SBR-Verfahren ergibt sich ein erforderliches Beckenvolumen ohne Berücksichtigung des Austauschvolumens von 36.300 m³. Für das Nereda®-Verfahren liegt das erforderliche Beckenvolumen ohne Berücksichtigung des Austauschvolumens bei 27.400 m³ für eine Anlage ohne Vorklärung bzw. 22.100 m³ für eine Anlage mit Vorklärung. Mit dem Einsatz eines MBRs ergibt sich ein erforderliches

Belebungsbeckenvolumen von 25.220 m³. Für das Hybrid-MBR-Verfahren erhöht sich das Beckenvolumen im Vergleich zum MBR-Verfahren auf 30.927 m³.

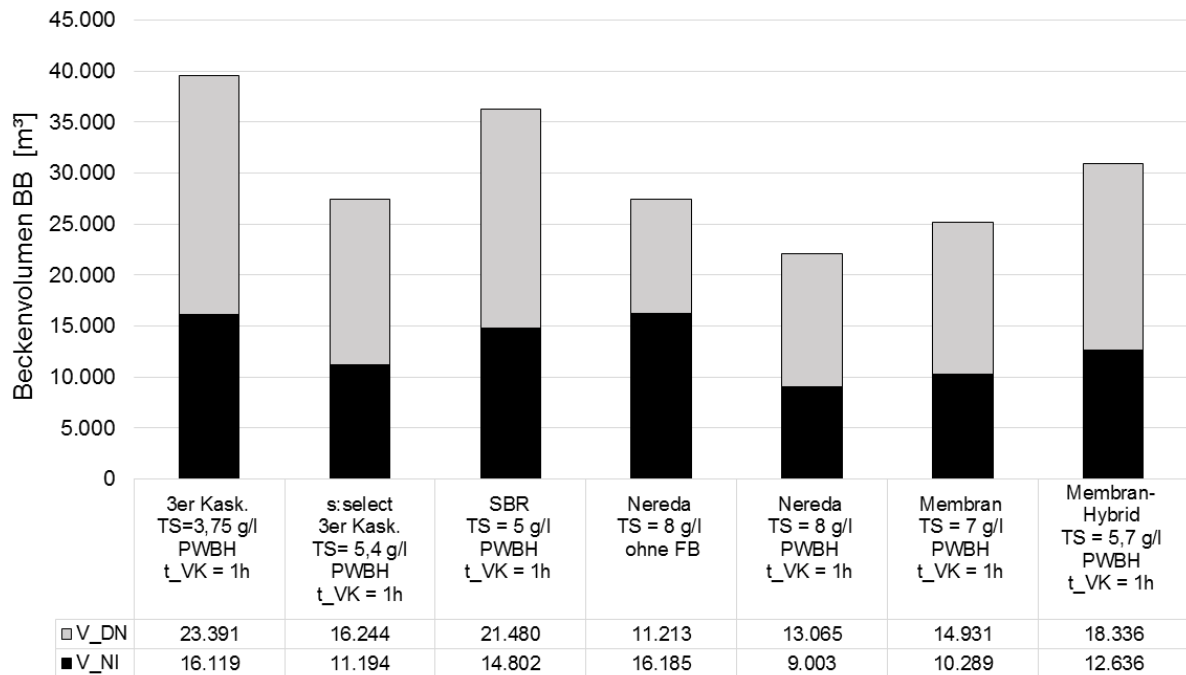


Abbildung 7: Erforderliches Beckenvolumen ohne Berücksichtigung von Austauschvolumen für SBR- und Nereda®-Verfahren

In Abbildung 8 ist das Gesamtvolumen der biologischen Stufe inkl. Nachklärung bzw. mit Berücksichtigung von Austauschvolumen und Speicher für die einzelnen Varianten dargestellt. Das erforderliche Volumen für die Membranabzugseinheit wird dem Nachklärvolumen zugeordnet. Mit einem Nachklärbecken­volumen von 27.000 m³ ergibt sich ein Gesamtvolumen für die 3er-Kaskade von 68.500 m³ und für das s:select®-Verfahren von 54.400 m³. Für das SBR-Verfahren ergibt sich aufgrund des großen erforderlichen Austauschvolumens ein Gesamtvolumen von 74.700 m³. Mit der Einbindung eines Speichers könnte das Gesamtvolumen etwas reduziert werden. Das Nereda®-Verfahren liegt mit 56.000 m³ in der gleichen Größenordnung wie das s:select®-Verfahren. Mit dem MBR-Verfahren kann das Gesamtvolumen auf 28.220 m³ reduziert werden. Die Kombination des MBRs mit einer konventionellen Belebung erfordert ein Gesamtvolumen von 34.022 m³ und liegt hiermit noch unterhalb des Volumens für das Nereda®-Verfahren.

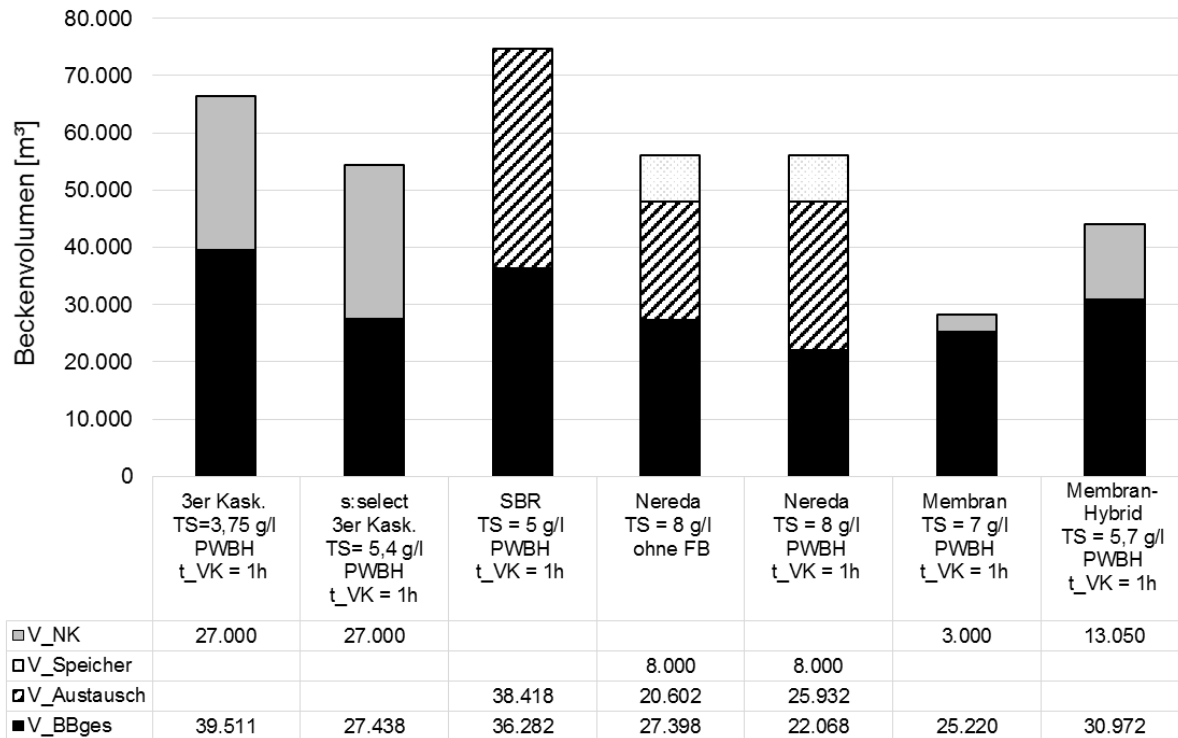


Abbildung 8: Erforderliches Gesamtvolumen bestehend aus Belebungsbecken-, Nachklärbecken-, Austausch- (SBR- / Nereda®-Verfahren) und Speichervolumen

5.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung wurden für die gewählten Varianten die Betriebskosten und die Kapitalkosten abgeschätzt (Abbildung 9 und Abbildung 10). Die Investitionskosten liegen für die Varianten mit anaerober Stabilisierung in einer ähnlichen Größenordnung. Der Einfluss des deutlich kleineren Beckenvolumens beim Nereda®-Verfahren mit Faulung ist relativ gering aufgrund des höheren spezifischen Preises für den Bau der Reaktoren. Die Investitionskosten für das Nereda®-Verfahren ohne Faulung und Vorklärung liegen mit 75 % der Kosten für eine Anlage mit anaerober Schlammfäulung demgegenüber deutlich niedriger. Beim MBR-Verfahren ergeben sich Einsparungen aufgrund des deutlich kleineren erforderlichen Beckenvolumens, durch die relativ hohen Kosten für die Membranen liegen die Investitionskosten nur leicht über den Kosten einer konventionellen Belebungsanlage.

Mit Berücksichtigung der Betriebskosten ist das Nereda®-Verfahren ohne Faulung am günstigsten. Alle Varianten liegen jedoch in einer ähnlichen Größenordnung. Die MBR-Varianten weisen etwas höhere Jahreskosten auf.

Hiermit verbunden ist im Vergleich zu den anderen Verfahren jedoch eine bessere Ablaufqualität infolge der Membranfiltration des Ablaufs.

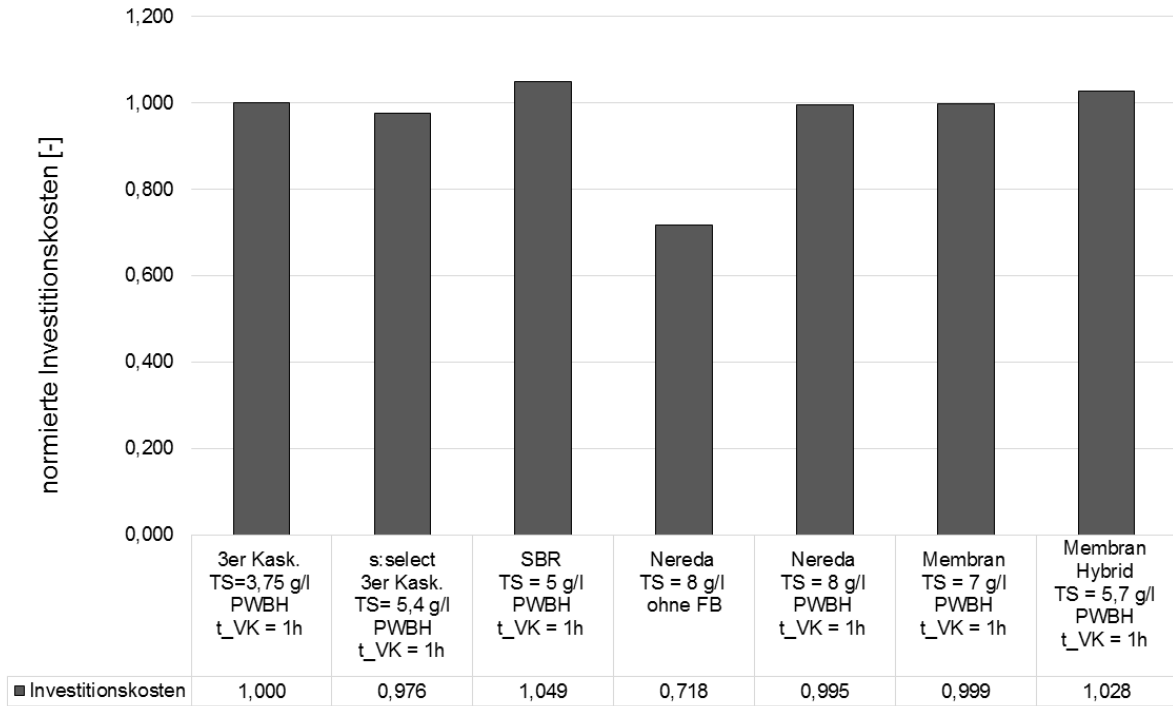


Abbildung 9: Zusammenstellung der Investitionskosten

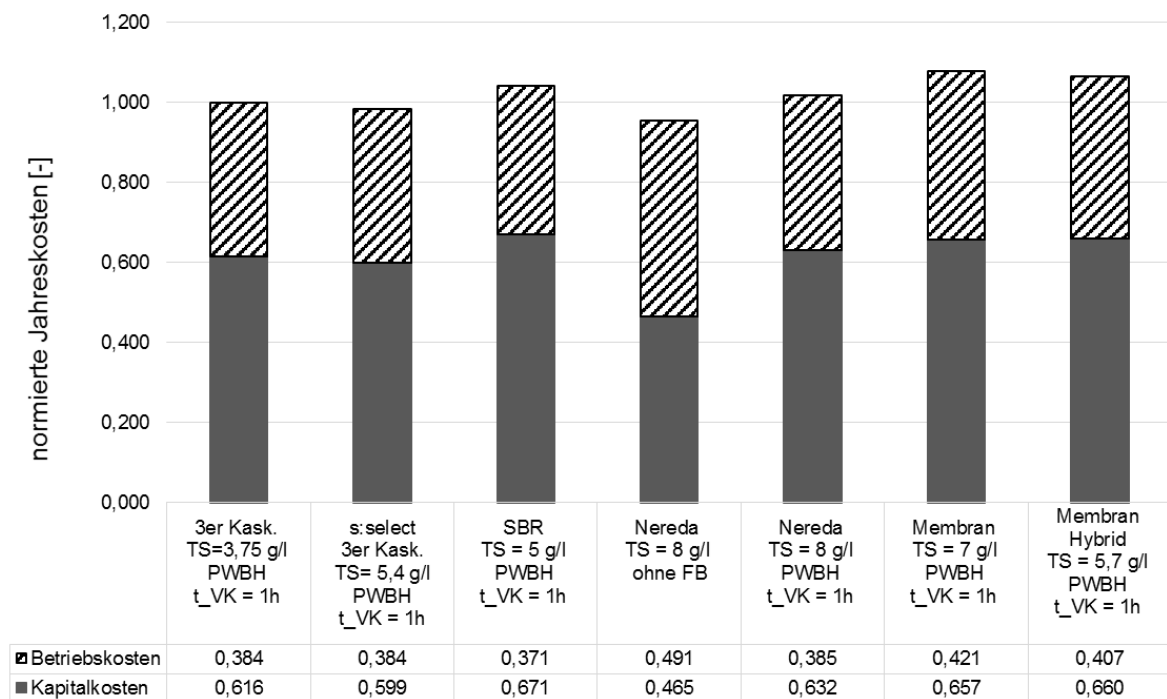


Abbildung 10: Zusammenstellung der spezifischen Jahreskosten

5.3 Lageplankonzepte für die Varianten

In Abbildung 11 ist beispielhaft der erforderliche Platzbedarf für eine konventionelle Belebungsanlage im Vergleich zu einer Hybrid-MBR-Anlage dargestellt. Mit dem Hybrid-MBR ergeben sich ein deutlich geringerer Flächenbedarf und eine erhöhte Flexibilität für zukünftige Anforderungen. Hier ist insbesondere die Nutzung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen P, N und C als auch die Weiternutzung des membranfiltrierten Abwassers als Brauchwasser zu sehen. In Abbildung 12 ist die Einbindung möglicher Verfahrenstechniken zur Reduzierung der Betriebskosten, Steigerung der Energieeffizienz, Teilnahme am Regelenergiemarkt und Rückgewinnung von Ressourcen aus dem Abwasser dargestellt. Bei der Einbindung der zusätzlichen Prozesse insbesondere bei der C-Ausschleusung ist auf ein ausreichendes C/N-Verhältnis für die Stickstoffelimination zu achten.

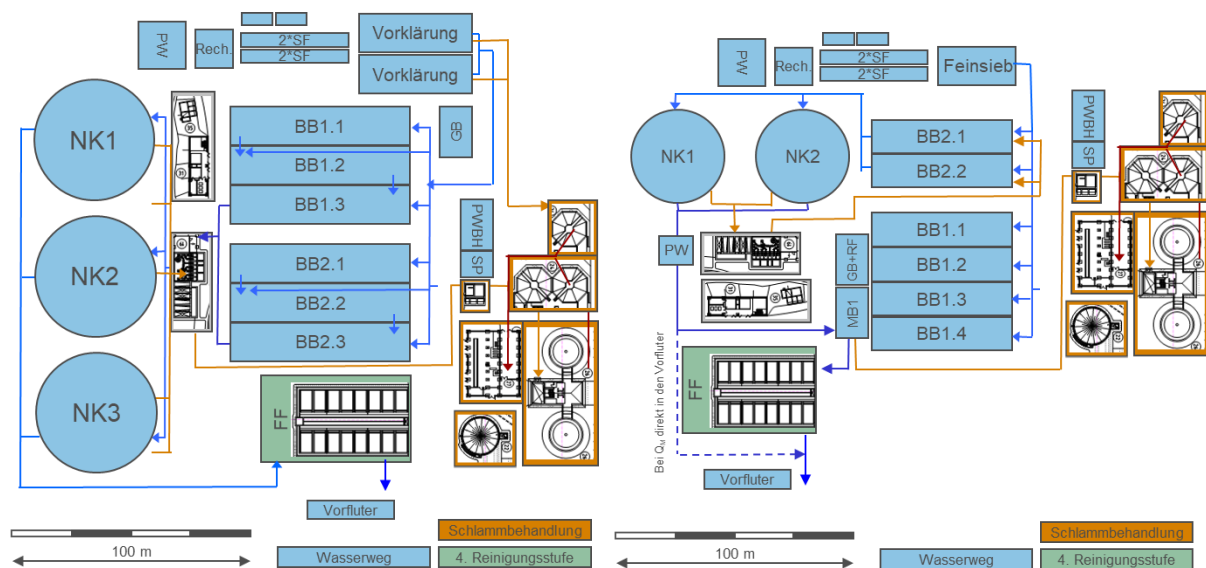


Abbildung 11: Lageplankonzepte für die 3er-Kaskade (links) und die MBR-Anlage (rechts)

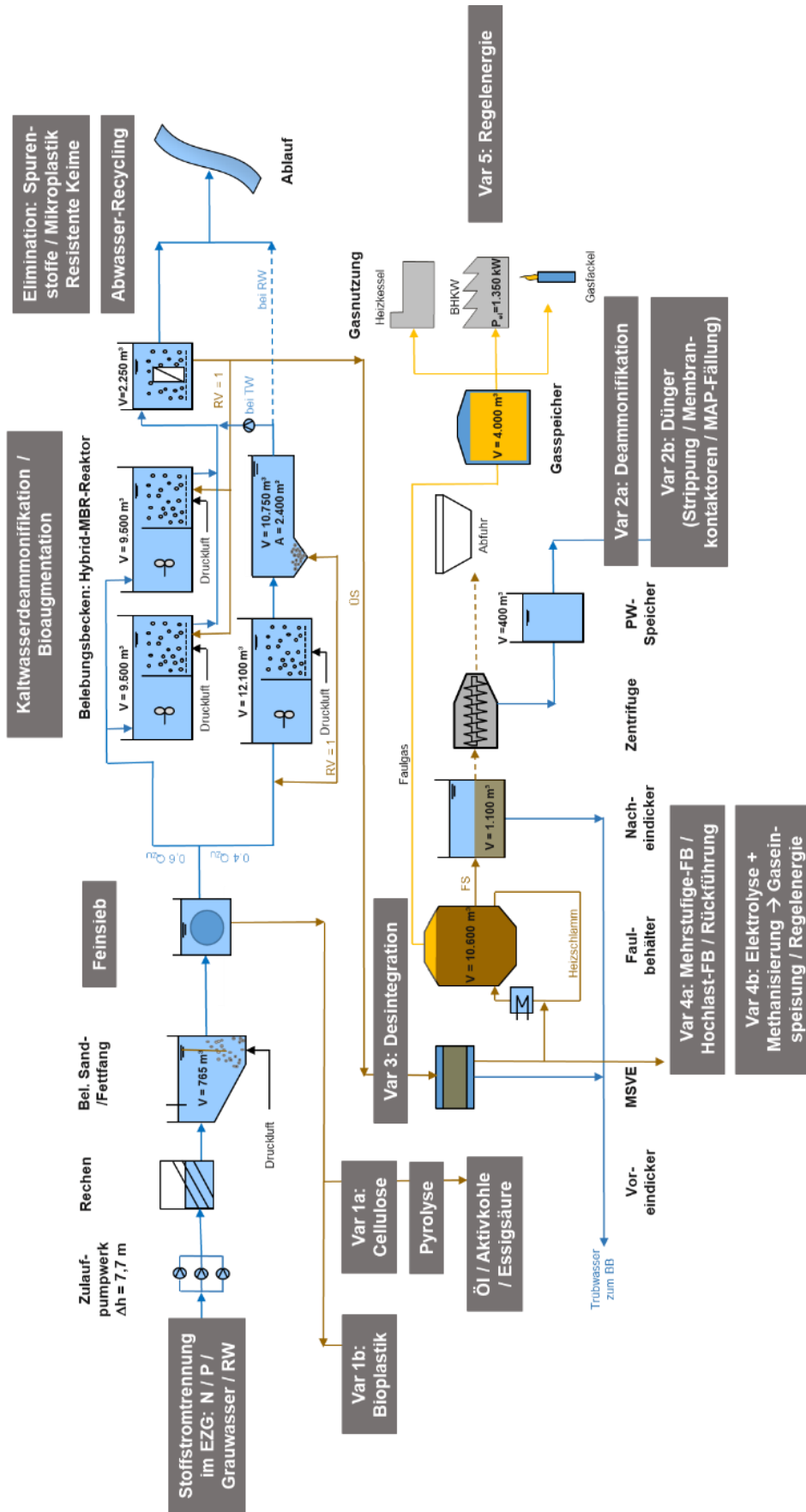


Abbildung 12: Verfahrensfliessbild Hybrid-MBR-Anlage mit Bausteine für die KA der Zukunft

6 Zusammenfassung

In dem durchgeführten Projekt wurden am Beispiel einer Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 300.000 E unter Berücksichtigung innovativer Verfahrenstechniken mögliche zukünftige Umsetzungsvarianten für die biologische Stufe entwickelt. Die wirtschaftliche Bewertung weist bezogen auf die biologische Stufe geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten aus. Die Auswahl der zielführenden Variante ergibt sich somit nicht alleine aus den wirtschaftlichen Randbedingungen, sondern auch daraus, ob die ausgewählte Variante im Hinblick auf zukünftige Anforderungen geeignet ist bzw. spezifische Vorteile bei möglichen zusätzlichen Anforderungen an die Abwasserreinigung aufweist. Dem Wupperverband liegen als Ergebnis der durchgeführten Studie und auf Basis der heute bekannten Technologien verfahrenstechnische und kostenbezogene Einschätzungen für eine Erweiterung oder einen möglichen Neubau der von ihm betriebenen kommunalen Kläranlagen vor. Inwieweit sich diese auf die Standorte mit unterschiedlicher bestehender Anlagentechnik und Anlagenausbaugröße übertragen lassen, ist in spezifischen Untersuchungen weiter zu klären.

7 Literatur

- EWG (1991) Richtlinie 91/271/EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj>)
- Eliquo (2015): Innovative energy and nutrient factory at Amersfoort waste water treatment plant. (Eliquo water & Energy BV, The Netherlands, www.eliquo-we.com)
- Gottardo Morandi, C.; Wasielewski, S.; Mouarkech, K.; Minke, R.; Steinmetz, H. (2018): Impact of new sanitation technologies upon conventional wastewater infrastructures, *Urban Water Journal*, 15:6, 526-533.
- Horn, H., Rapp-Fiegle, S., Günthert, F.W., Holtorff M.S., Bischof, F., Chwistek, M. (2009): Forschungsvorhaben „Kläranlage der Zukunft“ – Themenbereiche Faulgasproduktion, Anaerobtechnik und Deammonifikation. Technische Universität München.
- Mergelmeyer, M.; Kolisch, G. (2014): Projekt Nr. 2: Verbesserung der Klärgasnutzung, Steigerung der Energieausbeute auf kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Energie und Klimaschutz. Forschungsvorhaben im Auftrag des MKULNV-NRW (AZ IV-7-042 600 003B).
- Palmowski, L.; Pinnekamp, J. (Hrsg)) (2018): Entwicklung und Integration innovativer Kläranlagentechnologien für den Transformationsprozess in Richtung Technikwende - E-Klär. Abschlussbericht, gefördert im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme ERWAS.
- Pittmann, T.; Steinmetz, H. (2017): Polyhydroxyalkanoate Production on Waste Water Treatment Plants: Process Scheme, Operating Conditions and Potential Analysis for

- German and European Municipal Waste Water Treatment Plants. Bioengineering 2017, 4
- Remy, C.; Diercks, K.; (2016) Deliverible D 3.1 Best practices for improved sludge digestion. Horzin 2020 project: Powerstep.
- Schmitt, Theo G. (Hrsg.) (2017): Kläranlagen in der Energiewende: Faulung optimieren & Flexibilität wagen. Tagungsband zur Fachtagung in Kaiserslautern am 30. November 2017. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft Technische Universität Kaiserslautern.
- Smart-plant (2019) Scale-up of low-carbon footprint material recovery techniques in existing wastewater treatment PLANTs. Horzin 2020 project 2016-2020: Smart-plant <https://smart-plant.eu/>
- Weissenbacher, N.; Wett, B.; DeClippel, H.; Hell, M. (2013): Hauptstromdeammonifikation in Kläranlagen - Analyse des Einflusses auf die flüssigen und gasförmigen Emissionen kommunaler Kläranlagen in Österreich.
- WOW (2019): Designing value chains for carbon based elements from wastewater. Work package report of the NEW-Interreg Project WOW!. <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/wow-wider-business-opportunities-for-raw-materials-from-wastewater/news/designing-value-chains-for-carbon-based-elements-from-wastewater/>

Korrespondenz an:

Dr.-Ing. Inka Hobus

Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH
Untere Lichtenplatzer Str. 100
D - 42289 Wuppertal

Tel.: +49 202 583236

Mail: hob@wupperverband.de