



**Entsorgungsbetriebe der Landes-
hauptstadt Wiesbaden
Unterer Zwerchweg 120**

D- 65205 Wiesbaden

**Studie zum Hauptklärwerk Wiesbaden –
Technisch/wirtschaftliche Vorunter-
suchung von Standortvarianten für
eine vierte Reinigungsstufe**

P2038/034, P2038/035 und P2038/046

Verfasser:

Dr. Born - Dr. Ermel GmbH
- Ingenieure -
Finienweg 7
28832 Achim
Telefon: 04202 / 7 58-0
Telefax: 04202 / 7 58-500
E-Mail: be@born-ermel.de
Internet: www.born-ermel.de

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Einleitung	4
2	Realisierung der vierten Reinigungsstufe für das Hauptklärwerk Wiesbaden	6
2.1	Anlagenbestand des Hauptklärwerks Wiesbaden	6
2.2	Verfahrensvergleich und -auswahl	10
2.3	Dimensionierung der Pulveraktivkohle-Behandlungsanlage	18
3	Standortvergleich unter betrieblich-technischen und wirtschaftlichen Aspekten	22
3.1	Allgemeines	22
3.1.1	Ursprünglicher Gesamtstandort	22
3.1.2	Standortvarianten	23
3.1.3	Bewertungskriterien zur Standortauswahl	24
3.2	Standortalternativen innerhalb des Betriebsgeländes	27
3.2.1	Ergebnisse der Analysen zu Standort 0	27
3.2.2	Ergebnisse der Analysen zu Standort 11	28
3.2.3	Vergleich der Standorte innerhalb des Betriebsgeländes	31
3.3	Standortalternativen außerhalb des Betriebsgeländes	35
3.3.1	Ergebnisse der Analysen zu Standort 1	35
3.3.2	Ergebnisse der Analysen zu Standort 2	37
3.3.3	Ergebnisse der Analysen zu Standort 3	39
3.3.4	Ergebnisse der Analysen zu Standort 5	42
3.3.5	Ergebnisse der Analysen zu Standort 6	44
3.3.6	Ergebnisse der Analysen zu Standort 7	47
3.3.7	Vergleich der Standorte	49
4	Zusammenfassung	54
	Literaturverzeichnis	56
	Kurzzeichen	58

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Hydraulische Berechnungen

Anlage 2: Kostenschätzung

Anlage 3: Zeichnerische Darstellung der Standortvarianten

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 2.1:	Übersicht der Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren zur Spurenstoffelimination	11
Tabelle 2.2:	Schätzung der Jahreskosten durch die TU Darmstadt	14
Tabelle 2.3:	Nutzwertanalyse der Verfahren zur weitergehenden Abwasserbehandlung	17
Tabelle 3.1:	Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 0	28
Tabelle 3.2:	Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 11	30
Tabelle 3.3:	Nutzwertanalyse der Standortvarianten innerhalb des Betriebsgeländes	34
Tabelle 3.4:	Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 1	37
Tabelle 3.5:	Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 2	39
Tabelle 3.6:	Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 3	41
Tabelle 3.7:	Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 5	44
Tabelle 3.8:	Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 6	46
Tabelle 3.9:	Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 7	48
Tabelle 3.10:	Nutzwertanalyse der Standortvarianten außerhalb des Betriebsgeländes	52

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 2.1:	Lage des Hauptklärwerks Wiesbaden, Grundstück grün markiert	6
Abbildung 2.2:	Fließschema des Hauptklärwerks Wiesbaden	7
Abbildung 2.3:	Fließschema des Schlammes des Hauptklärwerks Wiesbaden	7
Abbildung 2.4:	Geröllfang	7
Abbildung 2.5:	Grob- und Feinrechen	8
Abbildung 2.6:	Sandfang	8
Abbildung 2.7:	Vorklärbecken	8
Abbildung 2.8:	Belebungsbecken	9
Abbildung 2.9:	Nachklärbecken	9
Abbildung 2.10:	Mikrosiebung	9
Abbildung 3.1:	Ursprünglicher Gesamtstandort für eine vierte Reinigungsstufe	22
Abbildung 3.2:	Übersicht der Standortvarianten	23
Abbildung 3.3:	Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 0	27
Abbildung 3.4:	Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 11	29
Abbildung 3.5:	Differenzkosten der Standorte innerhalb des Betriebsgeländes	33
Abbildung 3.6:	Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 1	36
Abbildung 3.7:	Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 2	38
Abbildung 3.8:	Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 3	40
Abbildung 3.9:	Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 5	43
Abbildung 3.10:	Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 6	45
Abbildung 3.11:	Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 7	47
Abbildung 3.12:	Differenzkosten der Standorte außerhalb des Betriebsgeländes	50

1 Einleitung

Das Hauptklärwerk (HKW) Wiesbaden wird von den „Entsorgungsbetrieben der Landeshauptstadt Wiesbaden“ (ELW) betrieben und ist für eine Belastung von 325.000 Einwohnerwerten (EW) ausgelegt. Durch die mechanisch-biologische Kläranlage mit vorgeschalteter Denitrifikation werden rd. 50.000 m³/d gereinigt. In Zukunft ist allerdings bzgl. der Phosphor- und der Spurenstoffkonzentration mit neuen bzw. steigenden Anforderungen an diese Reinigungsleistung zu rechnen. Aus diesem Grund soll eine neue, vierte Reinigungsstufe errichtet werden, die beide Parameter auf die zu erwartenden Grenzwerte absenkt. Allerdings ist eine solche Reinigungsstufe sehr platzintensiv. Da das vorhandene Klärwerksgelände keine entsprechenden Freiräume bietet, hat diese Ausarbeitung das Ziel, acht verschiedene Standortvarianten zu vergleichen und zu bewerten.

Zur Elimination von Spurenstoffen stehen verschiedene Behandlungsmöglichkeiten zur Verfügung, die in adsorptive, biologische, oxidative und physikalische Verfahren unterschieden werden. Allerdings sind nicht alle technisch möglichen Verfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen geeignet. Notwendige Bedingungen sind eine Breitbandwirkung (also die Elimination einer Vielzahl von unterschiedlichen Spurenstoffen), ein geringes Auftreten von Nebenprodukten, die gute Integrierbarkeit und ein ausgewogenes Kosten-Nutzen-Verhältnis. Nach heutigem Stand des Wissens eignen sich die Ozon- und die Pulveraktivkohleverfahren sowie der Einsatz von granulierter Aktivkohle.

Bei der Verfahrensauswahl wird besonderer Wert auf die betriebliche Eignung gelegt. Im Vordergrund stehen dabei die Breitbandwirkung, der Platzbedarf, die Anpassungsfähigkeit an den spezifischen Abwasserstrom sowie die großtechnische Erfahrung. Anhand dieser Kriterien wird als Vorzugsvariante das Pulveraktivkohleverfahren herausgearbeitet und als maßgebend für die Bewertung der Standortvarianten eingestuft.

Als Standort für die neudimensionierte Anlage stehen acht Varianten zur Verfügung. Zwei Standortvarianten befinden sich auf einer vorgesehenen Erweiterungsfläche des Hauptklärwerks. Diese sind allerdings räumlich eingengt. Die restlichen sechs Standorte liegen südlich des Kläranlagengebiets und haben eine Entfernung von bis zu über 1,1 km zum Klärwerksgelände. Die Standorte sind überwiegend durch Wohnbebauung und Infrastruktureinrichtungen begrenzt und werden zum Teil durch den Salzbach geteilt, was bei der Beckenanordnung berücksichtigt werden muss. Ausführlich werden die standortspezifischen Kosten dargestellt, die aus den unterschiedlich langen Rohrleitungen, dem Bodenabtrag oder der Querung des Salzaches entstehen.

Darüber hinaus werden betrieblich-technische Aspekte zur Bewertung der einzelnen Standorte untersucht.

Die acht Standortvarianten werden im Rahmen einer Nutzwertanalyse miteinander verglichen und so die Vorzugsvariante herausgearbeitet. Für alle Alternativstandorte wird eine mögliche Anordnung der erforderlichen Becken und Einrichtungen in Form von Lageplänen sowie Längs- und Querschnitten dargestellt. Entsprechend der Nutzwertanalyse wird eine Handlungsempfehlung gegeben.

Der Aufbau der Kläranlage wird im Folgenden vorgestellt:

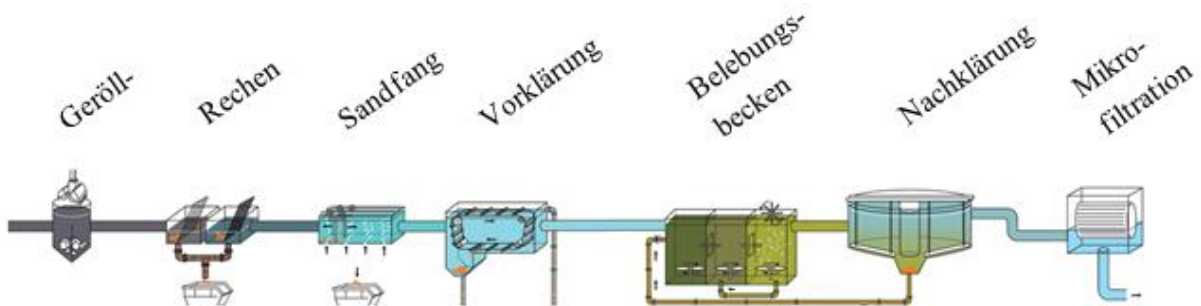


Abbildung 2.2: Fließschema des Hauptklärwerks Wiesbaden
(nach ELW 2016)

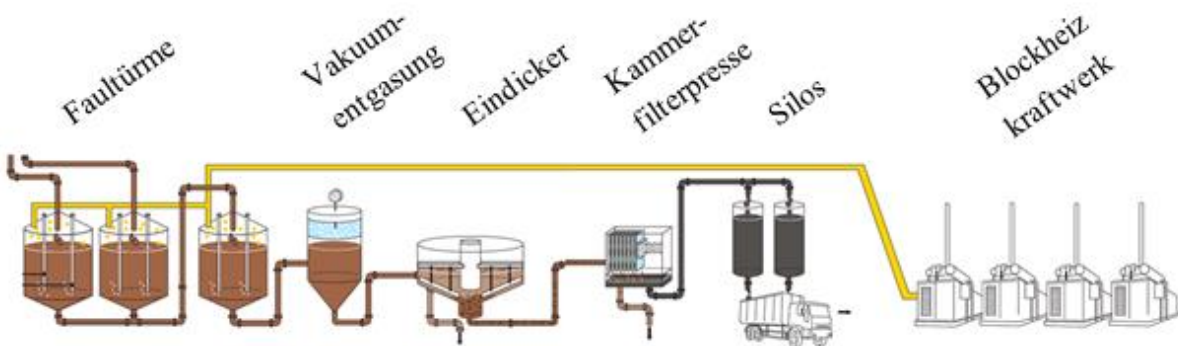


Abbildung 2.3: Fließschema des Schlammes des Hauptklärwerks Wiesbaden
(nach ELW 2016)



Abbildung 2.4: Geröllfang
(ELW 2016)

Geröllfang

Der Geröllfang dient zur Abscheidung von im Abwasser mitgeführten Grobstoffen. Um eine Verschlammung zu vermeiden, wird der Geröllfang belüftet und das feine Sediment somit in Schwebelage gehalten. Die Reinigung des Geröllfangs erfolgt durch einen Greifer.

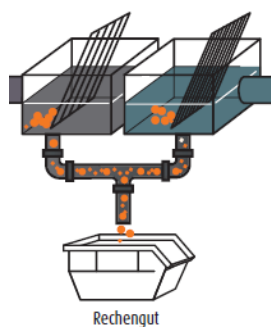


Abbildung 2.5: Grob- und Feinrechen
(ELW 2016)

Grob- und Feinrechen

Dem Geröllfang folgt eine Aufteilung des Abwassers in drei Straßen. Das Abwasser jeder Straße wird zunächst durch einen Grobrechen mit einem Stababstand von 40 mm und einen Feinrechen (6 mm) gereinigt. Das anfallende Rechengut wird anschließend gepresst und verbrannt. Das Presswasser wird der Vorklärung zugeführt. Insgesamt (Rechengut und Geröll) fallen 1400 kg/d Rechengut an.

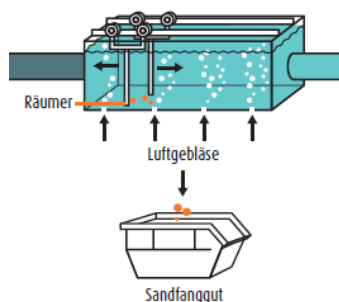


Abbildung 2.6: Sandfang
(ELW 2016)

Sandfang

Zur Abscheidung der im Abwasser verbliebenen mineralischen Bestandteile werden zwei belüftete Langsandfänge mit einer Länge von jeweils 41 m eingesetzt. Dabei trägt die Belüftung einerseits zur optimierten Abscheideleistung des Sandes und andererseits zur Abscheidung von Fetten bei. Das eingeblasene Luftvolumen pro Sandfang beträgt 7 m³/min. Daraus ergibt sich bei einer Tiefe von 5,3 m eine Fließgeschwindigkeit von 0,05 m/s. Täglich können so rd. 800 kg Sandfanggut aus dem Abwasserstrom eliminiert werden, die anschließend extern entsorgt werden. Das anfallende Fett wird dem Faulbehälter zugeführt und anaerob behandelt.

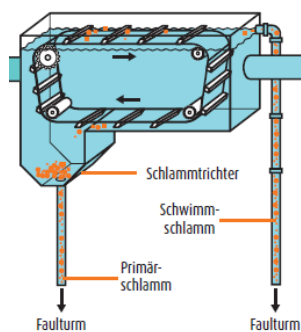


Abbildung 2.7: Vorklärbecken
(ELW 2016)

Vorklärbecken

Bei der Vorklärung handelt es sich um Längsbecken mit einer Länge von je 35 m und einer Tiefe von 3 m. Die in vier Straßen angeordneten Becken entfernen neben den organischen Feinpartikeln anfallenden Schwimmschlamm. Der durch die Schlammschmitter abgezogene Primärschlamm, der anschließend einem Faulbehälter zugeführt wird, wird mit rund 250 m³/d angegeben.

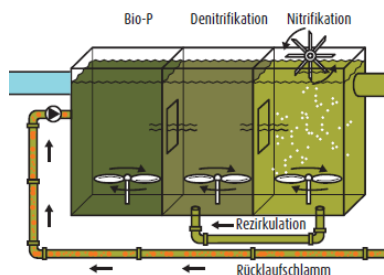


Abbildung 2.8: Belebungsbecken
(ELW 2016)

Belebungsbecken

Die Belebung der Kläranlage ist in fünf Straßen angeordnet und wegen der beengten Platzverhältnisse mit 7,25 m verhältnismäßig tief. Die biologische Stufe beginnt mit einem anaeroben Mischbecken, das den Beginn der biologischen Phosphorbehandlung darstellt und ein Volumen von 1.870 m³/ Straße besitzt. Anschließend durchläuft das Abwasser ein vorgeschaltetes anoxisches Denitrifikationsbecken mit einem Volumen von 2.390 m³/ Straße und ein aerobes Nitrifikationsbecken mit einem Volumen von 8.380 m³/ Straße. Der durchschnittliche Feststoffgehalt im Becken beträgt 3 kg/m³.

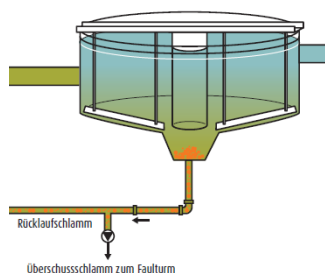


Abbildung 2.9: Nachklärbecken
(ELW 2016)

Nachklärbecken

Die sechs Nachklärbecken haben ein Gesamtvolumen von 30.708 m³ und einen Durchmesser von 38 m.

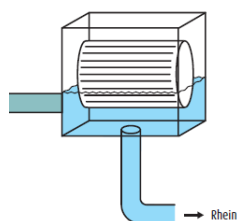


Abbildung 2.10: Mikrosiebung
(ELW 2016)

Mikrosiebung

Die Mikrosiebanlage ist der Nachklärung als letzte Reinigungsstufe nachgeschaltet. Die Anlage ist derzeit aufgrund der guten Reinigungsleistung der Nachklärbecken nicht in Betrieb, muss aber nach Forderung der Aufsichtsbehörde, sofern dies erforderlich ist, wieder in Betrieb genommen werden.

Auf die anaerobe Schlammbehandlung wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

Das gereinigte Abwasser wird über eine Sammelleitung nach Süden in den Rhein geleitet. Zusätzlich ist eine zweite Einleitstelle genehmigt, die es ermöglicht, das gereinigte Abwasser in den Salzbach zu leiten. Der Salzbach verläuft im Osten der Kläranlage von Norden nach Süden und mündet in den Rhein.

2.2 Verfahrensvergleich und -auswahl

In der kommunalen Abwasserreinigung werden bisher Verfahren unter Anwendung von Pulveraktivkohle, granulierter Aktivkohle oder die Ozonierung eingesetzt. Da nach heutigem Stand der Technik nur diese drei Verfahren wirtschaftlich und betriebssicher einsetzbar sind, werden im Folgenden ausschließlich diese Verfahren verglichen.

Die drei hier vorgestellten Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen sind allesamt realisierbar und haben eine Breitbandwirkung gegenüber Mikroverunreinigungen. Außerdem lassen sie sich ohne großen Aufwand in die bestehende Abwasserbehandlung integrieren, da sie dem Nachklärbecken nachgeschaltet installiert werden und i. d. R. keine negativen Auswirkungen auf die vorherigen Behandlungsstufen haben. Auch die Integration der Phosphorelimination ist bei allen Verfahren möglich. Welches Verfahren letztendlich ausgewählt wird, ist von vielen ortspezifischen Faktoren abhängig und muss für jeden Fall separat entschieden werden. Um einen Überblick über die spezifischen Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren zu bekommen, wurde Tabelle 2.1 erstellt (nach Hillebrand et al. 2013, Günthert et al. 2013 und Bornemann et al. 2015).

Tabelle 2.1: Übersicht der Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren zur Spurenstoffelimination
(nach Hillebrand et al. 2013; Günthert et al. 2013)

PAK

Vorteile

- Breitbandwirkung
- einfache, flexible Dosierung ermöglicht schmutzfrachtabhängige Behandlung
- reduzierte CSB-Ablaufwerte
- deutliche Phosphor-Reduzierung im Ablauf
- erhöhter Heizwert des Schlammes
- Energieverbrauch auf der Kläranlage sehr gering
- i. d. R. verbesserte Schlamm Eigenschaften
- Wirkungsweise komplett bekannt
- verbesserte hygienische Beschaffenheit des Ablaufs
- einfache Anlagentechnik
- großtechnische Betriebserfahrungen vorhanden

Nachteile

- mehr Klärschlammanfall
- keine landwirtschaftliche Nutzung des Klärschlammes möglich
- keine wirtschaftliche Regeneration der Aktivkohle möglich, dementsprechend hoher Ressourcenverbrauch
- mögliche Verlagerung der Umweltproblematik an den Herstellungsort der Aktivkohle
- hoher Platzbedarf für Bauwerke
- Desorption von Mikroschadstoffen durch Kohlerückführung oder in der Faulung möglich
- nasse Aktivkohle kann abrasiv wirken
- großer Fällmittelbedarf

GAK

Vorteile

- Breitbandwirkung
- Reaktivierung der Aktivkohle möglich
- reduzierte CSB-Ablaufwerte
- geringer Steuerungs- und Regelungsaufwand
- Wirkungsweise komplett bekannt
- einfache Anlagentechnik

Nachteile

- Anstieg der Ablaufkonzentration wenn Adsorptionskapazität erreicht wird
- arbeitsintensiver Austausch des Filterbetts
- mögliche Verlagerung der Umweltproblematik an den Herstellungsort der Aktivkohle
- großtechnische Erfahrungen begrenzt, überwiegend für Wasserwerke

Ozon

Vorteile

- Breitbandwirkung
- einfache flexible Dosierung möglich
- kein zusätzlicher Klärschlammanfall
- verbesserte hygienische Verhältnisse
- unabhängig von anderen Reinigungsstufen

Nachteile

- Bildung ggf. toxischer Transformationsprodukte
- erhöhter Energieverbrauch auf der Kläranlage
- höherer Steuerungs- und Regelungsaufwand
- hohe Sicherheitsanforderungen
- Wartung der Anlage benötigt Spezialfirmen

Für das HKW Wiesbaden steht neben der Spurenstoffelimination auch die weitergehende Phosphorelimination im Vordergrund. Die zu errichtende vierte Reinigungsstufe soll auch den Anforderungen des hessischen Bewirtschaftungsplans zur Reduzierung von Phosphoreinträgen in Oberflächengewässer gerecht werden, obwohl derzeit wegen der Einleitung in den Rhein hierzu für die Wiesbadener Klärwerke noch keine Auflagen bestehen.

Die Entscheidung über die Auswahl des Verfahrens kann nicht auf Basis von nur einem Kriterium, wie bspw. den Investitionskosten getroffen werden. Es müssen verschiedene betriebliche und wirtschaftliche Faktoren berücksichtigt und bewertet werden. Um eine übersichtliche und nachvollziehbare Bewertung der einzelnen Verfahren vornehmen zu können, wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt (vgl. Tabelle 2.3). Dazu wurden zunächst zwei Hauptkategorien festgelegt, die wiederum in verschiedene Bewertungskriterien unterteilt und konkret formuliert wurden. Die anschließende Wertung erfolgt durch die Festlegung einer Rangfolge (RF). Das in einer Kategorie am besten abschneidende Verfahren belegt Rang 1. Werden mehrere Verfahren gleich bewertet, erfolgt die Platzierung auf denselben Rang. Es können beispielsweise alle drei Verfahren in einer Kategorie auf Rang 1 liegen. Werden nur zwei Verfahren gleich bewertet, erhalten die beiden den gleichen Rang. Das verbliebene Verfahren wird dann entweder mit einem Rang Abstand oder auf den Rang direkt dahinter platziert (in Abhängigkeit der Deutlichkeit der Vorteile eines Verfahrens). Beispiel: Verfahren 1 und 2 werden auf Rang 1, Verfahren 3 auf Rang 3 oder 2 festgelegt.

In Abhängigkeit von der Entscheidungsrelevanz werden die unterschiedlichen Kategorien zusätzlich gewichtet. Ein Kriterium mit einer hohen Entscheidungsrelevanz muss höher gewichtet werden, als ein weniger wichtiger Faktor. So können die spezifischen Bedürfnisse des Auftraggebers nachvollziehbar und transparent berücksichtigt werden. Die Rangfolge wird mit der entsprechenden Wichtung multipliziert und die Ergebnisse anschließend innerhalb der Hauptkrite-

rien zusammengezählt. Die Hauptkriterien werden wiederum neu gewichtet, sodass ein stimmiges Gesamtbild entsteht. Nach der Gewichtung der Hauptkriterien kann die Gesamtrangfolge bestimmt werden.

Die beiden Hauptgruppen sowie die Wertungen der einzelnen Kriterien werden folgend erläutert:

Wirtschaftliche Kriterien

Eine Gesamtkostenschätzung wurde im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht durchgeführt, da diese im Gutachten „Zukunft der Abwasserbehandlung auf den Klärwerken der Entsorgungsbetriebe der Landeshauptstadt Wiesbaden“ (Cornel et al. 2013) bereits angestellt wurde. Die Voraussetzungen haben sich seither nicht wesentlich geändert. Die ermittelten Daten werden als Fixkosten für das Verfahren angesetzt. Für die unter Kapitel 4 durchgeführte Standortauswahl wird zusätzlich eine standortspezifische Kostenschätzung einbezogen.

Die im Gutachten ermittelten Kosten beruhen zum Großteil auf Pauschalen und Annahmen, die an die aktuellen Anforderungen der ELW angepasst wurden, und werden im Folgenden vorgestellt:

Abschreibungszeiten: Die Investitionskosten werden unter Berücksichtigung eines Realzinses von 3 % in Jahreskosten umgewandelt. Dazu werden folgende Abschreibungszeiten für die verschiedenen Bereiche angesetzt:

- Rohrleitungen: 60 Jahre
- Bautechnik: 40 Jahre
- Maschinentechnik: 20 Jahre
- Elektro- und MSR-Technik: 15 Jahre

Instandhaltung, Wartung, Reparatur und Ersatzteile: Diese Bereiche werden prozentual an den Investitionskosten berechnet.

- Bautechnik: 1 %
- Maschinentechnik: 2 %
- Elektro- und MSR-Technik: 4 %

Für die *Personalkosten* werden mit 0,5 % der Nettoherstellkosten der Bautechnik angegeben.
Die *Betriebsmittelkosten* sind abhängig vom Hersteller und der tatsächlich eingesetzten Menge.
Als Pauschalwerte werden folgende Preise angesetzt:

- PAK: 1.400 €/Mg
- GAK: 900 €/Mg
- Sauerstoff einschl. Lagertank: 100 €/Mg
- Fällmittel Fe: 400 €/Mg
- Flockungshilfsmittel Polymer: 3000 €/Mg

Die schwankenden Preise für elektrische Energie werden mit 250 €/MWh und die Kosten für den zusätzlichen Schlammanfall mit 70 €/Mg angenommen.

Die sich ergebenden Kosten werden in Tabelle 2.2 dargestellt. Die detaillierte Kostenzusammenstellung kann dem entsprechenden Gutachten entnommen werden.

Tabelle 2.2: Schätzung der Jahreskosten durch die TU Darmstadt
(nach Cornel et al. 2013)

	Variante PAK	Variante GAK	Variante Ozon
	[€]	[€]	[€]
Kapitalkosten Bautechnik	525.300	636.500	417.100
Kapitalkosten Maschinentechnik	742.700	994.300	618.500
Kapitalkosten E- und MSR-Technik	305.400	387.400	270.100
Instandhaltungskosten	424.600	546.100	356.000
Personal	52.800	64.000	41.900
Betriebsmittel	420.800	741.400	244.800
Energie	158.700	152.000	601.800
Entsorgung	38.500	0	0
Jahreskosten (netto)	2.668.800	3.521.500	2.550.200
Jahreskosten (brutto)	3.175.900	4.190.600	3.034.700

Die Kostenschätzung zeigt, dass das Ozon-Verfahren das ökonomisch günstigste Verfahren ist. Bei den Investitionskosten entstehen diese durch den geringen Kostenanteil der Ozonung selbst. Lediglich die notwendige Flockungsfiltration, die allerdings bei allen drei Varianten erforderlich

ist, stellt einen großen Kostenfaktor dar. Während die Kapitalkosten der PAK-Variante im Vergleich zur Ozon-Variante nur geringfügig teurer sind, setzt sich die GAK-Variante deutlich ab. Da sich die Kostenpunkte Instandhaltung und Personal in der Kostenschätzung aus den Investitionskosten ergeben, stehen sie in einem ähnlichen Verhältnis zueinander. Im Kostenpunkt Betriebsmittel schneidet die Ozon-Variante ebenfalls sehr gut ab. Die anderen beiden Varianten sind wegen der hohen Kosten für Pulver- bzw. granuliert Aktivkohle deutlich teurer. Im Gegensatz dazu stehen die Kosten in Folge des Energieaufwands. Diese liegen für die Aktivkohlevarianten deutlich unter denen der energieintensiven Ozon-Variante. Für den Bereich der Entsorgung fallen für die PAK-Variante die größten Kosten an. Die Kosten für die GAK-Variante sind gering, da ein Großteil der Kohle reaktiviert und wiederverwendet werden kann. Bei der Ozonung entstehen keine zu entsorgenden Abfallprodukte.

Insgesamt sind die Jahreskosten der Varianten Ozon und PAK ähnlich hoch. Lediglich die GAK-Variante ist anhand dieser Kostenschätzung als deutlich kostenintensiver zu bewerten.

Betriebliche Kriterien

Am deutlichsten gewertet wurden die großtechnischen Erfahrungen und der Energieverbrauch der jeweiligen Verfahrenstechnik. Die gesammelten Erfahrungen im Bereich der PAK-Behandlung können eine deutliche Hilfe bei der Problembewertung im Betrieb sein. Da Ozon im Abwasserbereich bisher kaum großtechnisch eingesetzt wurde, sind Komplikationen in der Umsetzung und im Betrieb der Anlage nicht auszuschließen. Verbunden mit dem Gefährdungspotenzial, das bei dem Ozonungsverfahren deutlich größer ist als bei den anderen beiden Verfahren, führt dies zur negativen Bewertung (vgl. Tabelle 2.3).

Alle drei Varianten benötigen zusätzliche Flächen, allerdings ist der Platzbedarf bei der PAK-Behandlung durch die drei notwendigen Verfahrensstufen (Kontaktreaktor, Sedimentationsbecken und Flockungsfilter) am größten. Das GAK-Verfahren benötigt wegen der kompakten Bauweise die geringste Fläche.

Bzgl. der Breitbandwirkung erfüllen alle drei Varianten die Anforderungen, sodass sie in dieser Kategorie alle auf Rang 1 liegen. Allerdings sind nur die Verfahren PAK und Ozon flexibel an die Abwassermatrix anpassbar. Damit ist zwar einerseits wegen der komplexen Steuerungstechnik ein höherer Personalaufwand verbunden, andererseits können so Ressourcen geschont werden. Bei der GAK-Variante ist keine Anpassung möglich, da das Abwasser kontinuierlich auf die Filter verteilt wird.

Die wirtschaftlichen und die betrieblichen Kriterien werden im Verhältnis 40 / 60 gewertet. Damit nehmen die ökonomischen Belange einen großen Anteil am Gesamtergebnis ein. Da das

Kläranlagenpersonal die neue Reinigungsstufe rund um die Uhr betreuen muss, sind die betrieblichen Kriterien allerdings in den Vordergrund zu stellen. Die detaillierte Wertung und Bewertung der festgelegten Kriterien können Tabelle 2.3 entnommen werden.

Die Nutzwertanalyse zeigt, dass sich bei den gewählten Gewichtungen die PAK-Variante am besten für den Einsatz auf dem HKW Wiesbaden eignet. Das Verfahren hat deutliche Vorteile im Betrieb, da es bereits diverse großtechnische Erfahrungen gibt und auch der Energieverbrauch auf der Kläranlage ist gering. Der Platzbedarf ist zwar größer und der Schlammanfall wird erhöht, allerdings können die negativen Auswirkungen dieser Faktoren bereits in der Planung reduziert werden.

Es ist festzuhalten, dass die Bewertungen aller drei Varianten sehr dicht beieinander liegen. Insbesondere das Ozon-Verfahren erzielt wegen der guten wirtschaftlichen Einschätzung eine positive Gesamtbewertung. Jede Variante erfüllt die notwendige Breitbandwirkung und kann bei einem vernünftigen Kosten-Nutzen-Verhältnis die gewünschten Anforderungen einhalten. Auf Grund der hier festgelegten Bewertungskriterien und der entsprechenden Wichtung, wird der Einsatz eine PAK-Behandlung empfohlen.

Tabelle 2.3: Nutzwertanalyse der Verfahren zur weitergehenden Abwasserbehandlung

Kriterium	Wichtung	PAK		GAK		Ozon	
		RF	TN	RF	TN	RF	TN
A) Wirtschaftliche Kriterien							
1 Jahreskosten	100%	2	2,00	3	3,00	1	1,00
Summe TN (Wichtung x RF)	100%		2,00		3,00		1,00
	Rang:		2		3		1
B) Betriebliche Kriterien							
1 Großtechnische Betriebserfahrungen	25%	1	0,25	2	0,50	3	0,75
2 Platzbedarf	10%	3	0,30	1	0,10	2	0,20
3 Breitbandwirkung	10%	1	0,10	1	0,10	1	0,10
4 Anpassungsfähigkeit an Abwassermatrix	10%	1	0,10	3	0,30	1	0,10
5 Komplexität der Steuerungstechnik	5%	2	0,10	1	0,05	3	0,15
6 Reinigungsleistung bzgl. DOC	5%	1	0,05	1	0,05	3	0,15
7 Auswirkungen auf andere Reinigungsstufen	5%	1	0,05	3	0,15	3	0,15
8 Erhöhung des Schlammanfalls	5%	3	0,15	1	0,05	1	0,05
9 Energieverbrauch auf der Kläranlage	5%	1	0,05	2	0,10	3	0,15
10 Anfall von Transformationsprodukten	5%	1	0,05	1	0,05	3	0,15
11 Konformität für zukünftige Entwicklungen	5%	1	0,05	1	0,05	1	0,05
12 Gefährdungspotenzial	5%	1	0,05	1	0,05	3	0,15
13 Desinfektionswirkung	5%	3	0,15	3	0,15	1	0,05
Summe TN (Wichtung x RF)	100%		1,45		1,70		2,20
	Rang:		1		2		3
Gesamtbewertung							
A) Wirtschaftliche Kriterien	40%	2,00	0,80	3,00	1,20	1,00	0,40
B) Betriebliche Kriterien	60%	1,45	0,87	1,70	1,02	2,20	1,32
Summe Punkte	100%		1,67		2,22		1,72
Zielerfüllung	%		100%		67%		97%
	Rang:		1		3		2

2.3 Dimensionierung der Pulveraktivkohle-Behandlungsanlage

Auf Grundlage der Nutzwertanalyse wurde die PAK-Behandlung zur weitergehenden Reinigung des Abwassers ausgewählt. Im Folgenden wird die Dimensionierung der Behandlungsanlage vorgestellt. Die Dosierung der PAK erfolgt im Zulauf des Kontaktbehälters. Anschließend wird das Abwasser in ein Sedimentationsbecken und folgend durch eine Flockungsfiltration geleitet.

Zur Dimensionierung der vierten Reinigungsstufe muss zunächst der Bemessungsabwasserzufluss bestimmt werden. Je nachdem, welche Parameter bei der Behandlung im Vordergrund stehen, kann eine Vollstrombehandlung unwirtschaftlich sein. Untersuchungen zeigen, dass bereits bei einer Dimensionierung für 50 % des Mischwasserabflusses (Q_M) rund 90 % der Jahresabwassermenge behandelt werden können. Es wird allerdings darauf verwiesen, dass der Bemessungsabwasserzufluss für jede Kläranlage spezifisch ermittelt werden muss (Metzger 2010). Bei dem Hauptklärwerk Wiesbaden steht neben der Spurenstoffelimination die Phosphorelimination im Vordergrund. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, den gesamten Abwasservolumenstrom durch die, dem Aktivkohleadsorptionsreaktor nachgeschaltete, Flockungsfiltration zu behandeln. Um den Abwasservolumenstrom zu ermitteln, der wirtschaftlich vertretbar durch Pulveraktivkohle behandelt werden kann, wurde für das Hauptklärwerk Wiesbaden von dem Ingenieurbüro „Dahlem“ eine Studie durchgeführt (Dahlem 2011). Ziel war die Ermittlung der Abwassermenge, die behandelt werden muss, um 90 % des jährlichen Gesamtabflusses zu reinigen. Die Studie besagt, dass rund 80 % der Abflüsse kleiner als $\frac{1}{3} \cdot Q_M$ sind. Um 90 % der Jahresabwassermenge zu behandeln, ist eine Dimensionierung auf 60 % des Mischwasserabflusses erforderlich. Auf dieser Grundlage wurde der Volumenstrom des Teilstroms für die PAK-Behandlung des Hauptklärwerks Wiesbaden festgelegt. Voraussetzung dabei ist, dass der so ermittelte Teilstrom einen größeren Volumenstrom ergibt als der Trockenwetterabfluss. Des Weiteren muss die Rückführung des Spülwassers zur Filterreinigung berücksichtigt werden. Da keine detaillierten Informationen über die geplanten Sandfilter vorliegen, wird die Spülwassermenge mit 5 % des maximalen täglichen Trockenwetterabflusses angesetzt.

Relevante Volumenströme:

Mischwasserabfluss: $Q_M = 7.200 \frac{m^3}{h} = 2000 \frac{l}{s}$

Maximaler stündlicher Trockenwetterabfluss: $Q_{T,h,max} = 2.944 \frac{m^3}{h} = 818 \frac{l}{s}$

Gesamtjahresabfluss: $Q_a = 17.904.600 \frac{m^3}{a}$

Bestimmung des Volumenstroms zur adsorptiven Teilstrombehandlung:

$$Q_{ads.Teilstr.} = 0,6 \cdot Q_M + Q_{Spülabw.} = 0,6 \cdot 7.200 \frac{m^3}{h} + 0,05 \cdot 2.944 \frac{m^3}{h} = 4.467 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Bedingung: } Q_{ads.Teilstr.} \geq Q_{T,h,max} \rightarrow 4.467 \frac{m^3}{h} \geq 2.944 \frac{m^3}{h} \checkmark$$

Dimensionierung der Bauwerke**Kontaktreaktor**

Damit eine gute Reinigungsleistung durch die PAK erfolgen kann, wird das mit PAK versetzte Abwasser in einen Kontaktreaktor geleitet. Dieser wird vollständig durchmischt, sodass die PAK in Schwebe gehalten wird und die Zielsubstanzen adsorbieren kann. Wichtig ist, dass die Durchmischung schonend erfolgt, sodass sich eine gut absetzbare Flockenstruktur ausbildet.

Studien haben gezeigt, dass es im Kontaktreaktor einen direkten Zusammenhang zwischen der Kontaktzeit im Behälter und der Elimination von DOC gibt (Metzger 2010). Allerdings konnte bei diesen Versuchen auch festgestellt werden, dass bereits bei einer Kontaktzeit von 20 Minuten 80 % des DOC, der bei einer Kontaktzeit von 60 Minuten adsorbiert wird, eliminiert werden kann. Des Weiteren werden nach 15 Minuten Kontaktzeit keine nennenswerten Mengen Arzneimittel mehr eliminiert. (Metzger 2010)

Um auf dieser Grundlage eine möglichst gute Reinigungsleistung zu erhalten, wird für den Kontaktreaktor eine Kontaktzeit von 30 Minuten gewählt. Somit ist davon auszugehen, dass ein Großteil des verbliebenen DOC sowie eine maximale Menge Mikroschadstoffe eliminiert werden kann, ohne im unwirtschaftlichen Bereich zu handeln.

Um eine Mehrfachbeladung zu gewährleisten, muss die im Sedimentationsbecken abgezogene Aktivkohle zurück in den Kontaktreaktor geführt werden. Das zurückgeführte Volumen muss bei der Dimensionierung berücksichtigt werden, damit die gewählte Kontaktzeit tatsächlich eingehalten wird.

- gewählte Kontaktzeit: $t_{min} = 30min$
- gewähltes AK-Schlammrückführung: $RV = 70\%$

$$\begin{aligned} Q_{Rück} &= RV \cdot Q_{ads.Teilstr.} = 0,7 \cdot 4.467 \\ &= 3.127 \frac{m^3}{h} \end{aligned}$$

- Volumen Kontaktreaktor:
$$V_{Kont,erf} = (Q_{ads.Teils.} + 0,7 \cdot Q_{ads.Teils.}) \cdot t_{min}$$
$$= (4.467 \frac{m^3}{h} + 0,7 \cdot 4.467 \frac{m^3}{h}) \cdot 0,5h = 3.797m^3$$
- Anzahl Reaktoren:
$$n = 3$$
- Abmessungen:
$$l_{gew} = 14m$$
$$b_{gew} = 14m$$
$$h_{gew} = 6,5m$$
- gewähltes Volumen:
$$V_{Kontakt,gew} = 3 \cdot 1.274m^3 = 3.822m^3$$

Sedimentationsbecken (Längsbecken)

Das Sedimentationsbecken dient der Abscheidung des Aktivkohleschlamm. Dieser wird hier abgezogen und entweder als Aktivkohle-Rücklaufschlamm ins Kontaktbecken oder als Aktivkohle-Überschussschlamm ins Belebungsbecken geführt.

Erfahrungen aus verschiedenen Studien zeigen, dass die Absetzeigenschaft des Aktivkohleschlamm mit denen des Belebtschlamm zu vergleichen ist. Allerdings ist der Schlammvolumenindex (ISV) des Aktivkohleschlamm deutlich leichter zu beeinflussen, da er im Wesentlichen von den eingesetzten Fällmitteln bestimmt wird. I. d. R. kann der ISV also mit kleiner 100 ml/g angenommen werden (Metzger 2010). Die Bemessung des Sedimentationsbeckens kann ansonsten nach dem DWA A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“ erfolgen.

- gewählte Oberflächenbeschickung:
$$q_A = 2 \frac{m}{h}$$
- erforderliche Beckenoberfläche:
$$A_{Sed,erf} = \frac{Q_{ads.Teilst.}}{q_A} = \frac{4467 \frac{m^3}{h}}{2 \frac{m}{h}} = 2.234m^2$$
- Anzahl Becken:
$$n = 3$$
- gewählte Abmessungen:
$$l = 72m$$
$$b = 11m$$
- zuzügliche Störzone:
$$l_{Stör} = 4m$$
- gewählte Beckenoberfläche:
$$A_{Sed,gew} = 3 \cdot 76m \cdot 11m = 2.508m^2$$
- Verweilzeit Sedimentationsbecken:
$$t_{min,gew} = 2,25h$$

- Volumen Sedimentationsbecken: $V_{Sed,erf} = Q_{ads,Teilst.} \cdot t_{min}$

$$= 4.467 \frac{m^3}{h} \cdot 2,25h = 10.051m^3$$

- gewählte Beckentiefe: $h_{gew} = 4,5m$

- gewähltes Volumen: $V_{Sed,gew} = 11.286m^3$

- Kontrolle: $q_{A,gew} = \frac{Q_{ads,Teilst.}}{A_{Sed,gew}} = \frac{4.467 \frac{m^3}{h}}{2.508m^2} = 1,8 \frac{m}{h} < 2 \frac{m}{h} \checkmark$

$$\frac{V_{Sed,gew}}{Q_{ads,Teilst.}} = \frac{11.286m^3}{4.467 \frac{m^3}{h}} = 2,5h > 2h \checkmark$$

Aktivkohlebedarf

- durchschnittliche Dosierrate: $C_{PAK,dos} = 15 \frac{mg}{l}$
- Gesamtjahres-Trockenwetterabfluss: $Q_a = 17.904.600 \frac{m^3}{a}$
- Aktivkohlebedarf: $F_{PAK} = C_{PAK,dos} \cdot Q_a = 15 \frac{g}{m^3} \cdot 17.904.600 \frac{m^3}{a}$

$$= 269 \frac{Mg}{a} = 736 \frac{kg}{d}$$

Filteranlage

- gewählte Filtergeschwindigkeit: $v_F = 8 \frac{m}{h}$
- benötigte Filterfläche, Dauerbetrieb: $A_{Filter,erf} = \frac{Q_m}{v_f} = \frac{7.200 \frac{m^3}{h}}{8 \frac{m}{h}} = 900m^2$
- Anzahl der Filterkammern: $n = 24 + 2$

- gewählte Filterabmessung: $l_{gew} = 12,3m$

$$b_{gew} = 3,1m$$

- gewählt: 2 Straßen mit je 1 Kammer zusätzlich:

$$A_{Filter,gew} = 24 \cdot 12,3m \cdot 3,1m + 2 \cdot 12,3m \cdot 3,1m = 990m^2$$

3 Standortvergleich unter betrieblich-technischen und wirtschaftlichen Aspekten

3.1 Allgemeines

3.1.1 Ursprünglicher Gesamtstandort

Die steigenden Anforderungen an die Reinigungsleistung der Kläranlagen sind nur durch den Bau von neuen Reinigungsstufen zu erfüllen. Diese sind oft platzintensiv und nicht mehr auf den Flächen des derzeitigen Kläranlagenareals unterzubringen. Die Realisierung einer vierten Reinigungsstufe für das Hauptklärwerk Wiesbaden wurde ursprünglich durch die TU Darmstadt im Jahr 2013 auf der Erweiterungsfläche südlich der heutigen Mikrosiebanlage vorgesehen (Abbildung 3.1).



Abbildung 3.1: Ursprünglicher Gesamtstandort für eine vierte Reinigungsstufe

Anschließend wurde die Anordnung der einzelnen Bauwerke durch die ELW angepasst. Zwischenzeitlich hat sich jedoch im Rahmen von weiteren Untersuchungen herausgestellt, dass die Waldfläche östlich des Salzbachs (schraffierte Fläche in Abbildung 3.1), die als Baufeld für den ursprünglichen Gesamtstandort erforderlich ist, auf Grund von Natur- und Artenschutz nicht zur Verfügung steht. Da die verbleibende Fläche für die vierte Reinigungsstufe nicht ausreichend ist, ist ein alternativer Standort zu finden, wofür nachfolgend verschiedene Standortvarianten zuerst innerhalb des Betriebsgeländes und anschließend auch außerhalb dieses untersucht werden.

3.1.2 Standortvarianten

Da die Realisierung auf dem ursprünglichen Standort nicht mehr möglich ist, muss ein alternativer Standort für das HKW Wiesbaden ausgewählt werden, der ausreichend Platz bietet eine PAK-Behandlungsanlage darauf zu errichten. Zu diesem Zweck wurde durch die am Bauleitverfahren beteiligten städtischen Ämter ein Suchkorridor bestimmt, der zwischen dem HKW und dem Vorflutgewässer (Rhein) liegt. Die ausgewählten Standortvarianten sind in Abbildung 3.2 dargestellt.

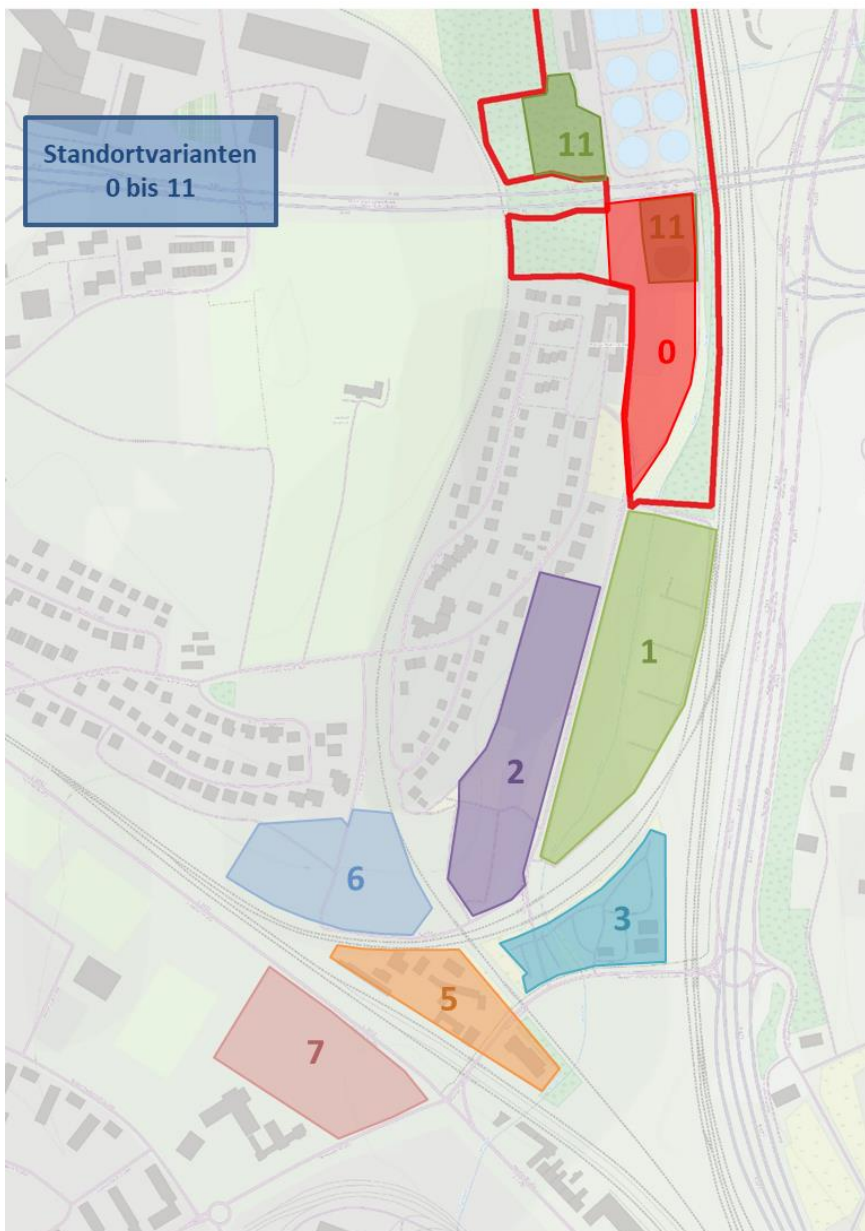


Abbildung 3.2: Übersicht der Standortvarianten

Das untersuchte Gebiet ist von einem von Norden nach Süden verlaufenden Gefälle geprägt, was sich günstig auf den Betrieb auswirkt, da das Abwasser bei den meisten Standortvarianten von der vorhandenen Nachklärung zur vierten Reinigungsstufe im Freigefälle geführt werden kann. Um die Überschussschleife und das Spülwasser der Filter wieder zum Belebungsbecken zurückzuführen, ist allerdings bei den Standorten 0 bis 11 ein zusätzliches Pumpwerk notwendig.

Die Standorte 0 und 11 befinden sich auf dem Gelände des HKW bzw. auf dem laut Bebauungsplan-Entwurf vorgesehenen Erweiterungsgebiet. Die übrigen Standorte befinden sich südlich des Kläranlagengebiets. Sie sind teilweise mit Kleingärten (Standorte 1, 2, 6 und 7) oder Lagerhallen und Industrieeinrichtungen (Standorte 3 und 5) bebaut.

3.1.3 Bewertungskriterien zur Standortauswahl

Für die Genehmigung des Baus, des Betriebs oder einer wesentlichen Änderung (wie der Bau einer vierten Reinigungsstufe) nach § 39 Abs. 1 des Hessischen Wassergesetzes (HWG) wird in Verbindung mit § 60 Abs. 3 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) eine Genehmigung durch die zuständige Wasserbehörde benötigt. Um diese Genehmigung für den hier vorliegenden Fall erhalten zu können, muss eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden, da die betrachtete Kläranlage für „organisch belastetes Abwasser von 9.000 kg/d oder mehr biochemischen Sauerstoffbedarfs in fünf Tagen (roh) oder anorganisch belastetes Abwasser von 4.500 m³ oder mehr Abwasser in zwei Stunden“ (UVPG 2010, 1, 13.1.1) ausgelegt ist.

Im Merkblatt zu „Wasserrechtlichen Zulassungsverfahren für kommunale Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen in Hessen“ werden für die Standortbestimmung folgende Parameter aufgeführt:

- Wasser:
 - Auswirkungen auf das Vorflutgewässer
 - Auswirkungen auf den Grundwasserleiter
- Boden:
 - Bodenabtrag
 - Bodenverdichtung
 - Stoffeintrag
- Luft:
 - Bauphase: Staub und Aerosole
 - Geruchsemissionen

- Klima:
 - Veränderung des Mikroklimas bei Verdunstung
 - stärkere Erwärmung auf befestigten Flächen
- Lärm:
 - während der Bauphase
 - während des Betriebs
- Natur und Landschaft:
 - vorgesehene Ausgleichsmaßnahmen
 - Einfügen des Vorhabens in das Landschaftsbild
- Abfall:
 - Behandlung und Entsorgung (wird in dieser Ausarbeitung nicht betrachtet)

Die Bewertung dieser Kriterien ist nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung, sondern wird in weiteren Gutachten von anderen Akteuren erstellt.

Neben den umweltbezogenen müssen aber auch die betrieblich-technischen und wirtschaftlichen Kriterien bei der Standortauswahl betrachtet werden.

Alle betrachteten Standorte weisen neben den umweltrelevanten Kriterien, standortspezifische Eigenschaften bezüglich der betrieblich-technischen und der wirtschaftlichen Eignung auf. In den nachfolgenden Kapiteln werden diese Eigenschaften ausführlich vorgestellt und die standortspezifischen Vor- und Nachteile herausgearbeitet.

Aus betrieblicher Sicht stehen bei der Bewertung die Erweiterungsfähigkeit und die Erreichbarkeit für das Betriebspersonal im Vordergrund. Eine gute Erreichbarkeit ist elementar, um einen gut kontrollierten, kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten. Außerdem ist zukünftig, vor dem Hintergrund der stetig steigenden Anforderungen an Kläranlagen, mit erweitertem Platzbedarf zu rechnen. Weitere betrachtete Faktoren sind die Gestaltungsmöglichkeit der Verkehrsfläche und der Betrieb eines ggf. erforderlichen zusätzlichen Pumpwerks oder Dükers.

Einige Standorte befinden sich in geringem Abstand zu Bahntrassen oder werden von einer überirdischen Hochspannungsleitung gekreuzt. Die in den folgenden Kapiteln dargestellten Standortvarianten sind bzgl. des Sicherheitsabstands zu den Bahntrassen und der Hochspannungsleitung prinzipiell umsetzbar. Detaillierte Zeichnungen sind der Anlage 3 zu entnehmen.

Im Rahmen dieser Studie wurde Kontakt zum Betreiber der betroffenen Hochspannungsleitung aufgenommen, um die entsprechenden Standorte abzustimmen. Der Betreiber sieht bei der aktuellen Planung keine Bedenken. Sollte eine der Varianten weiterverfolgt werden, muss allerdings

eine detaillierte Abstimmung erfolgen, da einzusetzende Baumaschinen, die den Schutzstreifen der Hochspannungsleitung (25,0 m, gemessen von der Leitungssachse) tangieren, eine separate Höhenfreigabe benötigen.

Bzgl. des Abstandes zur Bahntrasse muss auf der zu bebauenden Grundstücksseite ein Sicherheitsabstand entsprechend der hessischen Landesbauordnung vorgesehen werden. Außerdem sollte das Eisenbahn-Bundesamt so früh wie möglich in die Planung einbezogen werden, um einen reibungslosen Bauablauf zu gewährleisten.

Die standortspezifischen wirtschaftlichen Aspekte beziehen sich auf die verschiedenen zu verlegenden und zu betreibenden Rohrleitungen, die teilweise erforderlichen Brücken- und Dükerbauwerke, den notwendigen Bodenabtrag bzw. die Kosten für zusätzliche Pumpwerke sowie die jeweiligen Betriebskosten. Die zugehörigen hydraulischen Berechnungen können Anlage 1 entnommen werden. Es werden nur die Kosten betrachtet, die zusätzlich zu den in Kapitel 2.2 dargestellten Fixkosten anfallen. So können die Standorte bzgl. ihrer Wirtschaftlichkeit verglichen werden.

Alle Investitionskosten werden als Kapitalkosten aufgegliedert, sodass in Verbindung mit den betrieblichen Kosten die Jahreskosten ermittelt und verglichen werden können. Die dabei verwendeten Abschreibungszeiten sind dabei wie in Kapitel 2.2 festgelegt.

Die Ursprungsvariante wird als Grundvariante betrachtet. Die übrigen Varianten werden an dieser Variante gemessen. Auch die wirtschaftlichen Betrachtungen der anderen Standorte beziehen sich auf die Grundvariante, sodass die standortspezifischen Kosten als Differenzkosten ermittelt werden können. In Kapitel 3.3.7 werden die unterschiedlichen Standorte im Rahmen einer Nutzwertanalyse gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer betrieblich-technischen und wirtschaftlichen Eignung bewertet. Anschließend erfolgt die Bestimmung der Vorzugsvariante.

Im Rahmen der Standortuntersuchung erfolgt zunächst die Darstellung der Standortalternativen auf dem bisher im Bebauungsplan vorgesehenen Erweiterungsfläche. Anschließend werden Standortalternativen außerhalb dieser Fläche einbezogen und betrieblich-technisch sowie wirtschaftlich bewertet.

3.2 Standortalternativen innerhalb des Betriebsgeländes

3.2.1 Ergebnisse der Analysen zu Standort 0

3.2.1.1 Betrieblich-technische Aspekte

Die Standortvariante 0 befindet sich auf der bisher vorgesehenen Gesamt-Erweiterungsfläche des Klärwerks, südlich der Autobahn A66 (vgl. Abbildung 3.3 oder Anlage 3). Mitarbeiter der Kläranlage können entsprechend alle Behandlungsstufen problemlos erreichen, ohne das Klärwerksgelände verlassen zu müssen. Der reibungslose Betrieb der neuen Behandlungsstufe kann somit gewährleistet werden. Es müssen keine zusätzlichen Räume für sanitäre Einrichtungen oder Werkzeuglager geschaffen werden. Durch die räumliche Nähe kann eine regelmäßige Begehung des Anlagenteils sowie das schnelle Eingreifen bei Betriebsproblemen gewährleistet werden. Bei Standort 0 wird die Filtration auf der Fläche der heutigen Mikrosiebanlage vorgesehen. Diese muss zur Realisierung dieser Variante vollständig zurück gebaut werden. Die übrigen Anlagenteile liegen auf überwiegend unbebautem Gebiet. Zum Teil befinden sich auf der vorgesehenen Erweiterungsfläche allerdings Kleingärten.

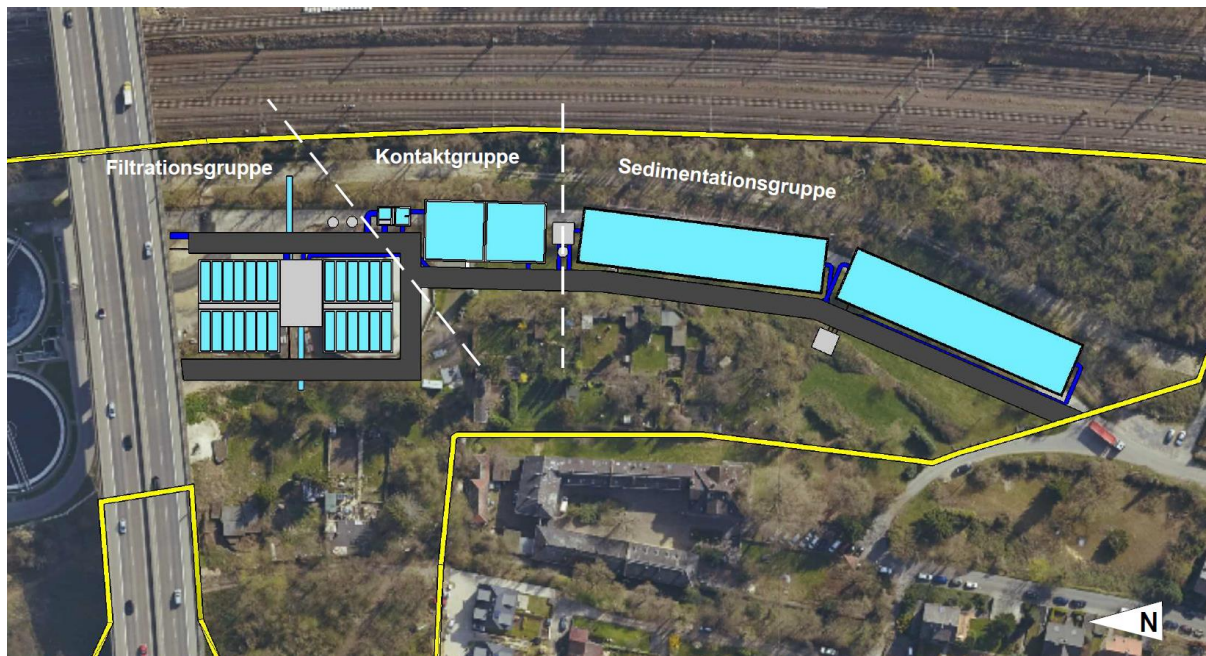


Abbildung 3.3: Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 0

(Quelle: Luftbild ELW)

3.2.1.2 Wirtschaftliche Aspekte

Der größte Kostenfaktor der Standortvariante 0 entsteht durch die Zulaufleitung. Weitere standortspezifische Kosten entstehen durch den Rückbau der Mikrosiebanlage, da auf deren heutiger Fläche die Sandfiltration vorgesehen wird. Die Kosten für den Rückbau werden auf rd. 264.000 € geschätzt.

Zusätzlich fallen bei dieser Variante Kosten für die verbindenden Rohrleitungen zwischen der Filtration und den übrigen Bestandteilen der vierten Reinigungsstufe an. Der Abstand zwischen den Bauwerksgruppen ist deutlich größer als bei den Standortvarianten 1 bis 8 und wird in der Kostenschätzung gesondert erfasst.

Wegen der Nähe zum vorhandenen Klärwerksgelände sind die standortspezifischen Betriebskosten des Standorts 0 gering. Die detaillierte Kostenschätzung kann Anlage 2 entnommen werden.

Tabelle 3.1: Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 0

Kosten	Abschreibung [a]	Zinssatz [%]	KFAKR [-]	Bruttoinvestitionen [€]	Kapitalkosten [€/a]
Rohrleitungen	60	3	0,0361	1.758.100	63.500
Bautechnik	40	3	0,0433	383.300	16.600
Maschinentechnik	20	3	0,0672	-	-
E- und Leittechnik	15	3	0,0838	-	-
					Σ 80.100

$$\text{Jahreskosten} = \text{Betriebskosten} + \text{Kapitalkosten} = 12.600 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 80.100 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 92.700 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Die standortspezifischen Jahreskosten werden auf 92.700 €/a geschätzt und entsprechen 2,8 % der Gesamtbruttoherstellkosten.

3.2.2 Ergebnisse der Analysen zu Standort 11

3.2.2.1 Betrieblich-technische Aspekte

Standortvariante 11 bezieht sich auf eine Fläche, die direkt im Westen an das bestehende Betriebsgelände anschließt. Zusätzlich wird die Fläche der bestehenden Mikrosiebung genutzt, die zur Umsetzung dieser Variante zurückgebaut werden muss. Aus der Nähe zu den bestehenden Anlagenteilen ergeben sich betrieblich-technische Vorteile, wie eine sehr einfache, kurze Anbindung der Rohrleitungen sowie die schnelle Erreichbarkeit für das Kläranlagenpersonal.

Kritisch ist hingegen die topografische Situation zu bewerten. Der Standort befindet sich in einer steilen Hanglage, die im Westen (an der Standortgrenze) eine GOK von 115 m ü. N. N. und im Osten von 97,5 m ü. N. N. aufweist. Um den Standort nutzbar zu machen, muss der Standort durch Bodenabtrag auf eine einheitliche Höhe gebracht werden. Die gewählte Geländeoberkante liegt bei 97,5 m N. N. Aus dem vorliegenden Bodengutachten geht hervor, dass an diesem Standort eine große Mächtigkeit an aufgeschüttetem Material vorherrscht. Laut dem Bericht ist dieser Boden nicht als Baugrund geeignet und muss zusätzlich ausgetauscht werden.

Damit keine Schäden entstehen, werden konstruktive Maßnahmen zur Stabilisierung des Untergrunds errichtet. Denkbar sind bspw. eine Schlitzwand oder eine Bohrpfehlwand. Die Auswirkungen des Bodenabtrags auf die anliegende Infrastruktur sind im Rahmen einer weitergehenden Planung zu prüfen.

Aufgrund der topografischen Situation befindet sich im Zulauf zum Standort ein Zulaufpumpwerk. Dieses hebt den Abwasserstrom auf eine Höhe von 98,5 m. ü. N. N.

Zusätzlich befindet sich im zu bebauenden Teil des Hangs eine 110 kV Stromleitung, die im Zuge der Erdarbeiten umverlegt werden muss.

Für das Jahr 2023 ist der Neubau der Klärschlammmentwässerung und -verladung geplant. Je nach gewählter Anordnung können die Becken der Sedimentationsgruppe dabei ein Hindernis darstellen.



Abbildung 3.4: Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 11

(Quelle: Luftbild ELW)

3.2.2.2 Wirtschaftliche Aspekte

Die Standortvariante 11 liegt direkt am Klärwerksgelände, sodass die Bruttoinvestitionen bzgl. der Rohrleitungen mit rd. 753.000 € gering ausfallen. Allerdings stehen dem die sehr hohen standortspezifischen Kosten für das zusätzliche Pumpwerk und gegenüber. Die Nettoherstellkosten für dieses Pumpwerk werden, wie Kapitel 3.3.5.2 beschrieben aus dem Gutachten der TU Darmstadt übernommen und betragen 2.680.000 €.

Weitere Kosten entstehen durch den Bodenabtrag am Standort. Insgesamt müssen rd. 70.000 m³ Boden abgetragen werden. Zusätzlich erfolgt der Lastabtrag des anstehenden Hangs durch eine Bohrpfahlwand mit einer Gesamtlänge von rd. 230 m.

In dem abzutragenden Teil des Hangs befindet sich eine 110 kV Stromleitung, die im Zuge der Erdarbeiten umverlegt werden muss. Diese Umlegung stellt sowohl technisch als auch wirtschaftlich eine große Herausforderung dar.

Die Kapitalkosten werden von den Investitionskosten für das zusätzliche Pumpwerk, das Umliegen der Stromleitung sowie den Kosten für die Herrichtung des Geländes bestimmt.

Tabelle 3.2: Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 11

Kosten	Abschreibung [a]	Zinssatz [%]	KFAKR [-]	Bruttoinvestitionen [€]	Kapitalkosten [€/a]
Rohrleitungen	60	3	0,0361	1.083.700	56.900
Bautechnik	40	3	0,0433	16.280.500	704.300
Maschinentechnik	20	3	0,0672	1.451.800	97.600
E- und Leittechnik	15	3	0,0838	116.144	9.700
					Σ 868.500

$$\text{Jahreskosten} = \text{Betriebskosten} + \text{Kapitalkosten} = 101.800 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 868.500 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 970.300 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Die Lage des Standorts ist aus Sicht der Erreichbarkeit als gut zu bewerten. Durch den kurzen Anfahrtsweg kann ein weitestgehend reibungsloser Betrieb gewährleistet werden. Dem stehen allerdings sehr hohe Investitionskosten und mögliche Schwierigkeiten bei der Umsetzung der neuen Schlammmentwässerung gegenüber. Die standortspezifischen Jahreskosten entsprechen mit 970.300 €/a ca. 23,4 % der Gesamtjahreskosten. Die Differenzkosten zur Ursprungsvariante betragen rd. 880.000 €/a.

3.2.3 Vergleich der Standorte innerhalb des Betriebsgeländes

Die verschiedenen Standortvarianten bieten spezifische Vor- und Nachteile. Um die unterschiedlichen Faktoren übersichtlich und transparent miteinander zu verknüpfen, wird das Instrument der Nutzwertanalyse angewendet (zur Beschreibung vgl. Kapitel 2.2).

Als Hauptgruppen wurden die „betrieblich-technischen“ und die „wirtschaftlichen Aspekte“ gewählt.

Bei einer positiven Bewertung der **Erweiterungsfähigkeit** ist sichergestellt, dass für zukünftig mögliche, zusätzliche Anforderungen an die Abwasserreinigung ausreichend Fläche für weitere Reinigungsstufen zur Verfügung steht. Außerdem bedeutet die gute Bewertung, dass eine Flexibilität in der Beckenanordnung gegeben ist. Es kann also auf bisher unbekannte Aspekte reagiert werden, sollte bspw. der Baugrund partiell nicht den notwendigen Anforderungen entsprechen. Bei der Standortvariante 11 ist die zur Verfügung stehende Fläche vollständig mit den erforderlichen Bauwerken ausgefüllt. Des Weiteren besteht bereits ein Konflikt durch den Neubau der Klärschlammmentwässerung. Entsprechend wird diese Variante auf Rang 3 gewertet.

Weitere betrieblich-technische Kriterien sind der **Betrieb eines zusätzlichen Hebewerks** und der **Betrieb eines Dükers**. In Abhängigkeit von der topografischen Situation respektive der Lage des Salzbachs innerhalb der jeweiligen Standorte, sind entsprechende Maßnahmen notwendig. Diese haben neben der wirtschaftlichen auch eine betriebliche Komponente, da die technischen Einrichtungen inspiziert und gewartet werden müssen. Da der Betrieb eines Pumpwerks aufwendiger ist, wird dieses Kriterium deutlicher gewichtet.

Um eine einfache Lieferung von Aktivkohle sowie Fäll- und Flockungshilfsmitteln zu gewährleisten, muss die **Gestaltungsmöglichkeit der Verkehrsflächen** auf den jeweiligen Standorten analysiert werden. Eine gute Bewertung bedeutet, dass auch bei etwaigen Störfällen ein ordnungsgemäßer Betrieb gewährleistet werden kann. Gut schneiden die Ursprungsvariante und die Variante 0 ab.

Ein ungehinderter und möglichst einfacher Bauablauf (**Schwierigkeit der Bebauung**) ist für die Realisierung der vierten Reinigungsstufe anzustreben. Da das Hauptklärwerk in der Bauphase ungestört weiter betrieben werden muss, ist ein unabhängiger Standort bzgl. des Bauablaufs vorteilhaft. Einschränkungen bzgl. der Zugänglichkeit, z.B. bei Hanglage (Standort 11), oder bzgl. von Kranaufstellungen, z.B. bei Hochspannungsleitungen sind dagegen als negativ einzustufen.

Unter dem Kriterium **Ableitung** wird die Möglichkeit der Ableitung des gereinigten Abwassers in den Salzbach bewertet. Bei einigen Standorten verläuft der Bach direkt über oder an der Grenze zum Standort, wie bei der Ursprungsvariante, Standortvariante 0 und Standortvariante 11. Dort wo das nicht der Fall ist, muss eine zusätzliche Leitung verlegt werden. Ggf. müssen dazu fremde Grundstücke gekreuzt werden. Im Fall von Wartungs- und Reparaturmaßnahmen kann es dadurch trotz entsprechender Verträge zu Komplikationen kommen.

Für den Vergleich der Standortalternativen innerhalb des Betriebsgeländes des HKW erfolgt zusätzlich die Bewertung des Einflusses auf bestehende Verfahrenstechnik. Für die Standortvarianten 0 und 11 muss die bestehende Mikrosiebanlage vollständig zurück gebaut werden. Eine Wiederinbetriebnahme dieser Verfahrensstufe ist entsprechend nicht möglich.

Neben den betrieblich-technischen Aspekten wurden in den vorherigen Kapiteln die standortspezifischen Kosten betrachtet. Ziel dieser Ausarbeitung ist, die verschiedenen Standortvarianten zu vergleichen. Zu diesem Zweck wurden die spezifischen Jahreskostendifferenzen der einzelnen Standortvarianten gegenüber der Ursprungsvariante ermittelt. Die Ergebnisse dieser Ermittlung sind in Abbildung 3.5 dargestellt. Die Kosten für den Grunderwerb und für die möglicherweise notwendige Umsiedlung der bisherigen Nutzer können zu dem jetzigen Zeitpunkt nicht bestimmt werden und fließen entsprechend nicht mit in die Bewertung ein.

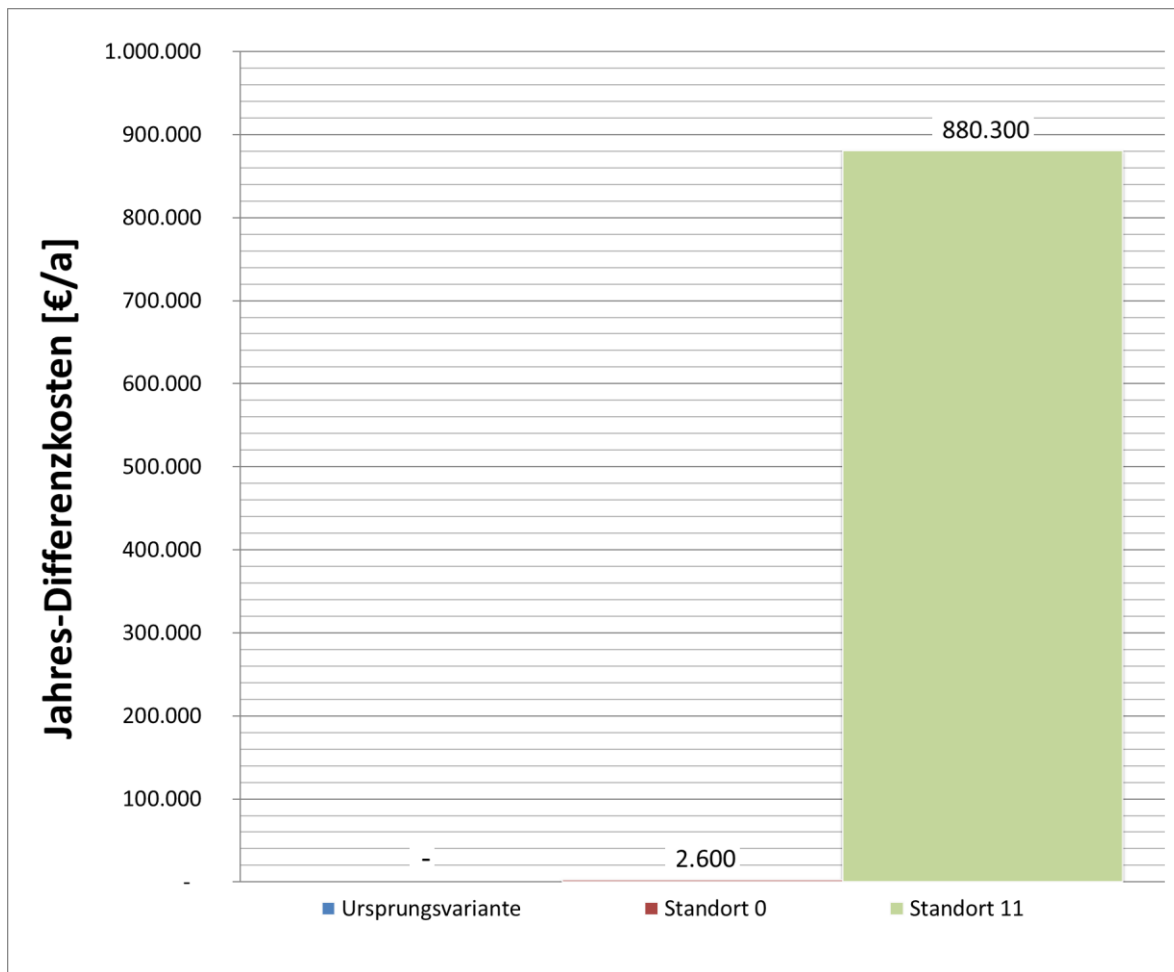


Abbildung 3.5: Differenzkosten der Standorte innerhalb des Betriebsgeländes

Tabelle 3.3: Nutzwertanalyse der Standortvarianten innerhalb des Betriebsgeländes

Kriterium	Wichtung	Ursprungs- variante 2013		Standort 0		Standort 11	
		RF	TN	RF	TN	RF	TN
A) Technisch-betriebliche Kriterien							
1 Erweiterungsfähigkeit	25%	1	0,25	1	0,25	3	0,75
2 Betrieb eines zusätzlichen Hebewerks	15%	1	0,15	1	0,15	3	0,45
3 Betrieb eines Dükers	15%	3	0,45	1	0,15	1	0,15
4 Gestaltungsmöglichkeit der Verkehrsfläche	10%	3	0,30	1	0,10	2	0,20
5 Schwierigkeit der Bebauung	10%	1	0,10	2	0,20	3	0,30
6 Ableitung	10%	1	0,10	1	0,10	1	0,10
7 Einfluss auf bestehende Verfahrenstechnik	15%	1	0,15	2	0,30	2	0,30
Summe TN (Wichtung x RF)	100%		1,50		1,25		2,25
	Rang:		2		1		3
B) Wirtschaftliche Kriterien							
1 Jahreskosten	100%	1	1,00	1	1,00	3	3,00
Summe TN (Wichtung x RF)	100%		1,00		1,00		3,00
	Rang:		1		1		3
Gesamtbewertung							
A) Technisch-betriebliche Kriterien	50%	1,50	0,75	1,25	0,63	2,25	1,13
B) Wirtschaftliche Kriterien	50%	1,00	0,50	1,00	0,50	3,00	1,50
Summe Punkte	100%		1,25		1,13		2,63
Zielerfüllung	%		90%		100%		43%
	Rang:		2		1		3

Aus der Nutzwertanalyse geht hervor, dass die Standortvariante 0 aus betrieblich-wirtschaftlicher Sicht sehr gut und sogar besser als die Ursprungsvariante bewertet wird. Sie stellt somit eine sehr gute Alternative zur aus naturschutzgründen nicht umsetzbaren Ursprungsvariante dar. Standortvariante 11 ist sowohl aus technisch-betrieblicher Sicht als auch aus wirtschaftlicher Sicht abgeschlagen und wird aus diesem Grund nicht weiter betrachtet. Im Weiteren wird die Variante 0 als Vorzugsvariante für einen Standort innerhalb des Betriebsgeländes des HKW geführt.

3.3 Standortalternativen außerhalb des Betriebsgeländes

3.3.1 Ergebnisse der Analysen zu Standort 1

3.3.1.1 Betrieblich-technische Aspekte

Der Standort 1 schließt im Süden an die Grundvariante an und ist entsprechend gut für das Betriebspersonal zu erreichen. Parallel zu den Schienen, die den Standort im Osten begrenzen, verläuft der Salzbach in der Mitte des Standorts von Norden nach Süden und teilt so die verfügbare Fläche (vgl. Abbildung 3.6 oder Anlage 3). Die Anwesenheit des Gewässers bringt Vor- und Nachteile mit sich: Positiv ist die Nähe zum Vorflutgewässer hinsichtlich der Ableitung des gereinigten Abwassers zu beurteilen. Es müssen bei der Installation des Abschlages in den Salzbach keine fremden Grundstücke gekreuzt werden, sodass auch zukünftig im Rahmen von Kontroll- oder Sanierungsmaßnahmen keine Komplikationen zu erwarten sind. Auch die Ableitung des gereinigten Abwassers über die Sammelleitung entlang der angrenzenden Straße ist problemlos möglich. Allerdings gestaltet sich die Raumaufteilung durch die Lage des Bachs kompliziert. Da das Gewässer aus ökologischen und betrieblichen Gesichtspunkten so selten wie möglich gekreuzt werden sollte, werden die Becken ausschließlich auf der Ostseite entlang des Salzbachs angeordnet. Dadurch werden innerhalb der Anordnungsvariante verhältnismäßig lange Rohrleitungen notwendig. Trotzdem ist eine einfache Verkehrsführung möglich, über die jeder Betriebspunkt problemlos erreicht werden kann. Wegen der Anordnung im Osten des Standorts, muss der Salzbach gequert werden, um das Gelände erreichen zu können. Dazu sind ein Brücken- und ein Dükerbauwerk notwendig.

Insgesamt ist der Standort relativ groß und bietet somit räumliche Flexibilität.



Abbildung 3.6: Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 1

(Quelle: Luftbild ELW)

Die Größe des Standorts bietet weiterhin den Vorteil, dass zusätzliche bebaubare Fläche zur Verfügung steht. Diese kann benötigt werden, wenn im Rahmen von steigenden Anforderungen an die Reinigungsleistung oder einer Belastungssteigerung der Kläranlage neue Anlagenteile errichtet werden müssen.

3.3.1.2 Wirtschaftliche Aspekte

Da der Standort 1 in unmittelbarer Nähe zum bestehenden Betriebsgelände liegt, sind die Kosten für den Rohrleitungsbau, aber auch für die Anfahrt des Betriebspersonals zum Standort, verhältnismäßig gering.

Für die Zulaufleitung sowie die Ablaufleitung in den Rhein muss zusätzlich ein Düker installiert werden, um den Salzbach zu kreuzen. Die Druckleitungen zur Überschussschle- und der Spülwasserrückführung können entlang der zu errichtenden Brücke geführt werden, sodass für die Querung des Salzbachs keine zusätzlichen Kosten entstehen.

Zurzeit wird die Fläche des Standorts als Kleingartengebiet genutzt. Sollte dieser Standort ausgewählt werden, müssen die entsprechenden Grundstücke erworben und die bisherigen Nutzer entschädigt werden. Zwar sind die Grunderwerbskosten für diesen Standort gering, die Entschädigungskosten können diese allerdings weit übersteigen. Eine Abschätzung kann zu diesem

Planungszeitpunkt nicht vorgenommen werden und ist nicht Gegenstand der Beauftragung dieser Ausarbeitung.

Tabelle 3.4: Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 1

Kosten	Abschreibung [a]	Zinssatz [%]	KFAKR [-]	Bruttoinvestitionen [€]	Kapitalkosten [€/a]
Rohrleitungen	60	3	0,0361	2.397.100	86.600
Bautechnik	40	3	0,0433	363.000	15.700
Maschinentechnik	20	3	0,0672	-	-
E- und Leittechnik	15	3	0,0838	-	-
					Σ 102.300

$$\text{Jahreskosten} = \text{Betriebskosten} + \text{Kapitalkosten} = 33.200 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 102.300 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 135.500 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Bei der Betrachtung der Jahreskosten wird deutlich, dass die Standortvariante 1 aus wirtschaftlicher Sicht eine sehr gute Alternative zur Grundvariante darstellt. Die ermittelten standortspezifischen Jahreskosten von 135.500 €/a entsprechen 4,1 % der Gesamtjahreskosten für die Aktivkohlebehandlung (vgl. Kapitel 2.2) und sind somit als günstig zu bewerten. Die Kostendifferenz zur Grundvariante beträgt rd. 43.000 €/a.

3.3.2 Ergebnisse der Analysen zu Standort 2

3.3.2.1 Betrieblich-technische Aspekte

Westlich der Standortvariante 1 und in unmittelbarer Nähe des vorhandenen Klärwerksgeländes befindet sich Standort 2. Durch die günstige Lage kann das Gebiet wie Standort 1 schnell erreicht werden.

Der Standort 2 befindet sich in einer Hanglage. Im Westen des Standorts liegt die GOK bei 102 m ü. N. N., an der Ostseite bei 92 m ü. N. N. Die mittlere GOK wird mit 97 m ü. N. N. angenommen. Damit im Zulauf zur vierten Reinigungsstufe kein zusätzliches Pumpwerk erforderlich wird, muss die bebaute Fläche im Schnitt um 2,7 m abgesenkt werden (vgl. Anlage 1). So kann gewährleistet werden, dass der Wasserspiegel im ersten Becken eine ausreichende Höhe hat, um die verschiedenen Becken im Freigefälle zu durchfließen. Durch diese Maßnahme wird das Landschaftsbild allerdings beeinträchtigt. Außerdem können durch die nahe liegende Bebauung für den Bau zusätzliche Auflagen erforderlich werden.

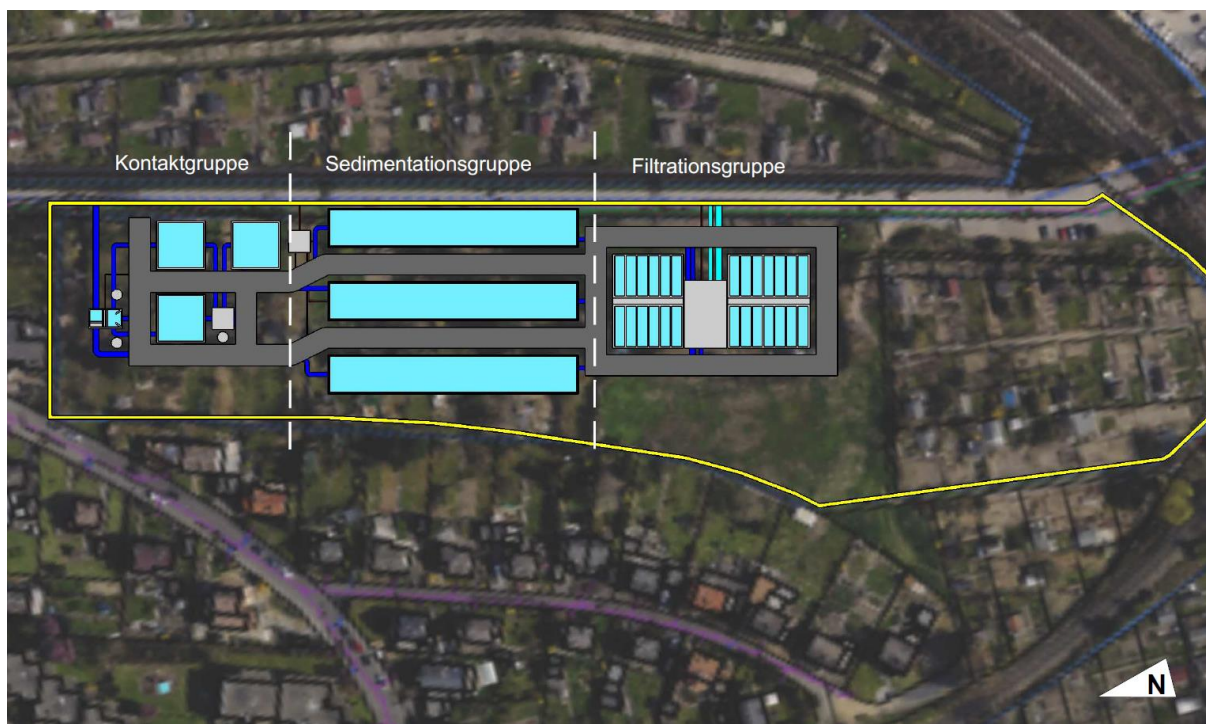


Abbildung 3.7: Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 2

(Quelle: Luftbild ELW)

Der Salzbach, der als einer von zwei Vorflutern fungiert, durchfließt den Standort 2 nicht, trotzdem kann der Anschluss des Ablaufs der Filtration an den Bach ohne großen Aufwand gewährleistet werden. Die Leitung kann entweder wie in Abbildung 3.7 dargestellt oder entlang der östlichen Grundstücksgrenze geführt werden, wo der Salzbach auf der anderen Straßenseite verläuft.

Insgesamt bietet der Standort eine ausreichend große Fläche. Es ist möglich, bei entsprechendem Bedarf sämtliche Becken weiter im Süden des Standorts zu platzieren. Des Weiteren ist eine gute und unkomplizierte Verkehrsführung möglich. Es können alle Anlagenbestandteile mit Schwerlasttransportern erreicht werden.

3.3.2.2 Wirtschaftliche Aspekte

Da der Standort, wie oben beschrieben, verhältnismäßig hoch liegt, kann das Abwasser dem Standort nicht ohne weitere Maßnahmen zufließen. Mögliche Maßnahmen sind einerseits die Installation eines zusätzlichen Pumpwerks, andererseits ein Bodenabtrag bis auf ein ausreichend niedriges Niveau. Die hydraulische Berechnung hat gezeigt, dass diese Absenkung ca. 2,7 m betragen muss (vgl. Anlage 1). Unter Einbeziehung der durch die Anordnung in Anspruch genommenen Fläche (vgl. Abbildung 3.7 oder Anhang 3) ergibt sich ein abzutragendes und zu entsorgendes Bodenvolumen von rd. 30.000 m³. Allein die Investitionskosten der Bautechnik für

ein zusätzliches Pumpwerk würden die für den Abtrag anfallenden Kosten übersteigen und werden aus diesem Grund hier nicht weiter analysiert.

Zurzeit befindet sich die Fläche in Privatbesitz. Die entsprechenden Grundstücke müssen erworben werden und die bisherigen Nutzer entschädigt werden.

Auch der Standort 2 ist fußläufig vom Klärwerksgelände zu erreichen. Der daraus resultierende Kostenaufwand ist entsprechend gering.

Tabelle 3.5: Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 2

Kosten	Abschreibung [a]	Zinssatz [%]	KFAKR [-]	Bruttoinvestitionen [€]	Kapitalkosten [€/a]
Rohrleitungen	60	3	0,0361	1.942.400	70.200
Bautechnik	40	3	0,0433	1.524.400	65.900
Maschinentechnik	20	3	0,0672	-	-
E- und Leittechnik	15	3	0,0838	-	-
					Σ 136.100

$$\text{Jahreskosten} = \text{Betriebskosten} + \text{Kapitalkosten} = 29.500 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 136.100 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 165.600 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Die standortspezifischen Jahreskosten des Standorts 2 betragen rd. 166.000 €/a. Die insgesamt guten Bedingungen des Standorts werden durch den notwendigen Bodenabtrag gemindert. Trotzdem machen die standortspezifischen Jahreskosten nur einen Anteil von 5,0 % der gesamten anfallenden Jahreskosten aus. Die Differenzkosten zur Grundvariante betragen 72.900 €/a. Insgesamt stellt der Standort aus betrieblicher Sicht eine gute und aus wirtschaftlicher Sicht eine vertretbare Variante dar.

3.3.3 Ergebnisse der Analysen zu Standort 3

3.3.3.1 Betrieblich-technische Aspekte

Südlich des Standorts 1, im Osten und Norden durch das Schienennetz sowie im Süden durch die Hauptstraße „Mainzer Straße“ begrenzt befindet sich der Standort 3 (vgl. Abbildung 3.8 oder Anlage 3). Der Standort bietet sich als Gewerbe- bzw. Industriestandort an, da er ausschließlich von Infrastruktureinrichtungen umgeben ist.

Der Anschluss an den Salzbach ist ohne großen Aufwand möglich. Das Vorflutgewässer fließt im Westen durch den Standort, sodass das gereinigte Abwasser, das nicht in den Rhein geleitet wird, in den Salzbach abgeschlagen werden kann. Um alle Betriebspunkte für den Schwerlastverkehr erreichbar zu machen, muss ein zusätzlicher Zugang zum Gelände von der „Mainzer Straße“ errichtet werden. Außerdem müssen das zu- und abfließende Abwasser sowie der zurückzufördernde Aktivkohleschlamm und das Rückspülwasser den Salzbach queren. Zu diesem Zweck muss ein Dükerbauwerk errichtet werden. Dadurch entsteht zusätzlicher betrieblicher Aufwand, da der Düker regelmäßig von abgesetztem Schlamm befreit werden muss.

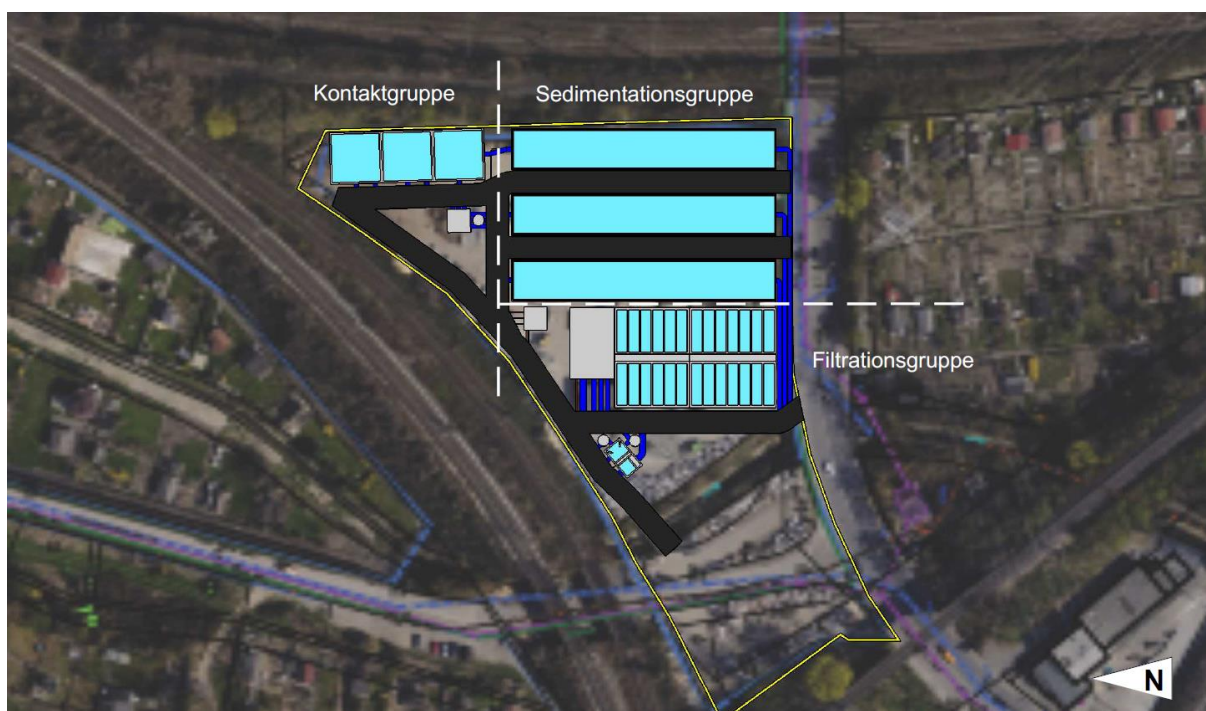


Abbildung 3.8: Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 3

(Quelle: Luftbild ELW)

Der betriebliche Aufwand ist ohnehin größer als bei den Standortvarianten 0, 1 und 2, da die Anfahrt vom konventionellen Teil der Kläranlage mit Dienstfahrzeugen erfolgen muss.

Des Weiteren gestaltet sich die Anordnung der Becken schwierig. Der zur Verfügung stehende Raum ist durch die Infrastruktureinrichtungen begrenzt. Das führt einerseits zu einem sehr dichten und komplizierten Leitungsnetz und lässt andererseits nur eine wenig zufriedenstellende Verkehrswegeführung zu. Außerdem steht kein Platz zur Verfügung, der für zukünftige Erweiterungen genutzt werden kann. In diesem Fall müsste ein weiteres Gebiet genutzt werden. Schon die Aufteilung der Kläranlage auf zwei, mehrere hundert Meter getrennte Standorte, wie sie diese Standortvariante darstellt, ist aus betrieblicher Sicht als ungünstig zu bewerten.

3.3.3.2 Wirtschaftliche Aspekte

Die Investitionskosten für Standortvariante 3 werden im Wesentlichen durch die Zulaufleitung bestimmt. Diese Rohrleitung muss, wie auch die Ab- und Rücklaufleitungen, den Salzbach queren. Die größeren Leitungen (für den Zu- und Ablauf) müssen durch ein Dükerbauwerk geführt werden.

Die Zufahrt für das Betriebspersonal zum Standort 3 soll aus betrieblichen Gründen von der Straße „An der Hammermühle“ erfolgen. Dazu kann das vorhandene Brückenbauwerk über den Salzbach genutzt werden. Entlang dieser Querung können außerdem die Rohrleitungen für das Rückspülwasser und die Rücklaufkohle verlegt werden.

Durch die günstige topografische Lage des Standorts, müssen keine gebietspezifischen Kosten für den Betrieb eines zusätzlichen Pumpwerks oder das Abtragen von Erdschichten berücksichtigt werden. Es kann sogar davon ausgegangen werden, dass die Herstellung eines geeigneten Baugrunds günstiger wird, da die Fläche bereits bebaut ist. Allerdings müssen auch die Kosten für den Rückbau der vorhandenen Gebäude und die höheren Grunderwerbskosten sowie Entschädigungszahlungen berücksichtigt werden.

Tabelle 3.6: Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 3

Kosten	Abschreibung [a]	Zinssatz [%]	KFAKR [-]	Bruttoinvestitionen [€]	Kapitalkosten [€/a]
Rohrleitungen	60	3	0,0361	3.990.700	144.200
Bautechnik	40	3	0,0433	246.800	10.700
Maschinentechnik	20	3	0,0672	-	-
E- und Leittechnik	15	3	0,0838	-	-
					Σ 154.900

$$\text{Jahreskosten} = \text{Betriebskosten} + \text{Kapitalkosten} = 35.300 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 154.900 = 190.200 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Die standortspezifischen Jahreskosten betragen rd. 190.000 €. Das entspricht 5,7 % der Gesamtjahreskosten. Die Differenzkosten zur Grundvariante betragen rd. 97.000 €/a.

Bei der Betrachtung dieses Standorts überwiegen, wegen der räumlichen Einschränkung und den damit verbundenen betrieblichen Problemen sowie den verhältnismäßig hohen Jahreskosten, die Nachteile.

3.3.4 Ergebnisse der Analysen zu Standort 5

3.3.4.1 Betrieblich-technische Aspekte

Standort 5 stellt die Variante mit der geringsten nutzbaren Fläche dar. Neben der Begrenzung durch Bahnschienen wird die verfügbare Fläche zusätzlich durch eine Hochspannungsleitung reduziert, die den Standort im Südosten überspannt. Die Standortvariante wurde mit dem zuständigen Betreiber KMW-AG abgestimmt und kann so umgesetzt werden. Es wird allerdings darauf verwiesen, dass Baumaschinen, die den Schutzstreifen von 25,0 m tangieren, eine separate Höhenfreigabe benötigen. Entsprechend kann ein erhöhter Bauaufwand erwartet werden.

Durch die beengten Verhältnisse gestaltet sich die Beckenanordnung kompliziert. Es ist auf diesem Standort nicht möglich, wie bei den übrigen Standortvarianten sowohl drei Kontaktbecken als auch drei Sedimentationsbecken anzuordnen. In Abbildung 3.9 ist entsprechend eine Variante mit zwei Sedimentationsbecken und zwei Kontaktbecken dargestellt. Aus betrieblicher Sicht ist diese Variante allerdings kritisch zu sehen, da die Sedimentationsbecken eine Breite von rd. 16 m aufweisen. Eine so große Breite kann zu Betriebsproblemen führen. Für horizontal durchströmte Sedimentationsbecken wird ein Verhältnis von Breite zu Länge zwischen 1:5 und 1:10 empfohlen. Dieses Verhältnis wird bei dieser Variante nicht eingehalten. Außerdem ist bei dieser Beckenanordnung eine geringere Redundanz gegeben. Muss ein Becken wegen Wartungs- oder Reparaturarbeiten außer Betrieb genommen werden, stehen nur noch 50 % des Gesamtbecken Volumens zur Verfügung.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anordnung von drei Sedimentationsbecken und zwei Kontaktbecken. Allerdings muss dann der Abwasserstrom zweimal durch ein Verteilerbauwerk aufgeteilt werden. Damit sind i. d. R. betriebliche Komplikationen verbunden, die zu einer ungleichen Beschickung der jeweiligen Becken führen.

Wegen der begrenzten Fläche steht des Weiteren kein Raum zur Variation der Beckenanordnung oder der Verkehrsführung zur Verfügung. Beim Auftreten von unvorhergesehenen Komplikationen, kann auf diesem Standort nicht flexibel reagiert werden. Zusätzliche bietet diese Standortvariante keine Fläche für zukünftige Erweiterungen.

Auch die Anfahrt zum Gebiet gestaltet sich aufwendiger als bei den zuvor dargestellten Varianten: Der einzige Zufahrtsweg ist die „Mainzer Straße“, eine viel befahrene Hauptverkehrsachse. Aufgrund der Entfernung von rd. 1 km zum konventionellen Anlagenteil, müssen zur Anfahrt Dienstfahrzeuge genutzt werden. Durch Verkehrsbehinderungen kann es entsprechend zu Verzögerungen kommen.

Des Weiteren muss für das Verlegen der Zu- und Rücklaufleitungen sowie der Abschlagsleitung zum Salzbach die „Mainzer Straße“ vorübergehend gesperrt werden.

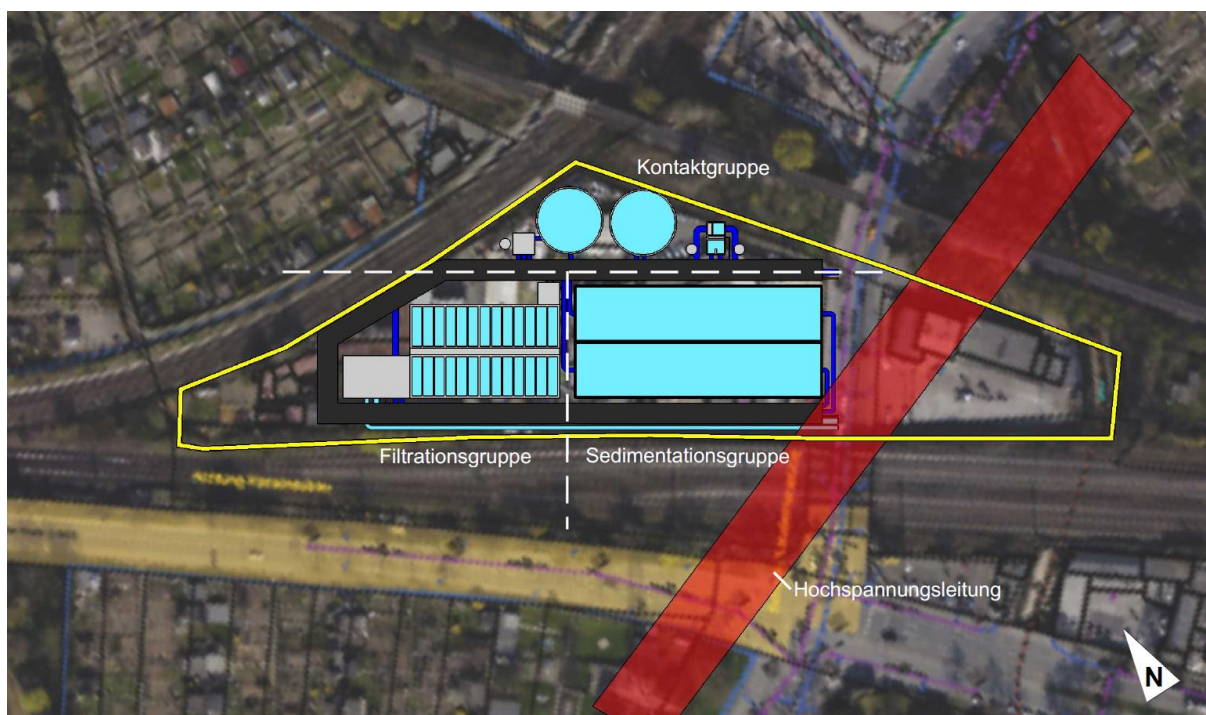


Abbildung 3.9: Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 5

(Quelle: Luftbild ELW)

3.3.4.2 Wirtschaftliche Aspekte

Die standortspezifischen Investitionskosten des Standorts 5 bestehen überwiegend aus den Kosten für die Anschaffung und das Verlegen der Rohrleitungen. Durch die große Entfernung zum vorhandenen Kläranlagengebiet belaufen sich die standortspezifischen Bruttoinvestitionen für den Rohrleitungsbau auf rd. 4.393.000 €.

Bzgl. des Baugrunds kann wie bei Standortvariante 3 von günstigen Verhältnissen ausgegangen werden. Die Kosten für den Rückbau der vorhandenen Bebauung sind in Anlage 2 aufgeführt. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass aufgrund von Gewerbeumsiedlung auch hier mit hohen Entschädigungskosten zu rechnen ist.

Tabelle 3.7: Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 5

Kosten	Abschreibung [a]	Zinssatz [%]	KFAKR [-]	Bruttoinvestitionen [€]	Kapitalkosten [€/a]
Rohrleitungen	60	3	0,0361	4.392.600	158.700
Bautechnik	40	3	0,0433	754.900	32.700
Maschinentechnik	20	3	0,0672	-	-
E- und Leittechnik	15	3	0,0838	-	-
					Σ 191.400

$$Jahreskosten = Betriebskosten + Kapitalkosten = 38.100 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 191.400 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 229.500 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Die standortspezifischen Jahreskosten entsprechen mit 229.500 €/a 6,7 % der Gesamtjahreskosten. Die Differenzkosten zur Grundvariante betragen rd. 137.000 €/a.

Die betrieblich-technische Seite ist allerdings als unzureichend zu bewerten. Der Standort ist zu klein, um einen reibungslosen Betrieb gewährleisten zu können. Insgesamt überwiegen bei diesem Standort die negativen Aspekte.

3.3.5 Ergebnisse der Analysen zu Standort 6

3.3.5.1 Betrieblich-technische Aspekte

Der Standort 6 befindet sich südöstlich von Standort 2 (vgl. Abbildung 3.10 oder Anlage 3). Die Fläche ist großzügig bemessen, sodass die vorgesehene Behandlungsstufe problemlos auf dem Standort platziert werden kann. Entsprechend kann auch eine günstige Verkehrsführung auf dem Standort gewährleistet werden.

Kritisch gestaltet sich die topografische Situation. Der Standort 6 liegt deutlich höher als die vorgenannten Standorte und wird von einem von Norden nach Süden verlaufenden Gefälle geprägt. Es ist nicht möglich das Abwasser ohne zusätzliche Maßnahmen aus dem Ablauf der Nachklärung zur vierten Reinigungsstufe zu führen. Die mittlere Höhe des Standorts liegt bei rd. 98,5 m ü. N. N. und damit deutlich höher, als der Ablauf der Nachklärung (95,7 m ü. N. N.). Wegen der großen Höhendifferenz ist ein Bodenabtrag auf die notwendige Höhe von maximal 94,0 m ü. N. N. (vgl. Anlage 1) nicht sinnvoll. Neben den hohen Investitionskosten würde das Landschaftsbild deutlich negativ beeinflusst werden. Durch den großen Bodenabtrag würde eine Art Graben zwischen der hoch liegenden, nördlichen Standortgrenze und den ebenfalls hoch liegenden Eisenbahnschienen im Süden des Standorts entstehen. Entsprechend ist der Einsatz

eines zusätzlichen Pumpwerks mit den damit verbundenen zusätzlichen betrieblichen Aufwendungen dem Bodenabtrag vorzuziehen.



Abbildung 3.10: Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 6

(Quelle: Luftbild ELW)

Zusätzlicher betrieblicher Aufwand entsteht durch den Abstand des Standorts zum Salzbach (rd. 120 m), wofür eine zusätzliche Rohrleitung erforderlich ist.

Die Anfahrt zum Standort ist zwar mit 930 m relativ lang und muss mit Betriebsfahrzeugen erfolgen, allerdings müssen keine Hauptstraßen passiert werden.

3.3.5.2 Wirtschaftliche Aspekte

Die standortspezifischen Investitionskosten für Standort 6 werden durch das zusätzliche Pumpwerk geprägt. Die dafür anfallenden Kosten und die entsprechende Zuordnung wurden aus dem Gutachten der TU Darmstadt übernommen, damit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben ist. Für die Bereiche Bautechnik, Maschinentechnik sowie E- und Leittechnik fallen insgesamt rd. 2.680.000 € Nettoherstellkosten an. Zusätzlich entstehen auf Grund der Entfernung zum vorhandenen Klärwerksgelände hohe Kosten für den Bau von Rohrleitungen.

Auch auf diesem Standort befindet sich eine Kleingartennutzung, sodass mit hohen Umsiedlungs- und Entschädigungskosten gerechnet werden muss.

Weiterhin wirkt sich der Abstand zum bestehenden Ablaufkanal negativ aus, der auch in Zukunft weiter verwendet werden soll. Da sich der Standort im Gegensatz zu den vorgenannten Varianten nicht in unmittelbarer Nähe zu dieser Leitung befindet, entstehen zusätzliche gebietsspezifische Kosten.

Auch bzgl. der Betriebskosten macht sich in erster Linie das zusätzliche Pumpwerk bemerkbar. Wegen der großen Menge geförderten Abwassers ergeben sich Jahreskosten von 89.000 €/a. Die Kosten für die Förderung des Aktivkohlerücklaufschlammes sowie des Rückspülwassers werden durch die großen Förderhöhen geprägt (vgl. Anlage 2).

Tabelle 3.8: Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 6

Kosten	Abschreibung [a]	Zinssatz [%]	KFAKR [-]	Brutto- investitionen [€]	Kapitalkosten [€/a]
Rohrleitungen	60	3	0,0361	4.207.300	152.000
Bautechnik	40	3	0,0433	2.322.900	100.500
Maschinentechnik	20	3	0,0672	1.451.800	97.600
E- und Leittechnik	15	3	0,0838	116.144	9.700
					Σ 359.800

$$\text{Jahreskosten} = \text{Betriebskosten} + \text{Kapitalkosten} = 114.200 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 359.800 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 474.000 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Es kann festgehalten werden, dass beim Standort 6 die negativen Aspekte überwiegen. Zwar steht ausreichend Fläche zur Verfügung, wodurch eine flexible und gute Beckenanordnung inkl. der zugehörigen Verkehrsflächen gewährleistet werden kann, doch stehen dem hohe Kosten zum Ausgleich der topografischen Schwierigkeiten gegenüber.

Die Jahreskosten von rd. 474.000 €/a entsprechen 13,0 % der Gesamtjahreskosten. Die Differenzkosten zur Grundvariante betragen rd. 381.000 €.

3.3.6 Ergebnisse der Analysen zu Standort 7

3.3.6.1 Betrieblich-technische Aspekte

Standort 7 befindet sich südlich des Standorts 5, getrennt durch Eisenbahnschienen, an der Kreuzung „Kasteler Straße“ / „Breslauer Straße“. Dementsprechend sind auch bei diesem Standort keine Beschwerden infolge von Lärmemission zu erwarten.

Zurzeit wird die ebene Fläche als Kleingartengebiet genutzt, eine Veränderung des Landschaftsbilds durch den Bau einer neuen Reinigungsstufe ist entsprechend unvermeidlich. Eine kleine Fläche im südöstlichen Bereich des Standorts ist nicht bebaubar, da diese unter einer Hochspannungsleitung liegt. Allerdings bietet der Standort dennoch ausreichend Fläche, um die geplante Behandlungsstufe umzusetzen. Sowohl eine geeignete Beckenanordnung als auch eine sinnvolle Verkehrsführung sind auf dem Standort möglich.



Abbildung 3.11: Darstellung einer möglichen Beckenanordnung auf Standort 7

(Quelle: Luftbild ELW)

Ungünstig gestaltet sich bei dieser Variante die Anbindung an den konventionellen Teil des Klärwerks: Sowohl die verkehrstechnische Anbindung als auch die Anbindung durch Rohrleitungen sind nur über die Verbindung durch die „Breslauer“ und folgend die „Mainzer Straße“ möglich. Da diese Straßen viel befahren sind, kann es zur Staubbildung kommen, wodurch die

Flexibilität des Betriebspersonals eingeschränkt wird. Des Weiteren müssen diese Straßen während des Rohrleitungsbaus für einen entsprechenden Zeitraum gesperrt werden.

3.3.6.2 Wirtschaftliche Aspekte

Die Entfernung der Standortvariante 7 zum konventionellen Klärwerksteil beträgt rund 1.150 m. Bei keiner anderen Variante ist die Entfernung größer. Entsprechend ergeben sich hohe Investitionskosten für den Rohrleitungsbau. Insgesamt werden die Bruttoinvestitionen für den Rohrleitungsbau auf rd. 4.713.000 € abgeschätzt.

Wegen der günstigen topografischen Verhältnisse ist trotz der großen Entfernung zum Klärwerk kein zusätzliches Pumpwerk erforderlich. Bei der Rückführung des Spülwassers und des Aktivkohleüberschussschlammes wirkt sich dieses aber gegenteilig aus. Da der Standort tief liegt, muss bei der Rückförderung eine größere Förderhöhe überwunden werden (vgl. Anlage 1).

Wie bei den Standorten 1, 2 und 6 ist die Fläche des Standorts 7 mit Kleingärten bebaut. Entsprechend sind auch hier die zu zahlenden Entschädigungskosten für den Erwerb der benötigten Fläche nicht kalkulierbar.

Tabelle 3.9: Schätzung der standortspezifischen Kapitalkosten für Standort 7

Kosten	Abschreibung [a]	Zinssatz [%]	KFAKR [-]	Brutto- investitionen [€]	Kapitalkosten [€/a]
Rohrleitungen	60	3	0,0361	4.713.100	170.300
Bautechnik	40	3	0,0433	-	-
Maschinentechnik	20	3	0,0672	-	-
E- und Leittechnik	15	3	0,0838	-	-
					Σ 170.300

$$Jahreskosten = Betriebskosten + Kapitalkosten = 47.600 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 170.300 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 217.900 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Standortvariante 7 stellt aus betrieblicher Sicht eine mögliche Alternative zur Grundvariante dar. Durch die räumliche Teilung des vorhandenen Klärwerksgeländes und der geplanten vierten Reinigungsstufe kommt es zwar zu deutlichen betrieblichen Einschränkungen, diese beschränken sich jedoch auf die An- und Abfahrt zum bzw. vom Standort. Relevanter sind die zusätzlich anfallenden Kosten, die wegen der großen Entfernung entstehen. Die standortspezifischen Ge-

samtjahreskosten werden auf rd. 217.900 €/a geschätzt. Das entspricht 6,4 % der gesamten jährlichen Kosten der Behandlungsstufe, die gebietsspezifischen Differenzkosten zur Grundvariante betragen rd. 125.000 €/a.

3.3.7 Vergleich der Standorte

Die außerhalb des Betriebsgeländes liegenden Standortvarianten werden ebenfalls in einer Nutzwertanalyse verglichen. Dabei wird die Vorzugsvariante der innerhalb des Betriebsgeländes liegenden Varianten (Standort 0) einbezogen, sodass eine Gesamtvorzugsvariante ermittelt werden kann.

Neben den in Kapitel 3.2.3 aufgeführten technisch-betrieblichen Kriterien wird für die Gesamtbewertung die **Nähe zur vorhandenen Klärwerksfläche**. Sie stellt einen wichtigen Aspekt zur Integrierbarkeit des Anlagenkomplexes dar. Ein kurzer Weg ermöglicht es dem Personal, bei Störungen an der Behandlungsstufe kurzfristig reagieren zu können. Außerdem müssen keine zusätzlichen Betriebsmittellager oder sanitären Einrichtungen vorgesehen werden. Am besten eignen sich in dieser Kategorie die Standorte 0, 1, 2, und 11, die alle direkt an das Klärwerksge-lände grenzen. Besonders ungünstig bewertet wird Standort 7, da er mit 1.150 m am weitesten vom vorhandenen Klärwerk entfernt liegt und nur über die Hauptstraße „Mainzer Straße“ erreicht werden kann.

Für den ganzheitlichen Ansatz werden für die Auswahl der Gesamtvorzugsvariante die oben vorgestellten wirtschaftlichen Kriterien einbezogen. In Abbildung 3.12 sind die standortspezifischen Jahreskosten, bezogen auf die Jahreskosten Standortvariante 0, dargestellt. Die Aufstellung dieser „Jahres-Differenzkosten“ ermöglicht einen guten Vergleich der unterschiedlichen Standortvarianten. Die Randbedingungen sind identisch zu Kapitel 3.2.3.

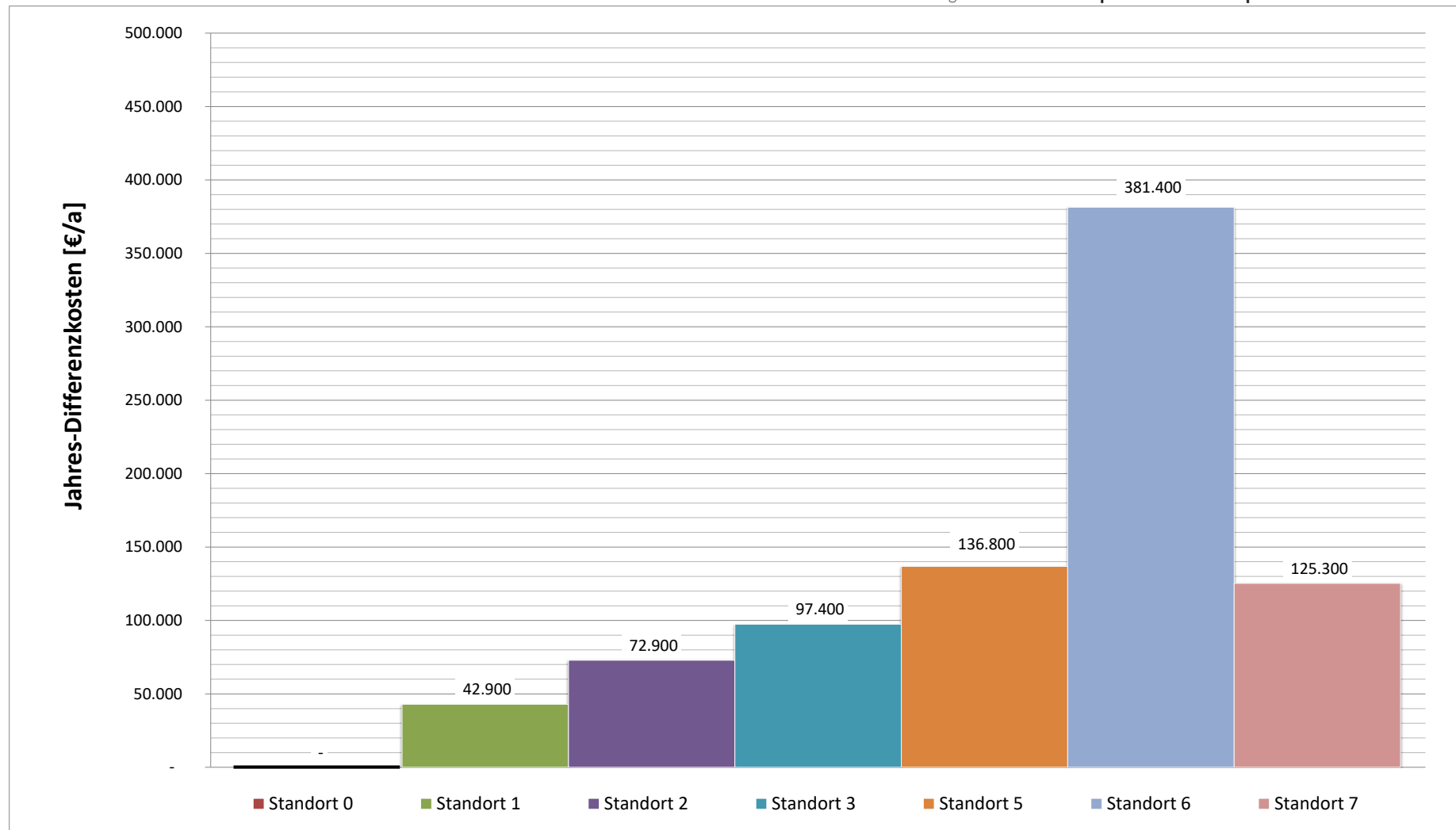


Abbildung 3.12: Differenzkosten der Standorte außerhalb des Betriebsgeländes

In Abbildung 3.12 ist deutlich zu sehen, dass die standortspezifischen Jahreskosten mit zunehmender Entfernung zum vorhandenen Klärwerksgelände wachsen. Zusätzlich werden die Kosten durch standortspezifische Besonderheiten, wie Brücken, Düker oder Pumpwerke beeinflusst. Es kann abgelesen werden, dass die Varianten 0 und 1 aus wirtschaftlicher Sicht die besten Alternativen darstellen. Die Standortvariante 6 weist hingegen deutlich höhere Jahreskosten auf. Bei dieser Variante muss wegen der topografischen Lage ein zusätzliches Pumpwerk eingesetzt werden, dessen Kapital- und Betriebskosten die der übrigen Varianten deutlich übersteigen.

Die Bewertung der vorgestellten Aspekte wird in der Nutzwertanalyse in Tabelle 3.10 dargestellt.

Tabelle 3.10: Nutzwertanalyse der Standortvarianten außerhalb des Betriebsgeländes

Kriterium	Wichtung	Standort 0		Standort 1		Standort 2		Standort 3		Standort 5		Standort 6		Standort 7	
		RF		RF	TN	RF	TN	RF	TN	RF	TN	RF	TN	RF	TN
A) Technisch-betriebliche Kriterien															
1 Erweiterungsfähigkeit	25%	1	0,25	1	0,25	1	0,25	6	1,50	6	1,50	4	1,00	3	0,75
2 Betrieb eines zusätzlichen Hebewerks	15%	1	0,15	1	0,15	1	0,15	1	0,15	1	0,15	6	0,90	1	0,15
3 Betrieb eines Dükers	15%	1	0,15	5	0,75	1	0,15	5	0,75	1	0,15	1	0,15	1	0,15
4 Gestaltungsmöglichkeit der Verkehrsfläche	10%	5	0,50	1	0,10	1	0,10	6	0,60	6	0,60	1	0,10	1	0,10
5 Schwierigkeit der Bebauung	10%	5	0,50	1	0,10	4	0,40	5	0,50	5	0,50	1	0,10	1	0,10
6 Ableitung	10%	1	0,10	1	0,10	5	0,50	1	0,10	1	0,10	6	0,60	6	0,60
7 Nähe zur vorhandenen Klärwerksfläche	15%	1	0,15	2	0,30	3	0,45	5	0,75	6	0,90	5	0,75	7	1,05
Summe TN (Wichtung x RF)	100%		1,80		1,75		2,00		4,35		3,90		3,60		2,90
	Rang:		2		1		3		7		6		5		4
B) Wirtschaftliche Kriterien															
1 Jahreskosten	100%	1	1,00	2	2,00	3	3,00	4	4,00	6	6,00	7	7,00	5	5,00
Summe TN (Wichtung x RF)	100%		1,00		2,00		3,00		4,00		6,00		7,00		5,00
	Rang:		1		2		3		4		6		7		5
Gesamtbewertung															
A) Technisch-betriebliche Kriterien	50%	1,80	0,90	1,75	0,88	2,00	1,00	4,35	2,18	3,90	1,95	3,60	1,80	2,90	1,45
B) Wirtschaftliche Kriterien	50%	1,00	0,50	2,00	1,00	3,00	1,50	4,00	2,00	6,00	3,00	7,00	3,50	5,00	2,50
Summe Punkte	100%		1,40		1,88		2,50		4,18		4,95		5,30		3,95
Zielerfüllung	%		100%		75%		56%		34%		28%		26%		35%
	Rang:		1		2		3		5		6		7		4

Das Verhältnis der betrieblich-technischen zu den wirtschaftlichen Kriterien wurde mit 50 / 50 gewählt. So wird sichergestellt, dass auch zukünftig ein reibungsloser Reinigungsprozess gewährleistet werden kann und gleichzeitig die ökonomische Sinnhaftigkeit gegeben ist.

Aus der Nutzwertanalyse ist abzulesen, dass die Standortvarianten 0, 1 und 2 im betrieblich-technischen Bereich am besten abschneiden. Bei den wirtschaftlichen Kriterien können sich die Varianten 0, und 1 von den übrigen absetzen.

Unter Einbeziehung der Wichtung der Hauptgruppen bedeutet das die beste Bewertung und somit Rang 1 für die Standortvariante 0. Die zweitplatzierte Standortvariante 1 erreicht lediglich eine Zielerfüllung von 75 %. Alle übrigen Varianten sind deutlich abgeschlagen und stellen keine guten Alternativen dar. Damit sind alle Standortalternative außerhalb des Klärwerksgeländes ungünstiger als der Standort 0, so dass die Standortvariante 0 als Vorzugsvariante festgestellt werden kann.

4 Zusammenfassung

In Deutschland befinden sich rund 30.000 synthetische organische Stoffe, auch als Spurenstoffe bezeichnet, im Umlauf. Diese gelangen bspw. über Arznei-, Körperpflege- und Reinigungsmittel in den Umlauf. Da heutige Kläranlagen bisher zum Großteil nicht für die Elimination dieser Stoffe ausgerüstet sind, können sie in Oberflächengewässern und im Grundwasser nachgewiesen werden. Auch das Hauptklärwerk Wiesbaden, das täglich rd. 50.000 m³ Abwasser mechanisch-biologisch reinigt, ist bislang nicht für eine gezielte Elimination von Spurenstoffen ausgelegt.

Die vorliegende Studie stellt die verschiedenen Möglichkeiten vor, um mittels einer vierten Reinigungsstufe zum einen Spurenstoffe gezielt aus dem Abwasserstrom zu eliminieren und zugleich möglicherweise erhöhte Ablaufanforderungen bzgl. des Parameters Phosphor einhalten zu können. Des Weiteren werden verschiedene Standortvarianten für eine vierte Reinigungsstufe analysiert und bewertet. Als Vorzugsverfahren für die vierte Reinigungsstufe wurde in einem Vergleichsverfahren ein den Nachklärbecken nachgeschaltetes Pulveraktivkohleverfahren ausgewählt, das durch Kombination mit einer Flockungsfiltration auch eine weitergehende Phosphorelimination ermöglicht.

Da auf dem heutigen Klärwerksgelände nicht ausreichend Fläche zur Verfügung steht, um eine vierte Reinigungsstufe zu realisieren, wurden acht mögliche Standorte in einem Suchkorridor identifiziert, die in dieser Studie bzgl. ihrer betrieblich-technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften analysiert und bewertet wurden. Die Schwerpunkte der Analyse wurden auf die Nähe zum vorhandenen Klärwerksgelände, die Erweiterungsfähigkeit sowie den Betrieb eines teilweise erforderlichen, zusätzlichen Pumpwerks gelegt.

Aus betrieblich-technischer Sicht sind die Standortvarianten 0 und 1 am besten geeignet, aber auch der Standort 2 wurde in dieser Hauptgruppe gut bewertet. Hinsichtlich der standortspezifischen Kosten belegte die Standortvariante 0 Rang 1, gefolgt von den Standorten 1 und 2. Als Vorzugsvariante wurde daher unter Einbeziehung sämtlicher Parameter die Standortvariante 0 bestimmt. Der zweitplatzierte Standort 1 erreicht lediglich eine Zielerfüllung von 75 % und stellt somit keine gleichwertige Alternative dar.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Flächensicherung für den Ausbau einer vierten Reinigungsstufe sinnvoll ist. Es ist damit zu rechnen, dass das HKW Wiesbaden in naher Zukunft mit neuen bzw. schärferen Grenzwerten bzgl. der Spurenstoff- und Phosphorablaufwerte konfrontiert wird. Vor diesem Hintergrund ist die Ausweisung einer Erweiterungsfläche wichtig.

Aufgestellt:	Dr. Born -Dr. Ermel GmbH Achim, den 03.05.2018	RJ
Geprüft:	Dr. Born -Dr. Ermel GmbH Achim, den 03.05.2018	TO
Überarbeitet:	Dr. Born -Dr. Ermel GmbH Achim, den 17.12.2018	RJ

Literaturverzeichnis

- Abegglen, C. und Siegrist, A. (2012):** Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umweltschutz BAFU. Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern
- Bornemann, C.; Alt, K.; Böhm, F.; Hachenberg, M.; Kolisch, G.; Nahrstedt, A.; Taudien, Y. (2015):** Technische Erprobung des Aktivkohleeinsatzes zur Elimination von Spurenstoffen in Verbindung mit vorhandenen Filteranlagen „Filter AK+“, Abschlussbericht. gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)
- Cornel, P.; Schaum, C. und Knopp, G. (2013):** Gutachten – Teil A: Hauptklärwerk Wiesbaden „Zukunft der Abwasserbehandlung auf den Klärwerken der Entsorgungsbetriebe der Landeshauptstadt Wiesbaden“. Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Abwassertechnik. Darmstadt
- Dr. Hug Geoconsult GmbH (2013):** Gutachten: Orientierende umwelt- und baugrundtechnische Untersuchungen, B-Plan Hauptklärwerk und Erweiterungsfläche Wiesbaden-Biebrich. Oberursel
- DWA-A 131 (2000):** Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.). Hennef
- Günthert, F.W. und Rödel, S. (2013):** Abschlussbericht: Bewertung vorhandener Technologien für die Elimination anthropogener Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen. Universität der Bundeswehr. Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik. Neubiberg
- Hessisches Wassergesetz (HWG) (2009):** Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg_2009/gesamt.pdf. zuletzt abgerufen am 17.11.2016
- Hillebrand, T.; Tettenborn, F.; Menger-Krug, E. und Marschneider-Weidemann, F. (2013):** Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Karlsruhe
- Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) (2013):** Strategie Mikroverunreinigungen Integrale Bewertung von Mikroverunreinigungen und Maßnahmen zur Reduzierung von Einträgen aus Siedlungs- und Industrieabwässern. Bericht 203 d. Koblenz
- Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)(2015):** International koordinierter Bewirtschaftungsplan 2015 für die internationale Flussgebietseinheit Rhein. Koblenz

- Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS) (2014):** Handlungsempfehlungen zur Vergleichskontrolle und zur Betriebsüberwachung der 4. Reinigungsstufe. Universität Stuttgart
- Metzger, S. und Kapp, H. (2008):** Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen. Hochschule Biberach. VSA-Fachtagung. Biberach
- Metzger, S. (2010):** Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Verfahrenstechnische, betriebliche und ökonomische Aspekte bei der Entfernung von Spurenstoffen. Dissertation. Fakultät III – Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin. Oldenbourg Industrieverlag. München
- Reißig (2005):** Merkblatt: Wasserrechtliche Zulassungsverfahren für kommunale Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen in Hessen. im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz
- UVPG – Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (1990):** verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/uvpg/gesamt.pdf>. zuletzt abgerufen am 22.11.2016
- WHG – Wasserhaushaltsgesetz (2009):** verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg_2009/gesamt.pdf. zuletzt abgerufen am 29.11.2016

Kurzzeichen

Symbol	Einheit	Bezeichnung
°C	°C	Grad Celsius
a	a	Jahr
A	m ²	Oberfläche
Abs.	-	Absatz
AFS	mg/l	abfiltrierbare Stoffe
Al	-	Aluminium
AOP	-	(engl.: advanced oxidation process); erweiterte Oxidation
b	m	Breite
BB	-	Belebungsbecken
BSB ₅	mg/l	biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen
bspw.	-	beispielsweise
BT	-	sonstige Bautechnik
BV	m ³ /m ³	Bettvolumen: Verhältnis des gefilterten Volumens zum Füllvolumen des Filters
Ca	-	Calcium
ca.	-	circa
CSB	mg/l	chemischer Sauerstoffbedarf
d	d	Tag
DIN	-	Deutsches Institut für Normung
DOC	mg/l	(engl.: dissolved organic carbon); gelöster organisch gebundener Kohlenstoff
E	E	Einwohner
EG	-	Europäische Gemeinschaft
ELT	-	Elektro- und Leittechnik
EP	€	Einheitspreis
EW	EW	Einwohnerwert
Fe	-	Eisen
FHM	-	Flockungshilfsmittel
FM	-	Fällmittel
g	g	Gramm
GAK	-	granulierte Aktivkohle
ggf.	-	gegebenenfalls
GK	-	Größenklasse
GOK	m. ü. NN	Geländeoberkannte
GP	€	Gesamtpreis
GU	-	Kies-Schluff
H	-	Wasserstoff
h	h	Stunde
h	m	Höhe
H ₂ O ₂	-	Wasserstoffperoxid
HKW	-	Hauptklärwerk

HMUELV	-	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
HWG	-	Hessisches Wassergesetz
i. d. R.	-	in der Regel
IKSR	-	internationale Kommission zum Schutz des Rheins
ISV	ml/g	Schlammvolumenindex
km	km	Kilometer
km ²	km ²	Quadratkilometer
kWh	kWh	Kilowattstunde
l	l	Liter
l	m	Länge
LAGA	-	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
m	m	Meter
m. ü. NN	m. ü. NN	Höhe über dem Meeresspiegel
m ²	m ²	Quadratmeter
m ³	m ³	Kubikmeter
MF	-	Mikrofiltration
Mg	Mg	Megagramm
mg	mg	Milligramm
min	min	Minute
MKW	mg/kg TS	Mineralölkohlenwasserstoff
µm	µm	Mikrometer
mm	mm	Millimeter
MSR-Technik	-	Mess- und Regelungstechnik
MT	-	Maschinentechnik
MWh	MWh	Megawattstunde
N	mg/l	Stickstoff
n	Stck.	Anzahl
NF	-	Nanofiltration
NK	-	Nachklärung
NKB	-	Nachklärbecken
nm	nm	Nanometer
NO ₂ ⁻	mg/l	Nitrit
O	-	Sauerstoff
o. ä.	-	oder ähnliche
O ₃	-	Ozon
OH	-	Hydroxyl
OH	-	organogener Boden
P	-	Phosphor
PAK	-	Pulveraktivkohle
P _{ges}	mg/l	Gesamt-Phosphor
PW	-	Pumpwerk
q _A	m/h	Oberflächenbeschickung
Q _{ads.Teilstr.}	m ³ /s; l/s	Volumenstrom zur adsorptiven Teilstrombehandlung
Q _m	m ³ /s; l/s	Mischwasserabfluss



$Q_{\text{Spülabw.}}$	$\text{m}^3/\text{s}; \text{l/s}$	Volumenstrom des Spülabwassers
Q_t	$\text{m}^3/\text{s}; \text{l/s}$	Trockenwetterabfluss
R	-	Rechen
RB	-	Bautechnik für Rohrleitungsbau
rd.	-	rund
RF	-	Rangfolge
RKM	-	Röntgenkontrastmittel
RO	-	Umkehrosmose
RS	-	Rücklaufschlamm
BT	-	sonstige Bautechnik
s	s	Sekunde
SF	-	Sandfang
Stck.	Stck.	Stück
SU	-	Sand-Schluff
t	h; min; s	Zeit
TA	-	ausgeprägt plastische Tone
TL	-	leichtplastische Tone
TM	-	mittelpastische Tone
TN	-	Teilnote
TS	g/l	Trockensubstanz
UF	-	Ultrafiltration
UQN	-	Umweltqualitätsnorm
ÜS	-	Überschussschlamm
UV	-	ultraviolett
UVP	-	Umweltverträglichkeitsprüfung
V	m^3	Volumen
vgl.	-	vergleiche
VKB	-	Vorklärbecken
WHG	-	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	-	Wasserrahmenrichtlinie



**- Studie zum Hauptklärwerk Wiesbaden –
Technisch/wirtschaftliche Voruntersuchung von
Standortvarianten für eine vierte Reinigungsstufe -**

A N L A G E 1

Hydraulische Berechnungen

Inhaltsverzeichnis**Seite**

1	Zulaufleitung	1
2	Rücklaufleitungen.....	3
2.1	Überschussschleife	3
2.2	Rückspülwasser.....	6

1 Zulaufleitung

Da das Abwasser möglichst ohne zusätzliches Pumpwerk vom Kläranlagengelände zur vierten Reinigungsstufe geführt werden soll, wurde eine hydraulische Berechnung durchgeführt. Ziel war dabei die Ermittlung der hydraulischen Verluste und in dessen Folge die maximale Höhe der Bauwerke, um eine sichere Abwasserzuleitung zu gewährleisten. Dafür wurde zunächst der entstehende Energiehöhenverlust berechnet. Anschließend wurde auf Basis der ermittelten Daten die erforderliche Bauwerkshöhe bestimmt.

Da die Verluste innerhalb der Rohrleitung größer werden, wenn die Fließgeschwindigkeit zunimmt, muss die Berechnung für den Bemessungszufluss Q_M erfolgen. Außerdem sollte die Fließgeschwindigkeit zu diesem Zeitpunkt nicht unter 1 m/s liegen, um Ablagerungen zu vermeiden bzw. wegspülen zu können. Diese Restriktionen werden bei einer Rohrleitung mit einem Nenndurchmesser von DN 1500 eingehalten.

Maximaler Abfluss:
$$Q_M = 2000 \frac{l}{s} = 7.200 \frac{m^3}{h} = 2 \frac{m^3}{s}$$

Gewählter Rohrrinnendurchmesser: $d = 1.500mm$

Fließgeschwindigkeit bei Q_M :
$$v = \frac{Q_M \cdot 4}{d \cdot \pi} = \frac{2 \frac{m^3}{s} \cdot 4}{1,5m \cdot \pi} = 1,13 \frac{m}{s}$$

Reynoldszahl:
$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,13 \cdot 1,5}{1,3 \cdot 10^{-6}} = 1.305.886$$

Die Verluste in der Rohrleitung setzen sich aus der Summe der Einzelverluste zusammen. Da in diesem Planungsstadium noch keine Aussagen zu den Einzelverlusten getroffen werden können, wird die „betriebliche Rauheit“ k_b zunächst nach DIN DWA-A 110 pauschal festgelegt. Darin sind die Einflüsse von Wandrauheit, Lageungenauigkeit und -änderung, Rohrstoßen, Zulauf-Formstücken und Schachtbauwerken enthalten. Um anschließend den Widerstandsbeiwert λ zu bestimmen, wird ein vollkommen raues Reibungsverhalten angenommen.

Betriebliche Rauheit: $k_b = 0,75mm$

Widerstandsbeiwert:
$$\lambda = \left[2 \cdot \lg \frac{3,71 \cdot d}{k} \right]^{-2} = \left[2 \cdot \lg \frac{3,71 \cdot 1.500mm}{0,75mm} \right]^{-2} = 0,01669[-]$$

Außerdem wurden die Distanzen für die einzelnen Standortvarianten vom Ablauf der Nachklärung bis zum ersten Becken der vierten Reinigungsstufe ermittelt. Entsprechend ergeben sich die aufgeführten Druckverluste. Als Anschlusspunkt wurde der Ablauf der Nachklärung mit der entsprechenden Druckhöhe definiert.

Bezugsdruckhöhe: $h_{NHN} = 0 \text{ m ü. N. N.}$

Anschlussdruckhöhe: $h_{AN} = 95,7 \text{ m ü. N. N.}$

Druckverlust: $h_v = \frac{\lambda \cdot l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g}$

Maximal mögliche Wasserspiegelhöhe: $h_{WSP,max} = h_{AN} - h_v$

Tabelle 1.1: Verlusthöhe und maximal mögliche Wasserspiegelhöhe des Verteilerbauwerks

Standort	Ursprungs-Standort	0	1	2	3	5	6	7	11
Distanz [m]	220	220	450	485	870	1.030	930	1.150	150
h_v [m]	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8	0,1
$h_{WSP,max}$ [m ü. N. N.]	95,5	95,5	95,4	95,3	95,1	95,0	95,0	94,9	95,6

Aus den Restriktionen bzgl. des Landschaftsbilds ergibt sich, dass die Becken maximal einen Meter über die Geländeoberkante hinausragen sollen. Ausgenommen sind davon das Verteilerbauwerk im Zulauf und die Filtration. Im Kontaktbecken wird ein Freibord von $h_{fr} = 0,5 \text{ m}$ vorgesehen und durch das Verteilerbauwerk ist ein zusätzlicher Höhenverlust von $0,5 \text{ m}$ zu erwarten. Daraus ergibt sich eine vorgesehene Wasserspiegelhöhe im Verteilerbauwerk von $1,0 \text{ m ü. GOK}$. Die mittleren Geländeoberkanten der einzelnen Standorte können Tabelle 1.2 entnommen werden.

Tabelle 1.2: Mittlere Geländehöhen der Standorte sowie die entsprechende Wasserspiegelhöhe im Verteilerbauwerk

Standort	Ursprungs-Standort	0	1	2	3	5	6	7	11
mittlere GOK [m ü. N. N.]	92,5	92,5	93,3	96,0	91,5	92,5	102	93,5	112,5
Wasserspiegel höhe, ohne zusätzliche Maßnahmen h_{WSP} [m]	93,5	93,5	94,3	97,0	92,5	93,5	103	94,5	113,5

Standort	Ursprungs- Standort	0	1	2	3	5	6	7	11
maximal zulässige Wasser- spiegelhöhe $h_{WSP, \max}$ [m]	95,5	95,5	95,4	95,3	95,1	95,0	95,0	94,9	95,6
Restriktion erfüllt	✓	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	X

Die Auswertung der hydraulischen Berechnung zeigt, dass neben dem Ursprungsstandort auch die Standorte 0, 1, 3, 5 und 7 auf Grund ihrer topografischen Lage ohne zusätzliche Maßnahmen angeströmt werden können. Für die Standorte 2, 6 und 11 müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden. Diese Maßnahmen können entweder aus einem Bodenabtrag bis auf die notwendige Höhe und/oder der Installation eines Pumpwerks bestehen.

2 Rücklaufleitungen

Das Wasser zur Rückspülung der Sandfilter sowie der Aktivkohleüberschussschlamm müssen von der jeweiligen Behandlungsstufe zurück zum Belebungsbecken gefördert werden. Um die Betriebskosten dafür ermitteln zu können, wurde eine hydraulische Berechnung der zu erwartenden Verlusthöhe durchgeführt. Diese Verlusthöhe muss im Betrieb von einem Pumpwerk überwunden werden, um die Volumenströme ins Belebungsbecken zurückfördern zu können.

2.1 Überschussskohle

Bei der Rückförderung der Überschussskohle gilt zu beachten, dass das zu fördernde Medium einen hohen Anteil an absetzbaren Stoffen aufweist. Für die hydraulische Berechnung wird eine PAK-Konzentration von rd. 8,5 g/l angenommen. Um Ablagerungen in der Rohrleitung zu vermeiden, soll eine Geschwindigkeit von 1,0 m/s nicht unterschritten werden. Bei der folgenden Berechnung wird festgelegt, dass lediglich 25 % der Zeit gefördert wird. Daraus ergibt sich ein Bemessungsdurchfluss von 30,5 m³/h. Der Rohrrinnendurchmesser wurde mit $d = 100$ mm angenommen. Als Bezugshöhe wird der maximale Wasserspiegel im Belebungsbecken auf einer Höhe von $h_{WSP, BB} = 98,4$ m ü. N. N. gewählt.

Die Ablaufdruckhöhe wird mit der Höhe der geplanten GOK an den Sedimentationsbecken angenommen, da die Kohle in den Sammeltrichtern der Sedimentationsbecken abgezogen wird. Die Verluste in der Rohrleitung setzen sich aus der Summe der Einzelverluste zusammen. Da in diesem Planungsstadium noch keine Aussagen zu den Einzelverlusten getroffen werden können, wird die „betriebliche Rauheit“ k_b zunächst nach DIN DWA-A 110 pauschal festgelegt. Darin sind die Einflüsse von Wandrauheit, Lageungenauigkeit und –änderung, Rohrstößen, Zulauf-Formstücken und Schachtbauwerken enthalten. Um anschließend den Widerstandsbeiwert λ zu bestimmen, wird ein vollkommen raues Reibungsverhalten angenommen.

Bemessungsdurchfluss: $Q_{AK} = 30,5 \frac{m^3}{h} = 8,5 \frac{l}{s}$

Gewählter Rohrrinnendurchmesser: $d = 100mm$

Gewählte betriebliche Rauheit k_b : $k_b = 0,25mm$

Druckverlust: $h_v = \frac{\lambda \cdot l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g}$

Mit:

$$v = \frac{Q_m \cdot 4}{d \cdot \pi}$$

$$\lambda = \left[2 \cdot \lg \frac{3,71 \cdot d}{k} \right]^{-2} = \left[2 \cdot \lg \frac{3,71 \cdot 100mm}{0,25mm} \right]^{-2} = 0,0249[-]$$

Die Tabelle A 3 zeigt die standortspezifischen Gesamtförderhöhen für die Rückförderung der Aktivkohle. Die zu fördernden Höhen bewegen sich zwischen 3 m und 23 m. Die Verluste sind abhängig von der Rohrleitungslänge und nehmen mit steigender Distanz zu.

Tabelle 2.1: Berechnung der Gesamtförderhöhe für den Rücklauf der Überschussaktivkohle

Standort [-]	Innen- durchmesser [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	λ [-]	GOK m ü. N. N.	Ablaufdruck höhe m ü. N. N.	h_{dif} zu $h_{WS, BB}$ [m]	Distanz [m]	Verlust- höhe h_v [m]	Gesamtförderhöhe [m]
Ursprungs- Standort	100	50,3	1,08	0,0249	92,5	92,5	6	220	3	9
0	100	50,3	1,08	0,0249	92,5	92,5	6	220	3	9
1	100	50,3	1,08	0,0249	91,5	92,5	7	450	7	14
2	100	50,3	1,08	0,0249	94,0	94,0	4	490	7	12
3	100	50,3	1,08	0,0249	91,5	91,5	7	870	13	20
5	100	50,3	1,08	0,0249	91,0	92,0	7	1.030	15	23
6	100	50,3	1,08	0,0249	101,5	101,5	-3	930	14	11
7	100	50,3	1,08	0,0249	92,0	92,0	6	1.150	17	23
11	100	50,3	1,08	0,0249	97,5	97,5	1	150	2	3

2.2 Rückspülwasser

Bei der Rückförderung des Überschusswassers soll beim Bemessungszufluss eine Geschwindigkeit von 1,0 m/s ebenfalls nicht unterschritten werden, um ein Absetzen von Sedimenten zu vermeiden. Bei dieser hydraulischen Berechnung wird davon ausgegangen, dass ein Drittel der Zeit gefördert wird. Daraus ergibt sich ein Bemessungsvolumenstrom von $Q_{RW} = 442 \text{ m}^3/\text{h}$. Als Ablaufhöhe wird die GOK des jeweiligen Standorts angenommen (bei Standort 2 die GOK nach dem vorgesehenen Bodenabtrag). Als Ziel-Wasserspiegel wird der maximale Wasserspiegel im Belebungsbecken auf einer Höhe von $h_{WSP,BB} = 98,4 \text{ m ü. N. N.}$ gewählt.

Um sehr große Förderhöhen zu vermeiden, werden die Rohrrinnendurchmesser in Abhängigkeit zur überbrückenden Distanz gewählt (vgl. Tabelle 2.2). Für die geringeren Distanzen wurde ein kleinerer Rohrdurchmesser gewählt, um die Investitionskosten gering zu halten.

Die Verluste in der Rohrleitung setzen sich aus der Summe der Einzelverluste zusammen. Da in diesem Planungsstadium noch keine Aussagen zu den Einzelverlusten getroffen werden können, wird die „betriebliche Rauheit“ k_b zunächst nach DIN DWA-A 110 pauschal festgelegt. Darin sind die Einflüsse von Wandrauheit, Lageungenauigkeit und –änderung, Rohrstoßen, Zulauf-Formstücken und Schachtbauwerken enthalten. Um anschließend den Widerstandsbeiwert λ zu bestimmen, wird ein vollkommen raues Reibungsverhalten angenommen.

Bemessungsdurchfluss: $Q_{RW} = 123 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 442 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Gewählte betriebliche Rauheit k_b : $k_b = 0,25 \text{ mm}$

Mit:

$$v = \frac{Q_m \cdot 4}{d \cdot \pi}$$

$$\lambda = \left[2 \cdot \lg \frac{3,71 \cdot d}{k} \right]^{-2} = \left[2 \cdot \lg \frac{3,71 \cdot d}{0,25 \text{ mm}} \right]^{-2}$$

Tabelle 2.2: Berechnung der Gesamtförderhöhe für den Rücklauf des Rückspülwassers

Standort [-]	Innen- durchmesser [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	λ [-]	GOK m ü. N. N.	h_{dif} ZU $h_{WSP, BB}$ [m]	Distanz [m]	Verlusthöhe h_v [m]	Gesamtförderhöhe [m]
Ursprungs- Standort	250	491,9	2,50	0,0196	92,5	5,9	220	5	11
0	250	491,9	2,50	0,0196	94,5	3,9	150	4	8
1	250	491,9	2,50	0,0196	90,0	8,4	450	11	20
2	250	491,9	2,50	0,0196	94,0	4,4	490	12	17
3	300	706,9	1,74	0,0188	91,5	6,9	870	8	15
5	300	706,9	1,74	0,0188	92,0	6,4	1.030	10	16
6	300	706,9	1,74	0,0188	98,5	-0,1	930	9	9
7	300	706,9	1,74	0,0188	91,0	7,4	1.150	15	22
11	250	491,9	2,50	0,0196	94,0	4,4	150	4	8



**- Studie zum Hauptklärwerk Wiesbaden –
Technisch/wirtschaftliche Voruntersuchung von
Standortvarianten für eine vierte Reinigungsstufe -**

A N L A G E 2

Kostenschätzung

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Allgemeines.....	2
2	Standortspezifische Investitionskosten	3
2.1	Ursprungsvariante.....	3
2.2	Standort 0	4
2.3	Standort 1	5
2.4	Standort 2	7
2.5	Standort 3	8
2.6	Standort 5	10
2.7	Standort 6	10
2.8	Standort 7	12
2.9	Standort 11	13
3	Standortspezifische Betriebskosten	15
3.1	Ursprungsvariante.....	15
3.2	Standort 0	16
3.3	Standort 1	16
3.4	Standort 2	17
3.5	Standort 3	18
3.6	Standort 5	19
3.7	Standort 6	20
3.8	Standort 7	20
3.9	Standort 11	21

1 Allgemeines

Die standortspezifischen Kosten beinhalten die Kosten für die erforderlichen Rohrleitungen, die teilweise notwendigen Brücken- und Dükerbauwerke, den notwendigen Bodenabtrag bzw. die Kosten für zusätzliche Pumpwerke sowie die jeweiligen Betriebskosten. Für den Vergleich der verschiedenen Standorte bzgl. ihrer Wirtschaftlichkeit, werden die Differenzkosten im Vergleich zur Ursprungsvariante betrachtet.

2 Standortspezifische Investitionskosten

2.1 Ursprungsvariante

Ein großer Vorteil der Ursprungsvariante ist die Nähe zum bestehenden Kläranlagengelände. Es werden nur rd. 220 m Leitungslänge für den Gesamtzulauf bzw. den Rücklauf der Überschussschleife und des Rückspülwassers benötigt. Die hydraulische Berechnung zeigt, dass für den Zulaufstrom ein Rohrdurchmesser von 1.500 mm ausreichend ist, um den Mischwasserabfluss zum Zulauf der vierten Reinigungsstufe zu leiten (vgl. Anlage 1). Für die Leitungen der Rücklaufschleife und des Rückspülwassers genügen Innendurchmesser von 100 mm respektive 250 mm. Die geringen Durchmesser sind notwendig, da wegen der hohen Feststoffgehalte der zu fördernden Fluide entsprechende Mindestgeschwindigkeiten in den Druckrohrleitungen eingehalten werden müssen, um ein Absetzen von Stoffen zu verhindern. Die zugehörige hydraulische Berechnung kann Anlage 1 entnommen werden.

Da die Zulauf- und die Rücklaufleitungen in einem gemeinsamen Rohrgraben verlegt werden können, beträgt das Volumen des auszuhebenden Rohrgrabens rund 11 m³/m. Die Kosten für den Rohrgraben setzen sich aus Kosten für den Bodenaushub, den Verbau und die Wiederherrichtung des Geländes zusammen. Insgesamt werden die Nettokosten für den Rohrgraben auf rd. 700 €/m geschätzt.

Wegen der beengten Platzverhältnisse muss der Salzbach sowohl von der Rückspülwasserleitung als auch von der Zu- und Ablaufleitung der Filtration gekreuzt werden. Die Rohrleitung für das Rückspülwasser kann wegen ihres geringen Durchmessers an der Seite des notwendigen Brückenbauwerks geführt werden. Die Zulaufleitung ist dafür mit einem Innendurchmesser von 1.500 mm zu groß. Um den Salzbach queren zu können, muss diese Leitung, gemeinsam mit der Leitung zur Ableitung des gereinigten Abwassers, durch ein Dükerbauwerk unter dem Salzbach hindurch geführt werden. Die Nettoherstellkosten für dieses Bauwerk belaufen sich auf rd. 500.000 €. Insgesamt fallen für den Rohrleitungsbau Nettoherstellkosten von rd. 1.074.000 € an.

Tabelle 2.1: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten am Ursprungsstandort

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	220 m	1500 €/m	330.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufschleife DN 100	220 m	100 €/m	22.000 €	RB

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung Rückspülwasser DN 250	220 m	250 €/m	55.000 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	10 m	1.500 €/m	15.000	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	2.530 m³	60 €/m³	151.800 €	RB
Dükerbauwerk	1 Stck.	500.000 €/ Stck.	500.000 €	RB
Brückenbauwerk	1 Stck.	250.000 €/ Stck.	250.000 €	BT
Nettoherstellkosten			1.323.800 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			291.000 €	
Nettoinvestitionen			1.614.800 €	
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			306.812 €	
standortspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			1.921.500 €	

RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau
BT: sonstige Bautechnik

MT: Maschinentechnik
ELT: Elektro- und Leittechnik

Wegen der sehr beengten Platzverhältnisse, muss der Salzbach für den Schwerlastverkehr überquerbar gemacht werden, da dieser die Filterstufen erreichen können muss. Die Nettoherstellkosten für das benötigte Brückenbauwerk werden auf rd. 250.000 € geschätzt.

Durch die günstige topografische Lage des Standorts, entstehen keine zusätzlichen standortspezifischen Kosten für ein weiteres Pumpwerk oder für Bodenabtrag. Entsprechend beschränken sich die standortspezifischen Nettoherstellkosten für die sonstige Bautechnik auf 250.000 €.

Die gesamten standortspezifischen Bruttoinvestitionskosten für die Ursprungsvariante betragen entsprechend rund 1,9 Mio. €.

2.2 Standort 0

Der größte Kostenfaktor der Standortvariante 0 entsteht durch die Zulaufleitung in DN 1.500 sowie die aufgrund der Distanz zwischen Sandfiltration und Absetzbecken erforderlichen längeren Verbindungsleitungen in DN 1.000. Zusätzliche, standortspezifische Kosten entstehen durch den Rückbau der Mikrofiltrationsanlage, da auf deren heutiger Fläche die Sandfiltration vorgesehen wird. Die Kosten für den Rückbau werden auf 264.000 € geschätzt.

Zusätzlich fallen bei dieser Variante Kosten für die verbindenden Rohrleitungen zwischen der Filtration und den übrigen Bestandteilen der vierten Reinigungsstufe an.

Tabelle 2.2: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten an Standort 0

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	220 m	1.500 €/m	330.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufkohle DN 100	220 m	100 €/m	22.000 €	RB
Rohrleitung Rückspülwasser DN 250	220 m	250 €/m	55.000 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	20 m	1.500 €/m	30.000 €	RB
zusätzliche Rohrleitung zwischen Absetzbecken und Filtration	480 m	1.000 €/m	480.000 €	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	4.400 m ³	60 €/m ³	264.000 €	RB
Rückbau der Mikrosiebung	6.600 m ³	40 €/m ³	264.000 €	BT
Nettoherstellkosten			1.475.000 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			324.500 €	
Nettoinvestitionen			1.799.500 €	
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			341.900 €	
standortspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			2.141.500 €	

RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau

MT: Maschinentechnik

BT: sonstige Bautechnik

ELT: Elektro- und Leittechnik

Die gesamten standortspezifischen Bruttoinvestitionskosten für den Standort 0 betragen entsprechend rund 2,1 Mio. €.

2.3 Standort 1

Da der Standort 1 in unmittelbarer Nähe zum bestehenden Betriebsgelände liegt, sind die Kosten für den Rohrleitungsbau verhältnismäßig gering. Für die rd. 450 m zum Anschlussbauwerk am Ablauf der Nachklärung wird eine Rohrleitung mit einem Innendurchmesser von 1.500 mm benötigt (vgl. Anlage 1). Durch diese Leitung wird das Abwasser zur vierten Reinigungsstufe geleitet. Zusätzlich wird jeweils eine Druckleitung für das Rückspülwasser aus der Filtration und für den Überschussschamm mit einem Innendurchmesser von 250 mm bzw. 100 mm benötigt. Für die Zulaufleitung sowie die Ablaufleitung in den Rhein muss zusätzlich ein Düker installiert werden, um den Salzbach zu kreuzen. Die Druckleitungen zur Überschussschamm- und

der Spülwasserrückführung können entlang der Brücke geführt werden, sodass für die Querung des Salzbachs keine zusätzlichen Kosten entstehen.

Die Nettoherstellkosten für den gesamten Rohrleitungsbau betragen rd. 1.651.000 €.

Zurzeit wird die Fläche des Standorts als Parzellegebiet genutzt. Sollte dieser Standort ausgewählt werden, müssen die entsprechenden Grundstücke erworben und die bisherigen Nutzer entschädigt werden. Zwar sind die Grunderwerbskosten für diesen Standort gering, die Entschädigungskosten können diese allerdings weit übersteigen. Eine Abschätzung kann zu diesem Planungszeitpunkt nicht vorgenommen werden.

Tabelle 2.3: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten an Standort 1

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	450 m	1.500 €/m	675.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufkohle DN 100	450 m	100 €/m	45.000 €	RB
Rohrleitung Rückspülwasser DN 250	450 m	250 €/m	112.500 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	10 m	1.500 €/m	15.000	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	5.060 m ³	60 €/m ³	303.600 €	RB
Dükerbauwerk	1 Stck.	500.000 €/ Stck.	500.000 €	RB
Brückenbauwerk	1 Stck.	250.000 €/ Stck.	250.000 €	BT
Nettoherstellkosten			1.901.100 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			418.000 €	
Nettoinvestitionen			2.319.100 €	
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			440.629 €	
standortspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			2.759.500 €	

RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau

MT: Maschinentechnik

BT: sonstige Bautechnik

ELT: Elektro- und Leittechnik

Wegen der geringen notwendigen Leitungslänge und den daraus resultierenden niedrigen Reibungsverlusten, können für die Druckrohrleitungen zur Rückführung der Aktivkohle und des Spülwassers verhältnismäßig kleine Durchmesser gewählt werden. Dadurch werden die Investitionskosten gering gehalten.

Der Salzbach muss von Fahrzeugen, die alle Betriebspunkte der Reinigungsstufe anfahren und von sämtlichen Leitungen gequert werden. Aus diesem Grund muss ein einspuriges, für Schwerlasttransporte geeignetes Brückenbauwerk errichtet werden. Als Kostenpunkt für das Brückenbauwerk wurde anhand von Erfahrungswerten ein Pauschalwert von 250.000 € angesetzt.

Für Bodenabtrag oder ein zusätzliches Pumpwerk fallen keine standortspezifischen Kosten an, da sich die mittlere GOK des Standorts 1 auf einer aus hydraulischer Sicht günstigen Höhe von 92,5 m. ü. N. N. befindet. Das Abwasser kann der vierten Reinigungsstufe entsprechend im Freigefälle zufließen.

Die standortspezifischen Nettoherstellkosten für Bautechnik bestehen ausschließlich aus den Kosten für das Brückenbauwerk und liegen bei 250.000 €. Damit machen sie nur einen geringen Teil der gesamten standortspezifischen Investitionen aus.

2.4 Standort 2

Wegen des geringen Abstands von Standort 2 zum vorhandenen Klärwerksgelände, werden lediglich jeweils rd. 490 m Rohrleitung für die Zulaufleitung in DN 1.500, die Rücklaufkohle-Leitung in DN 100 sowie die Rückspülleitung in DN 250 sowie 50 m Rohrleitung für die Abschlagsleitung in DN 1.000 benötigt. Für die Rohrleitungen werden Nettoherstellkosten von rd. 1.338.000 € abgeschätzt.

Tabelle 2.4: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten an Standort 2

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	490 m	1.500 €/m	735.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufkohle DN 100	490 m	100 €/m	49.000 €	RB
Rohrleitung Rückspülwasser DN 250	490 m	250 €/m	122.500 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	50 m	1.500 €/m	75.000 €	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	5.940 m³	60 €/m³	356.400 €	RB
Bodenabtrag für Standortabsenkung	30.000 m³	35 €/m³	1.050.000 €	BT
Nettoherstellkosten			2.387.900 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			525.500 €	
Nettoinvestitionen			2.913.400 €	

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			553.546 €	
standortsspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			3.467.000 €	
RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau		MT: Maschinentechnik		
BT: sonstige Bautechnik		ELT: Elektro- und Leittechnik		

Da der Standort, wie oben beschrieben, verhältnismäßig hoch liegt, kann das Abwasser dem Standort nicht ohne weitere Maßnahmen zufließen. Mögliche Maßnahmen sind einerseits die Installation eines zusätzlichen Pumpwerks, andererseits ein Bodenabtrag bis auf ein ausreichend niedriges Niveau. Die hydraulische Berechnung hat gezeigt, dass diese Absenkung ca. 2,7 m betragen muss. Unter Einbeziehung der durch die Anordnung in Anspruch genommenen Fläche ergibt sich ein abzutragendes und zu entsorgendes Bodenvolumen von rd. 30.000 m³. Für den Abtrag fallen Nettokosten von 1.050.000 € an. Allein die Investitionskosten der Bautechnik für ein zusätzliches Pumpwerk würden die für den Abtrag anfallenden Kosten übersteigen und werden aus diesem Grund hier nicht weiter analysiert.

Da der Salzbach nicht durch den Standort verläuft, müssen keine Bauwerke zur Querung vorgesehen werden.

Die gesamten standortsspezifischen Bruttoinvestitionskosten für den Standort 2 betragen rd. 3,5 Mio. €. Der standortsspezifisch notwendige Bodenabtrag stellt den größten Faktor dar, der den ansonsten guten betrieblichen Bedingungen des Standorts entgegensteht.

2.5 Standort 3

Die Investitionskosten werden im Wesentlichen durch die Zulaufleitung bestimmt. Auf Grund der Rohrleitungslänge ergeben sich für diese Leitung Nettoherstellkosten von rd. 1.305.000 €. Diese Rohrleitung muss, wie auch die Ab- und Rücklaufleitungen, den Salzbach queren. Die größeren Leitungen (für den Zu- und Ablauf) müssen durch ein Dükerbauwerk geführt werden. Die Nettoherstellkosten dafür werden auf 500.000 € geschätzt.

Durch die günstige topografische Lage des Standorts, müssen keine gebietsspezifischen Kosten für den Bau und Betrieb eines zusätzlichen Pumpwerks oder das Abtragen von Erdschichten berücksichtigt werden. Es kann sogar davon ausgegangen werden, dass die Herstellung eines geeigneten Baugrunds günstiger wird, da die Fläche bereits bebaut ist. Allerdings müssen auch die Kosten für den Rückbau der vorhandenen Gebäude und die höheren Grunderwerbskosten berücksichtigt werden.

Damit die notwendige Förderhöhe der Rückspülwasserpumpen niedrig gehalten werden kann, wird für die Rohrleitung des Rückspülwassers ein Innendurchmesser von 300 mm gewählt. Dadurch entstehen zwar höhere Investitionskosten, dafür können die Reibungsverluste im Rohr deutlich reduziert werden (von $h_{v,250}=29$ m auf $h_{v,300}=15$ m), was sich positiv auf die Betriebskosten auswirkt. Insgesamt liegen die Nettoherstellkosten für den Rohrleitungsbau bei rd. 2.749.000 €.

Tabelle 2.5: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten an Standort 3

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	870 m	1.500 €/m	1.305.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufkohle DN 100	870 m	100 €/m	87.000 €	RB
Rohrleitung Rückspülwasser DN 300	870 m	300 €/m	261.000 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	10 m	1.500 €/m	15.000 €	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	9.680 m ³	60 €/m ³	580.800 €	RB
Dükerbauwerk	1 Stck.	500.000 €/ Stck.	500.000 €	RB
Rückbau der vorhandenen Industriegebäude	850 m ²	40 €/m ³	170.000 €	BT
Nettoherstellkosten			2.918.800 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			642.000 €	
Nettoinvestitionen			3.560.800 €	
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			676.550 €	
standortspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			4.237.500 €	

RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau
BT: sonstige Bautechnik

MT: Maschinentechnik
ELT: Elektro- und Leittechnik

Die Zufahrt für das Betriebspersonal zum Standort 3 soll aus betrieblichen Gründen von der Straße „An der Hammermühle“ erfolgen. Dazu kann das vorhandene Brückenbauwerk über den Salzbach genutzt werden. Entlang dieser Querung können außerdem die Rohrleitungen für das Rückspülwasser und die Rücklaufkohle verlegt werden.

2.6 Standort 5

Die standortspezifischen Investitionskosten des Standorts 5 bestehen überwiegend aus den Kosten für die Anschaffung und das Verlegen der Rohrleitungen. Durch die große Entfernung zum vorhandenen Kläranlagengebiet und der relativ langen Abschlagsleitung zum Salzbach belaufen sich die Nettoherstellkosten für die Rohrleitungen auf rd. 3.025.000 €

Tabelle 2.6: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten an Standort 5

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	1.030 m	1.500 €/m	1.545.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufkohle DN 100	1.030 m	100 €/m	103.000 €	RB
Rohrleitung Rückspülwasser DN 300	1.030 m	300 €/m	309.000 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	180 m	1.500 €/m	270.000 €	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	13.310 m ³	60 €/m ³	798.600 €	RB
Rückbau der vorhandenen Industriegebäude	2.600 m ²	40 €/m ²	520.000 €	BT
Nettoherstellkosten			3.545.600 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			780.000 €	
Nettoinvestitionen			4.325.600 €	
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			821.860 €	
standortspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			5.147.500 €	

RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau
BT: sonstige Bautechnik

MT: Maschinentechnik
ELT: Elektro- und Leittechnik

Die gesamten standortspezifischen Bruttoinvestitionskosten für den Standort 5 betragen entsprechend rund 5,1 Mio. €.

2.7 Standort 6

Die standortspezifischen Investitionskosten für Standort 6 werden durch das zusätzliche Pumpwerk geprägt. Die dafür anfallenden Kosten und die entsprechende Zuordnung wurden aus dem Gutachten der TU Darmstadt übernommen, damit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben ist. Für die Bereiche Bautechnik, Maschinentechnik sowie E- und Leittechnik fallen insgesamt rd. 2.680.000 € Nettoherstellkosten an. Zusätzlich entstehen auf Grund der Entfernung

zum vorhandenen Klärwerksgelände Kosten für den Bau von Rohrleitungen, die rd. 2.898.000 € betragen.

Weiterhin wirkt sich der Abstand zum bestehenden Ablaufkanal negativ aus. Da sich der Standort im Gegensatz zu den vorgenannten Varianten nicht in unmittelbarer Nähe zu dieser Leitung befindet, entstehen zusätzliche gebietsspezifische Kosten.

Tabelle 2.7: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten an Standort 6

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	930 m	1.500 €/m	1.395.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufkohle DN 100	930 m	100 €/m	93.000 €	RB
Rohrleitung Rückspülwasser DN 250	930 m	300 €/m	279.000 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	170 m	1.500 €/m	255.000 €	RB
Rohrleitung (Ablauf) DN 1.000	150 m	1.000 €/m	150.000 €	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	12.100 m	60 €/m ³	726.000 €	RB
zusätzliche Pumpwerk Bautechnik	1 Stck.	1.600.000 €/ Stck.	1.600.000 €	BT
zusätzliche Pumpwerk Maschinentechnik	1 Stck.	1.000.000 €/ Stck.	1.000.000 €	MT
zusätzliche Pumpwerk E- und Leittechnik	1 Stck.	80.000 €/ Stck.	80.000 €	ELT
Nettoherstellkosten			5.578.000 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			1.227.000 €	
Nettoinvestitionen			6.805.000 €	
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			1.293.950 €	
standortspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			8.098.000 €	

RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau
BT: sonstige Bautechnik

MT: Maschinentechnik
ELT: Elektro- und Leittechnik

Die gesamten standortspezifischen Bruttoinvestitionskosten für den Standort 6 betragen entsprechend rund 8,1 Mio. €.

2.8 Standort 7

Die Entfernung der Standortvariante 7 zum konventionellen Klärwerksteil beträgt rund 1.150 m. Bei keiner anderen Variante ist die Entfernung größer. Entsprechend ergeben sich hohe Investitionskosten für den Rohrleitungsbau. Insgesamt werden die Nettoherstellkosten auf rd. 3.246.000 € abgeschätzt.

Tabelle 2.8: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten an Standort 7

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	1.150 m	1.500 €/m	1.725.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufkohle DN 100	1.150 m	100 €/m	115.000 €	RB
Rohrleitung Rückspülwasser DN 300	1.150 m	300 €/m	345.000 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	140 m	1.500 €/m	210.000 €	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	14.190 m ³	60 €/m ³	851.400 €	RB
Nettoherstellkosten			3.246.400 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			714.000 €	
Nettoinvestitionen			3.960.400 €	
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			752.476 €	
standortspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			4.713.000 €	

RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau
BT: sonstige Bautechnik

MT: Maschinentechnik
ELT: Elektro- und Leittechnik

Wegen der günstigen topografischen Verhältnisse ist trotz der großen Entfernung zum Klärwerk kein zusätzliches Pumpwerk erforderlich. Bei der Rückführung des Spülwassers und des Aktivkohleüberschussschlamms wirkt sich dieses aber gegenteilig aus. Da der Standort tief liegt, muss bei der Rückförderung eine größere Förderhöhe überwunden werden.

Die gesamten standortspezifischen Bruttoinvestitionskosten für den Standort 7 betragen entsprechend rund 4,7 Mio. €.

2.9 Standort 11

Die Standortvariante 11 liegt direkt am Klärwerksgelände, sodass die Nettoherstellkosten bzgl. der Rohrleitungen mit rd. 1.080.000 € gering ausfallen. Allerdings stehen dem die sehr hohen standortspezifischen Kosten für das zusätzliche Pumpwerk und die Bohrpfahlwand gegenüber. Die Nettoherstellkosten für die Pumpwerk werden aus dem Gutachten der TU Darmstadt übernommen und betragen 2.680.000 €, die Kosten für die Bohrpfahlwand werden auf ca. 5.900.000 € abgeschätzt.

Die Kosten für einen möglicherweise notwendigen Bodenaustausch können in diesem Planungsstadium noch nicht abgeschätzt werden, da aus dem vorliegenden Bodengutachten keine genauen Informationen zur Mächtigkeit und Zusammensetzung des nicht tragfähigen Untergrunds gegeben werden. Daher werden nur die Kosten für den Bodenabtrag berücksichtigt, die jedoch schon alleine aufgrund des großen Erdabtrages rund 2,45 Mio. € ausmachen. Zusätzlich werden die Kosten für die Umverlegung der durch den Standort verlaufenden 110 kV Hochspannungsleitung (erdverlegt) mit rund 1 Mio. € (inklusive Sonderabschreibung für derzeitige Leitung) berücksichtigt.

Tabelle 2.9: Schätzung der standortspezifischen Investitionskosten an Standort 11

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Rohrleitung (Zulauf) DN 1.500	150 m	1.500 €/m	225.000 €	RB
Rohrleitung Rücklaufkohle DN 100	150 m	100 €/m	15.000 €	RB
Rohrleitung Rückspülwasser DN 250	150 m	200 €/m	37.500 €	RB
Rohrleitung (Abschlag) DN 1.500	20 m	1.500 €/m	30.000 €	RB
zusätzliche Rohrleitung zwischen Absetzbecken und Filtration	400 m	1.000 €/m	400.000 €	RB
Rohrgraben inkl. Verbau und Geländeherstellung	3.500 m ³	60 €/m ³	211.000 €	RB
Bodenabtrag Standortabsenkung	70.000 m ³	35 €/m ³	2.450.000 €	BT
Umverlegung 110 kV-Leitung	1 Stck.	1.000.000 €/ Stck.	1.000.000 €	BT
Rückbau der Mikrosiebung	6.600 m ³	40 €/m ³	264.000 €	BT
Bohrpfahlwand	6.700 m ²	880 €/m ²	5.900.000 €	BT
zusätzliches Pumpwerk	1 Stck.	1.600.000 €/ Stck.	1.600.000 €	BT
zusätzliches Pumpwerk	1 Stck.	1.000.000 €/ Stck.	1.000.000 €	MT
zusätzliches Pumpwerk	1 Stck.	80.000 €/ Stck.	80.000 €	ELT

Beschreibung	Anzahl	EP	GP	Zuordnung
Nettoherstellkosten			13.377.700 €	
Baunebenkosten (ca. 22 % der Nettoherstellkosten)			2.943.000 €	
Nettoinvestitionen			16.320.700 €	
Mehrwertsteuer (19 % der Nettoinvestitionen)			3.100.933 €	
standortspezifische Bruttoinvestitionen (gerundet)			19.421.500 €	

RB: Bautechnik für Rohrleitungsbau

MT: Maschinentechnik

BT: sonstige Bautechnik

ELT: Elektro- und Leittechnik

Die gesamten standortspezifischen Bruttoinvestitionskosten für den Standort 11 betragen entsprechend rund 19,4 Mio. €.

3 Standortspezifische Betriebskosten

Zur Ermittlung der Kosten, die durch den Betrieb der Druckleitungen zur Rückführung des Aktivkohleschlammes sowie des Rückspülwassers entstehen, wurde für jeden Standort die zu überwindende Verlusthöhe im Rahmen einer hydraulischen Berechnung ermittelt (vgl. Anlage 1).

Der spezifische Stromverbrauch pro Kubikmeter gefördertem Abwasser und Förderhöhe wurde dem DWA „Leitfaden - Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen“ (Baumann et al. 2008) entnommen. Die Stromkosten dieser Berechnung wurden mit 0,25 €/kWh angenommen.

3.1 Ursprungsvariante

Durch den direkten Anschluss des Standorts an das bestehende Klärwerksgelände, wird für die Anfahrt vom Betriebsgebäude lediglich eine Minute Fußweg pro Strecke angesetzt. Da keine fremden Grundstücke oder Straßen gekreuzt werden müssen, sind keine Behinderungen zu erwarten.

Tabelle 3.1: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für den Ursprungsstandort

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Personal- kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Fußläufig Auto	1 0	730 0	60,00 35,00	700 0
	Förderhöhe [m]	Fördervolumen [m³/a]	Stromverbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	9	67.000	2.700	0,25	700
Spülwasserförderung	11	1.289.000	66.400	0,25	16.600
					Σ 18.000

Die höchsten betrieblichen Kosten fallen für die Rückförderung des Aktivkohleschlammes und des Spülwassers der Flockungsfiltration an. Zwar ist die zu fördernde Strecke kurz und entsprechend auch die notwendige Förderhöhe verhältnismäßig gering, trotzdem entstehen bei

einem angesetzten spezifischen Stromverbrauch von 4,5 Wh/(m³*m) allein durch die Spülwasserförderung Jahreskosten von rd. 17.000 €/a. Die gesamten standortspezifischen Betriebskosten werden auf 18.000 €/a geschätzt.

3.2 Standort 0

Wegen der Nähe zum vorhandenen Klärwerksgelände sind die standortspezifischen Betriebskosten des Standorts 0 genau wie für die Ursprungsvariante (vgl. Kapitel 3.1) gering. Die jährlichen Betriebskosten werden auf 12.600 €/a geschätzt.

Tabelle 3.2: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für den Standort 0

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Personal- kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Fußläufig Auto	1 0	730 0	60,00 35,00	700 0
	Förderhöhe [m]	Fördervolumen [m ³ /a]	Strom- verbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	9	67.000	2.800	0,25	700
Spülwasserförderung	8	1.290.000	44.600	0,25	11.200
					Σ 12.600

3.3 Standort 1

Durch die Nähe des Standorts zum Kläranlagengebiet, kann das Erreichen des Standorts zu Fuß vorgesehen werden. Der Weg vom Klärwerksgelände zum Standort 1 wird mit rd. 5 Minuten Fußweg angenommen. Die vierte Reinigungsstufe muss täglich mindestens einmal begutachtet werden, um Probleme frühzeitig erkennen und bekämpfen zu können. Daraus ergeben sich pro Jahr Wegzeiten von rd. 60 Stunden.

Tabelle 3.3: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für Standort 1

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Personal- kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Fußläufig Auto	5 0	3.650 0	60,00 35,00	3.700 0
	Förderhöhe [m]	Fördervolumen [m³/a]	Strom- verbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	14	67.000	4.100	0,25	1.000
Spülwasserförderung	20	1.290.000	114.200	0,25	28.600
					Σ 33.200

Die Betriebskosten für den Pumpenbetrieb sind wegen der kurzen Leitungslänge relativ gering. Trotzdem machen sie den größten standortspezifischen Kostenpunkt des Betriebs aus. Die Förderhöhen betragen 14 m für den Aktivkohlerücklaufschlamm und 12 m für die Spülwasserförderung. Die gesamten standortspezifischen Betriebskosten betragen 33.200 €/a.

3.4 Standort 2

Auch der Standort 2 ist fußläufig vom Klärwerksgelände zu erreichen. Der daraus resultierende Kostenaufwand ist entsprechend gering. Deutlicher fällt die Spülwasserförderung ins Gewicht. Die jährlich rd. 1,3 Mio. m³ Abwasser müssen von der Sandfiltration zurück zum Belebungsbecken gefördert werden. Die Rohrleitung zur Spülwasserförderung ist mit einem Innendurchmesser von 250 mm ausgelegt. Daraus ergibt sich eine Förderhöhe von 17 m. Für den Rücklaufschlamm ergibt sich eine Förderhöhe von 12 m. Die große Förderhöhe entsteht aus der Restriktion, eine hohe Fließgeschwindigkeit zu erhalten, damit Ablagerungen in den Rohrleitungen vermieden werden können.

Tabelle 3.4: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für Standort 2

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Personal- kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Fußläufig Auto	6 0	4.380 0	60,00 35,00	4.400 0
	Förderhöhe [m]	Fördervolumen [m³/a]	Strom- verbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	12	67.000	3.500	0,25	900
Spülwasserförderung	17	1.290.000	96.800	0,25	24.200
					Σ 29.500

Die standortspezifischen Betriebskosten am Standort 2 betragen insgesamt rd. 30.000 €, wobei der größte Faktor der Spülwasserförderung zuzuordnen ist.

3.5 Standort 3

Wegen der Entfernung zum konventionellen Kläranlagenteil, wird zur Anfahrt zum Standort 3 ein Auto genutzt. Die stündlichen Kosten werden mit 35 €/h kalkuliert, sodass sich unter Einbeziehung dieser Kosten bereits Jahreskosten von rd. 12.000 €/a ergeben.

Tabelle 3.5: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für Standort 3

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Personal Auto	10 10	7.300 7.300	60,00 35,00	7.300 4.300
	Förderhöhe [m]	Fördervolumen [m³/a]	Strom- verbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	20	67.000	6.000	0,25	1.500
Spülwasserförderung	15	1.290.000	88.800	0,25	22.200
					Σ 35.300

Trotz der guten topografischen Gegebenheiten, wurde die Förderhöhe der Aktivkohlerücklaufschlamm-Förderung mit 20 m berechnet. Dieser hohe Wert ergibt sich durch die großen Reibungsverluste der DN 100 Leitung. Der kleine Querschnitt wurde gewählt, um die Schubspannungen in der Druckrohrleitung hoch zu halten und ein Absetzen von Kohleschlamm in der Leitung zu vermeiden.

Die gesamten standortspezifischen Betriebskosten betragen rd. 35.000 €/a.

3.6 Standort 5

Die An- und Abfahrtszeiten werden auf 11 Minuten pro Tag und Strecke geschätzt, womit längere Fahrzeiten auf Grund der Verkehrssituation in Stoßzeiten einbezogen werden. Unter Berücksichtigung der Personal- und Fahrzeugkosten ergeben sich Fahrtkosten von rd. 13.000 €/a für die An- und Abfahrt zum Standort 5.

Den größten Teil der Betriebskosten macht, wegen der Entfernung zum vorhandenen Klärwerksgelände, mit 23.700 €/a die Spülwasserförderung aus. Da allerdings keine zusätzlichen standortspezifischen Kosten anfallen, sind die Gesamtbetriebskosten mit 38.100 €/a als relativ günstig zu bewerten.

Tabelle 3.6: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für Standort 5

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Personal Auto	11 11	8.000 8.000	60,00 35,00	8.000 4.700
	Förderhöhe [m]	Fördervolumen [m³/a]	Strom- verbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	23	67.000	6.800	0,25	1.700
Spülwasserförderung	16	1.290.000	94.800	0,25	23.700
					Σ 38.100

3.7 Standort 6

Bzgl. der Betriebskosten macht sich für Standort 6 in erster Linie das zusätzliche Pumpwerk bemerkbar. Wegen der großen Menge geförderten Abwassers ergeben sich Jahreskosten von 89.000 €/a. Die Kosten für die Förderung des Aktivkohlerücklaufschlammes sowie des Rückspülwassers werden durch die großen Förderhöhen geprägt. Die Kosten für Personal und das Auto haben nur einen geringen Anteil an den Betriebskosten von insgesamt 114.200 €/a.

Tabelle 3.7: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für Standort 6

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Personal Auto	10 10	7.300 7.300	60,00 35,00	7.300 4.300
	Förderhöhe [m]	Förder- volumen [m³/a]	Strom- verbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	11	67.000	3.200	0,25	800
Spülwasserförderung	9	1.290.000	51.500	0,25	12.900
Zusätzliches Pumpwerk	4	19.894.000	358.100	0,25	89.000
					Σ 114.200

3.8 Standort 7

Die Kosten für die Anfahrt zum Standort 7 machen mit 14.000 €/a nur einen geringen Teil der gesamten standortspezifischen Betriebskosten aus. Deutlicher fallen die Kosten zur Förderung des Rückspülwassers sowie des Rücklaufkohleschlammes mit zusammen rd. 32.000 €/a ins Gewicht. Die standortspezifischen Gesamtbetriebskosten betragen 47.600 €/a.

Tabelle 3.8: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für Standort 7

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Personal Auto	12 12	8.760 8.760	60,00 35,00	8.800 5.100
	Förderhöhe [m]	Förder- volumen [m³/a]	Stromverbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	23	67.000	7.000	0,25	1.800
Spülwasserförderung	22	1.290.000	128.000	0,25	32.000
					Σ 47.600

3.9 Standort 11

Wegen der sehr günstigen Lage fallen nur sehr geringe Personalkosten für den Weg zum Standort 11 an. Um das dazu notwendige Höhenniveau im Zulauf erreichen zu können, muss ein Zulaufpumpwerk betrieben werden. Die Gesamtbetriebskosten belaufen sich auf 101.800 €/a.

Tabelle 3.9: Schätzung der standortspezifischen Betriebskosten für Standort 11

	Erreichbarkeit [-]	Zeit- beanspruchung [min/Weg]	Jahresdauer [min]	Kosten [€/h]	Jahres- kosten [€/a]
Anfahrt zum Standort	Personal Auto	1 0	730 0	60,00 35,00	700 0
	Förderhöhe [m]	Fördervolumen [m³/a]	Strom- verbrauch [kWh/a]	Einheits- preis [€/kWh]	Jahres- kosten [€/a]
Aktivkohle- Rücklaufschlamm- Förderung	3	67.000	900	0,25	200
Spülwasserförderung	8	1.290.000	46.000	0,25	11.900
Zusätzliches Pumpwerk	4	19.894.000	356.000	0,25	89.000
					Σ 101.800



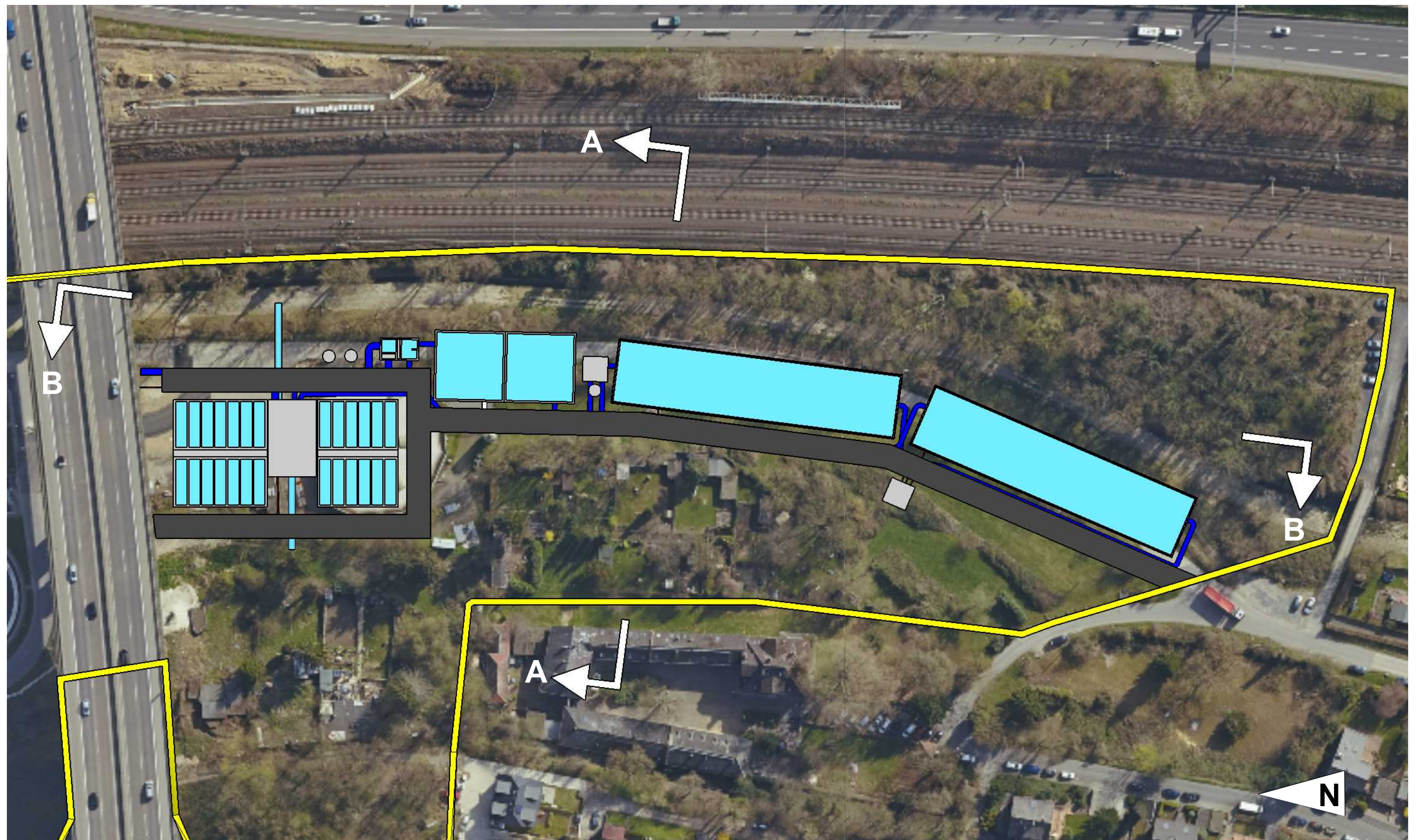
**- Studie zum Hauptklärwerk Wiesbaden –
Technisch/wirtschaftliche Voruntersuchung von
Standortvarianten für eine vierte Reinigungsstufe -**

A N L A G E 3

Zeichnerische Darstellung der Standortvarianten

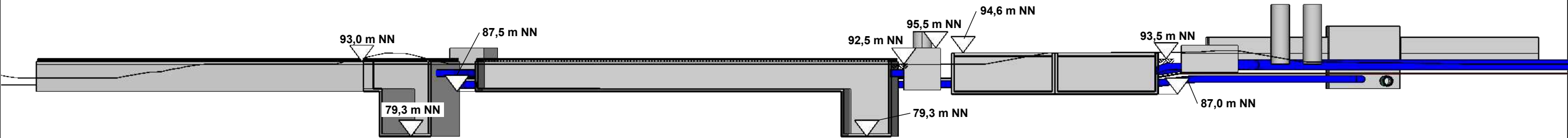
Planliste

Standortvariante 0:	Lageplan
Standortvariante 0:	Querschnitt, Längsschnitt
Standortvariante 1:	Lageplan
Standortvariante 1:	Querschnitt, Längsschnitt
Standortvariante 2:	Lageplan
Standortvariante 2:	Querschnitt, Längsschnitt
Standortvariante 3:	Lageplan
Standortvariante 3:	Querschnitt, Längsschnitt
Standortvariante 5:	Lageplan
Standortvariante 5:	Querschnitt, Längsschnitt
Standortvariante 6:	Lageplan
Standortvariante 6:	Querschnitt, Längsschnitt
Standortvariante 7:	Lageplan
Standortvariante 7:	Querschnitt, Längsschnitt
Standortvariante 11:	Lageplan
Standortvariante 11:	Querschnitt, Längsschnitt

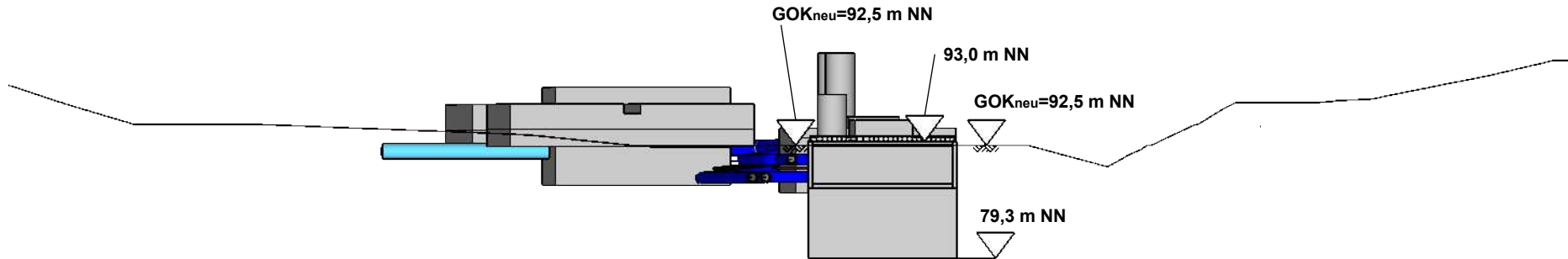


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

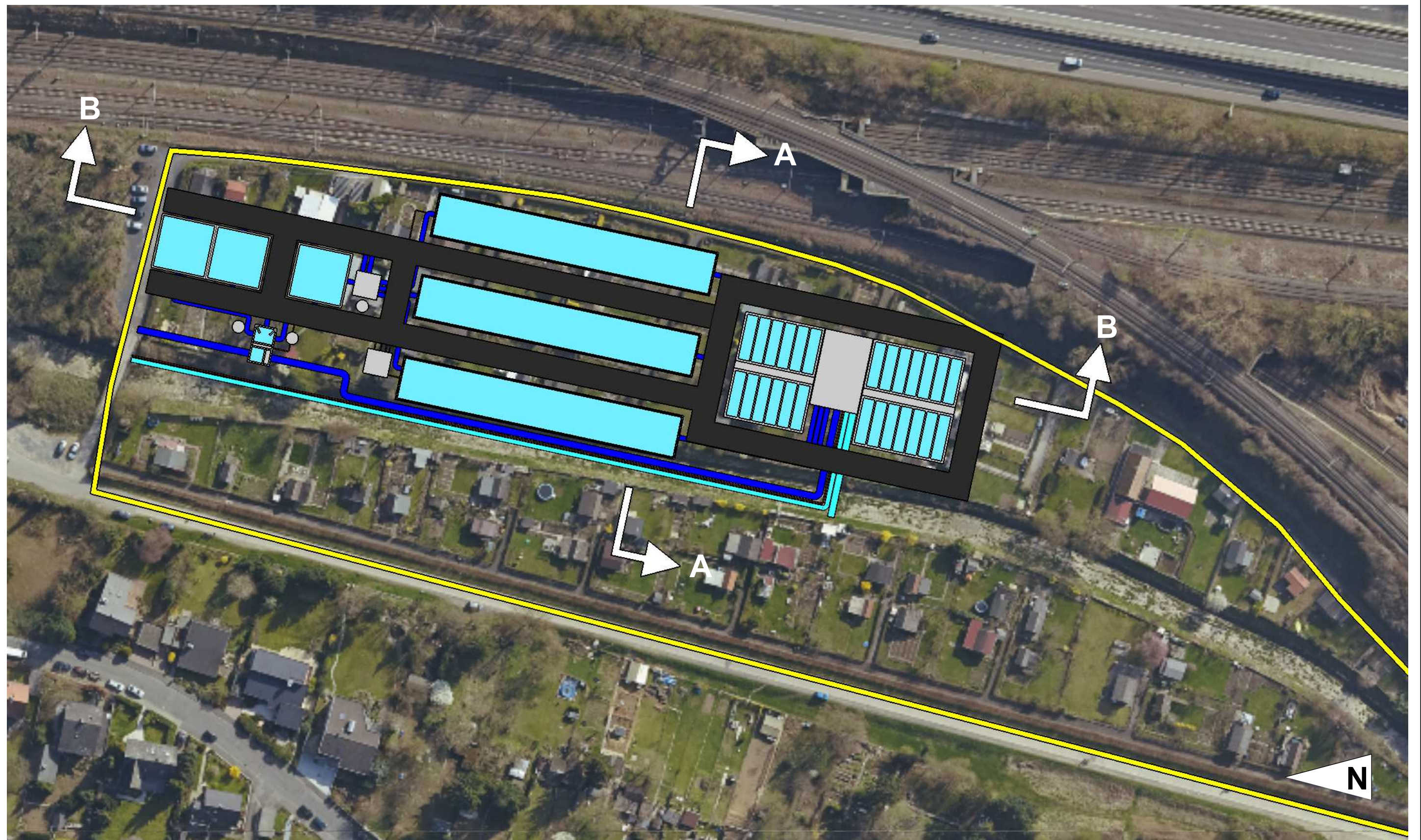
Schnitt A - A



Schnitt B - B

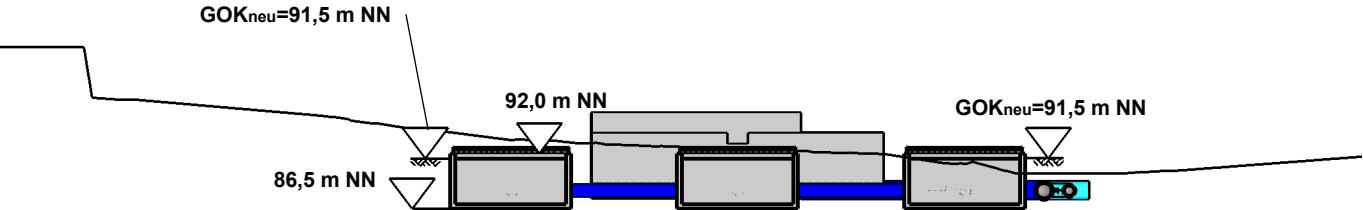
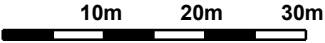


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

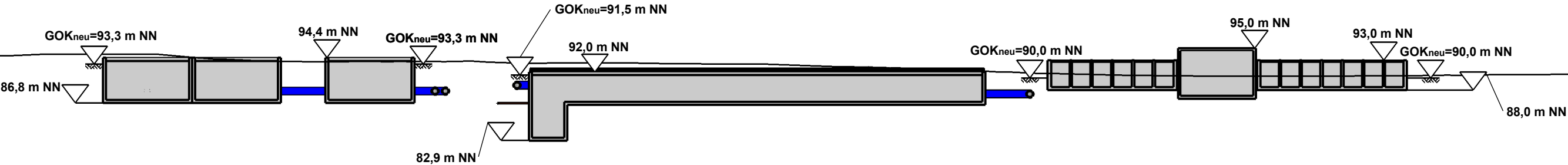


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

Schnitt A - A



Schnitt B - B

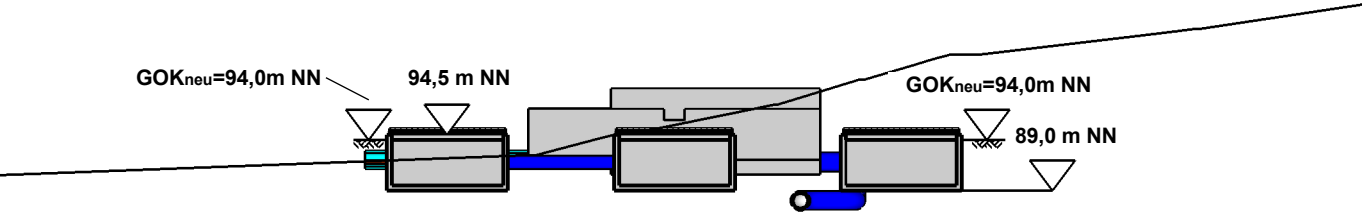


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

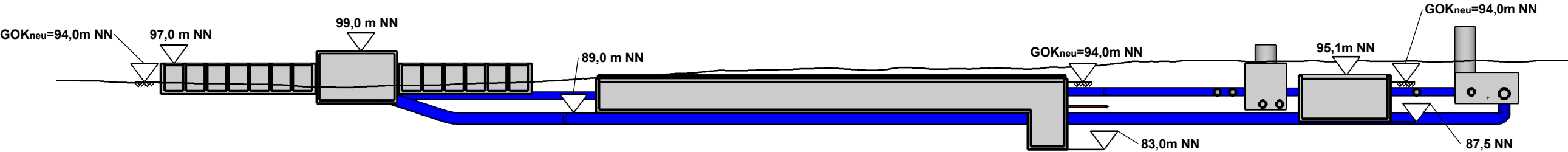


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

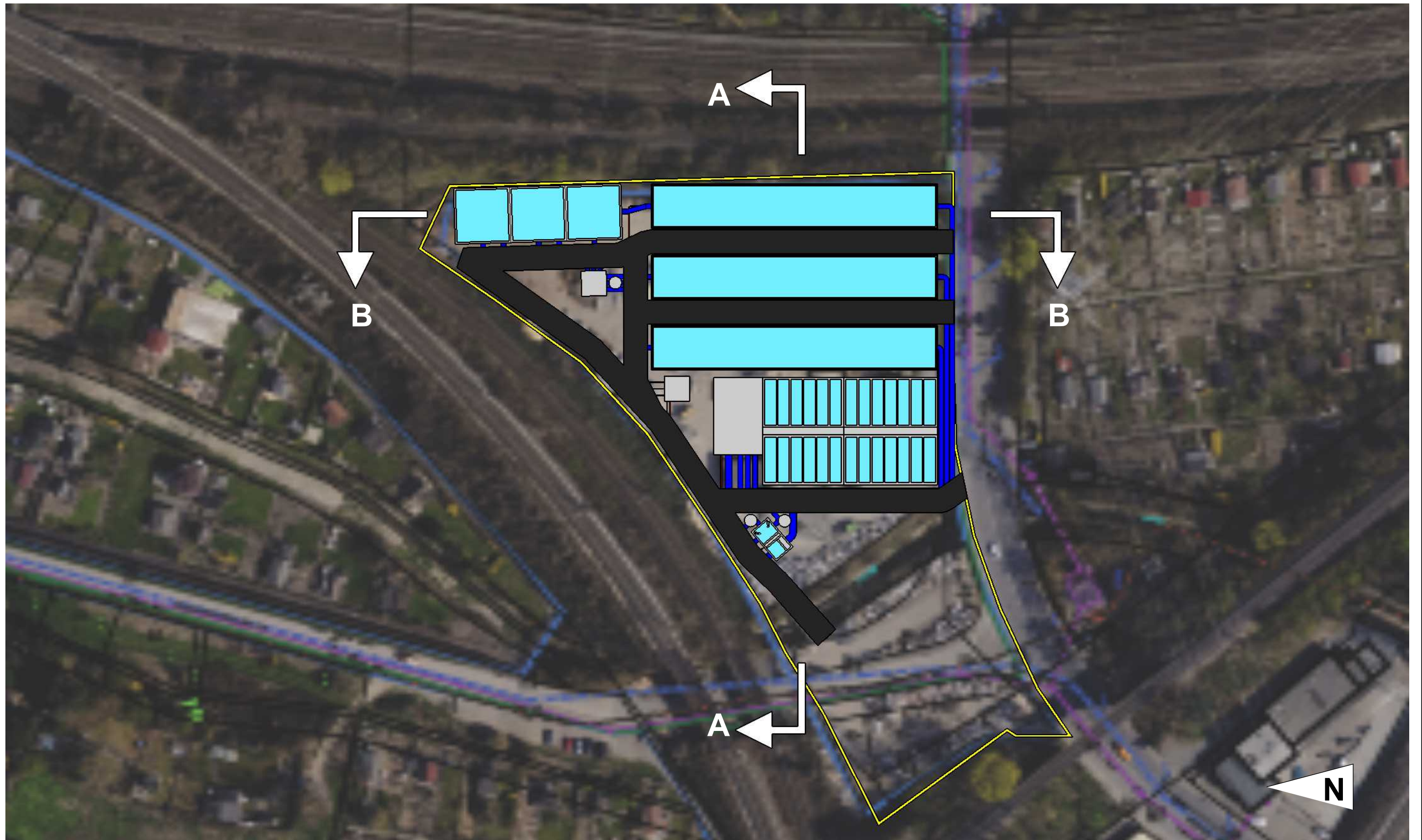
Schnitt A - A



Schnitt B - B



Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

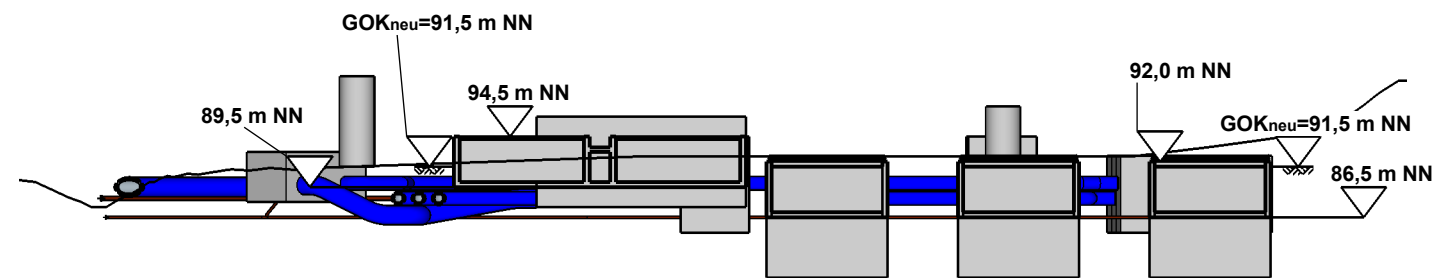


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

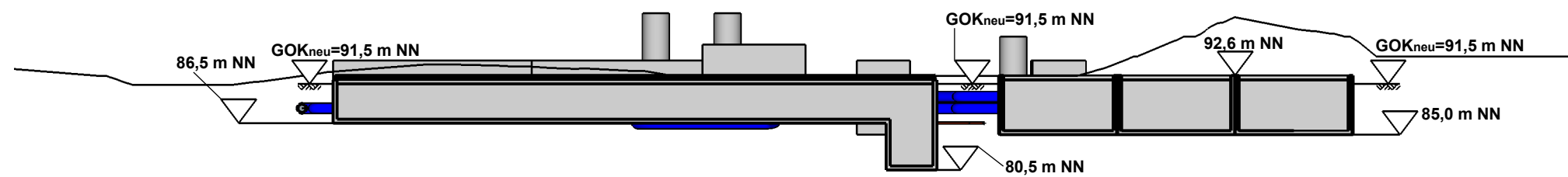
**Standortvariante 3
Lageplan**

Maßstab 1:1000

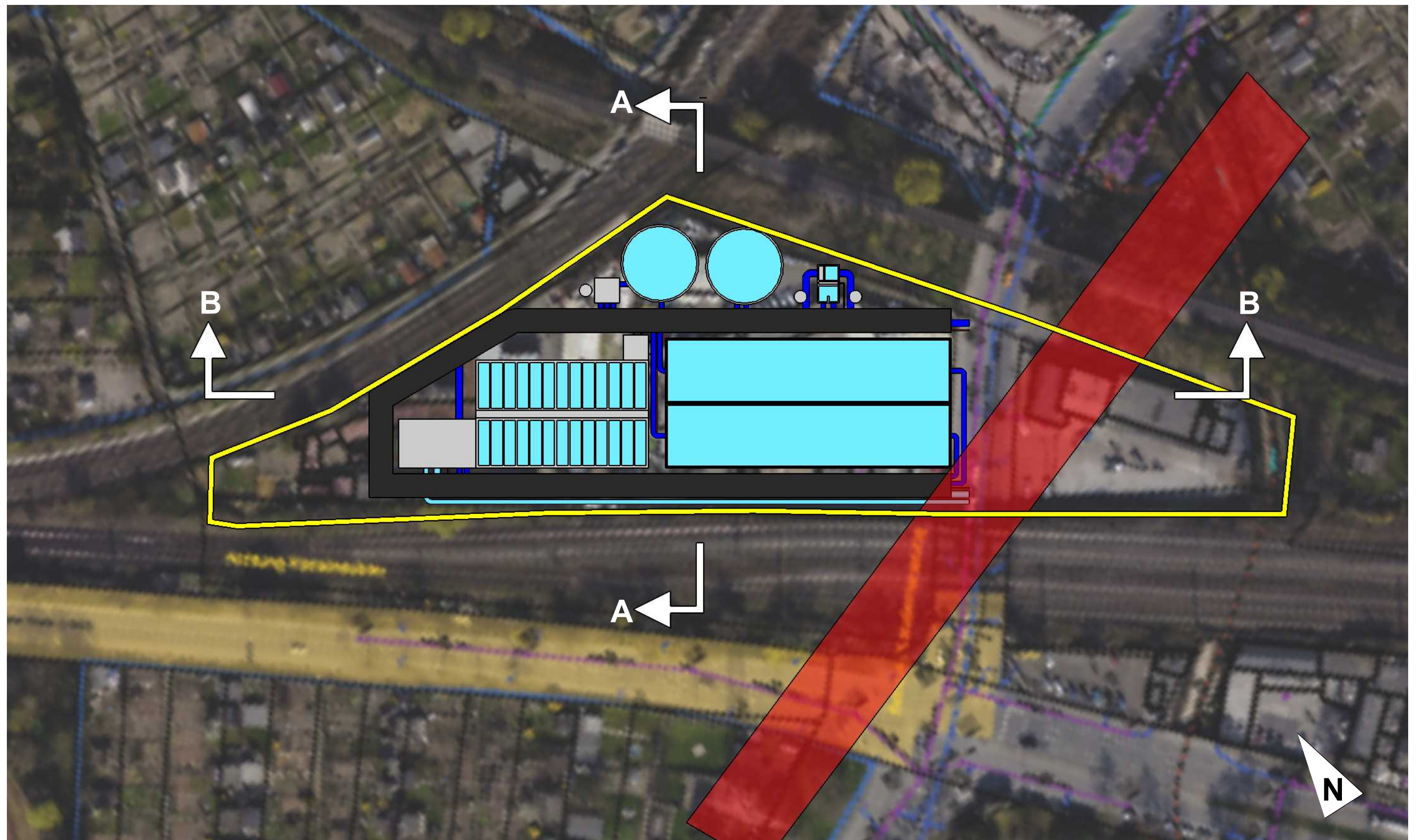
Schnitt A - A



Schnitt B - B



Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

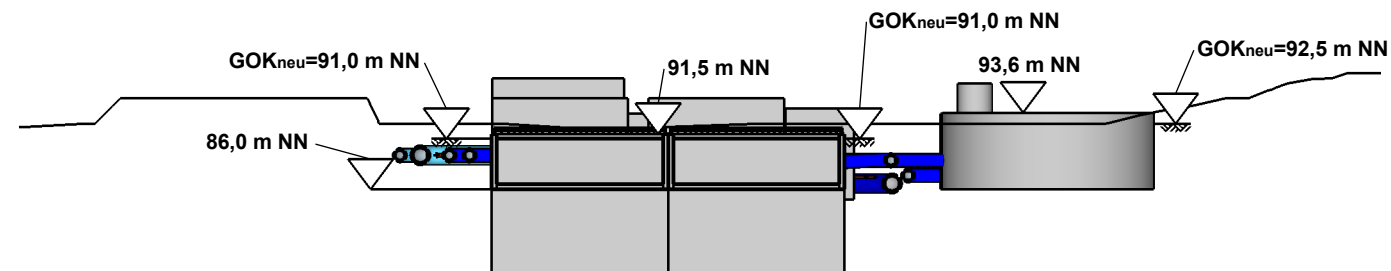
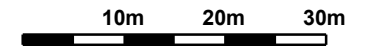


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

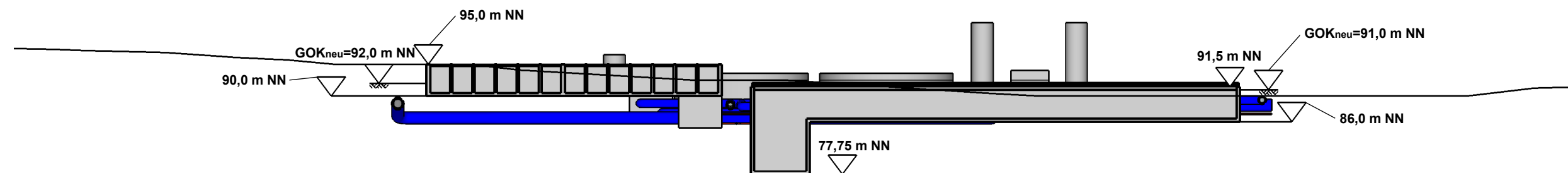
Standortvariante 5
Lageplan

Maßstab 1:1000

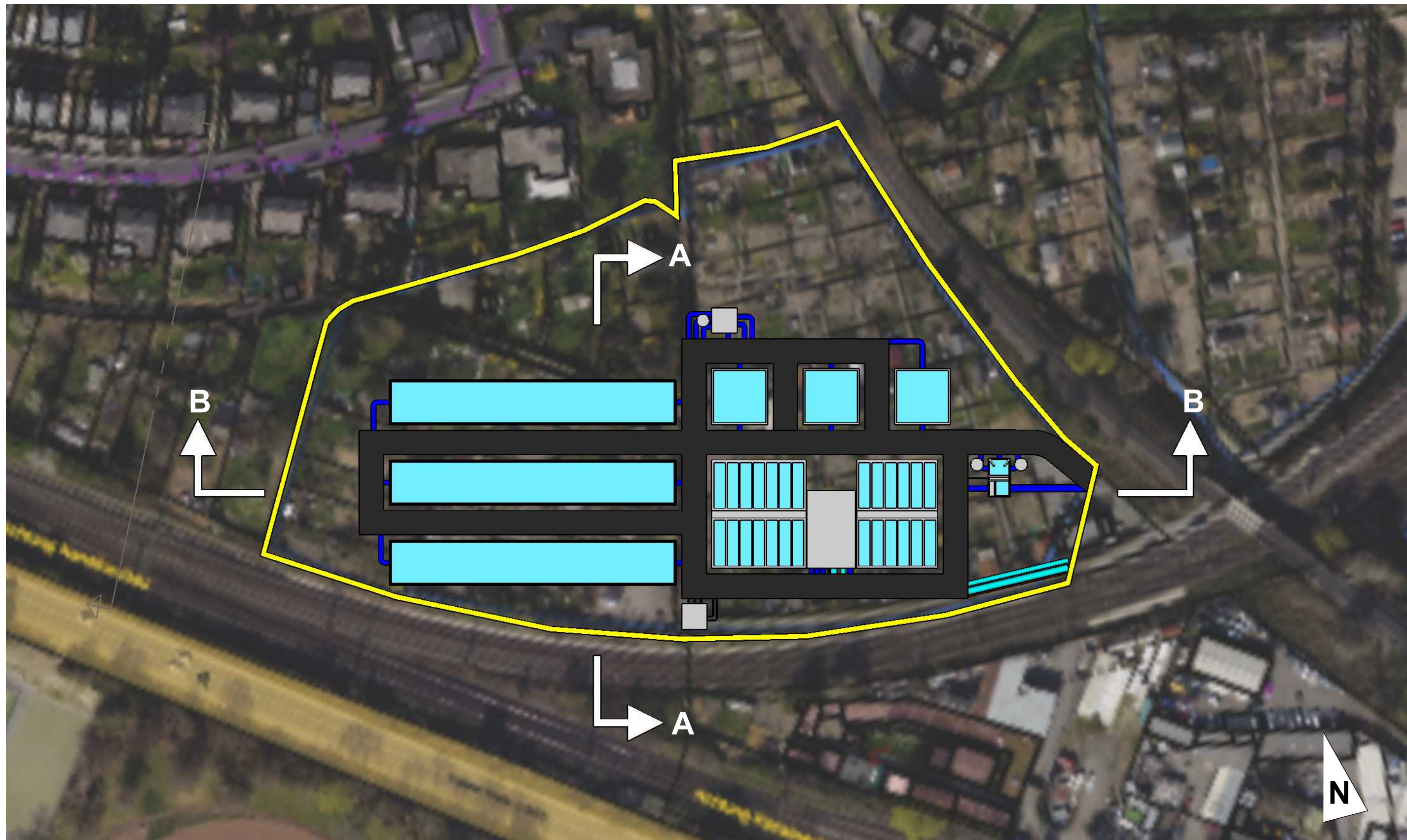
Schnitt A - A



Schnitt B - B

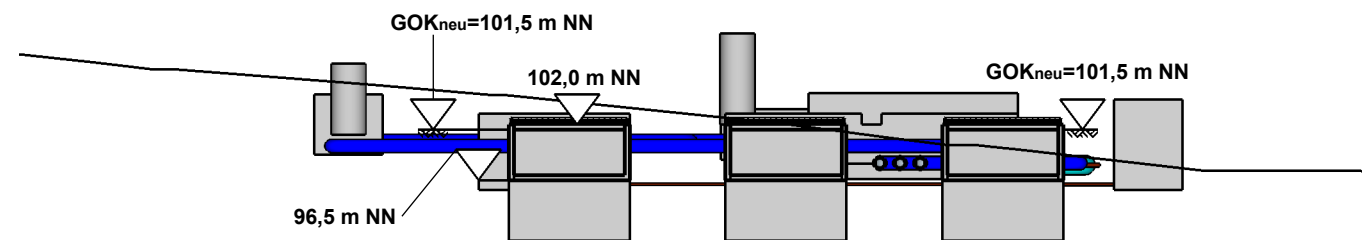
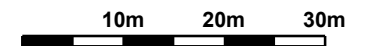


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

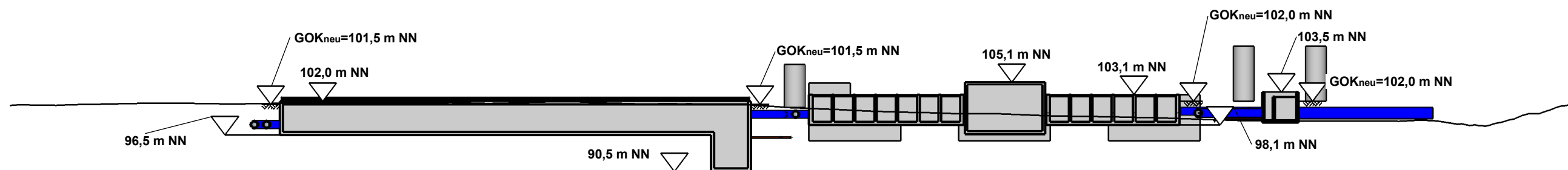


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

Schnitt A - A



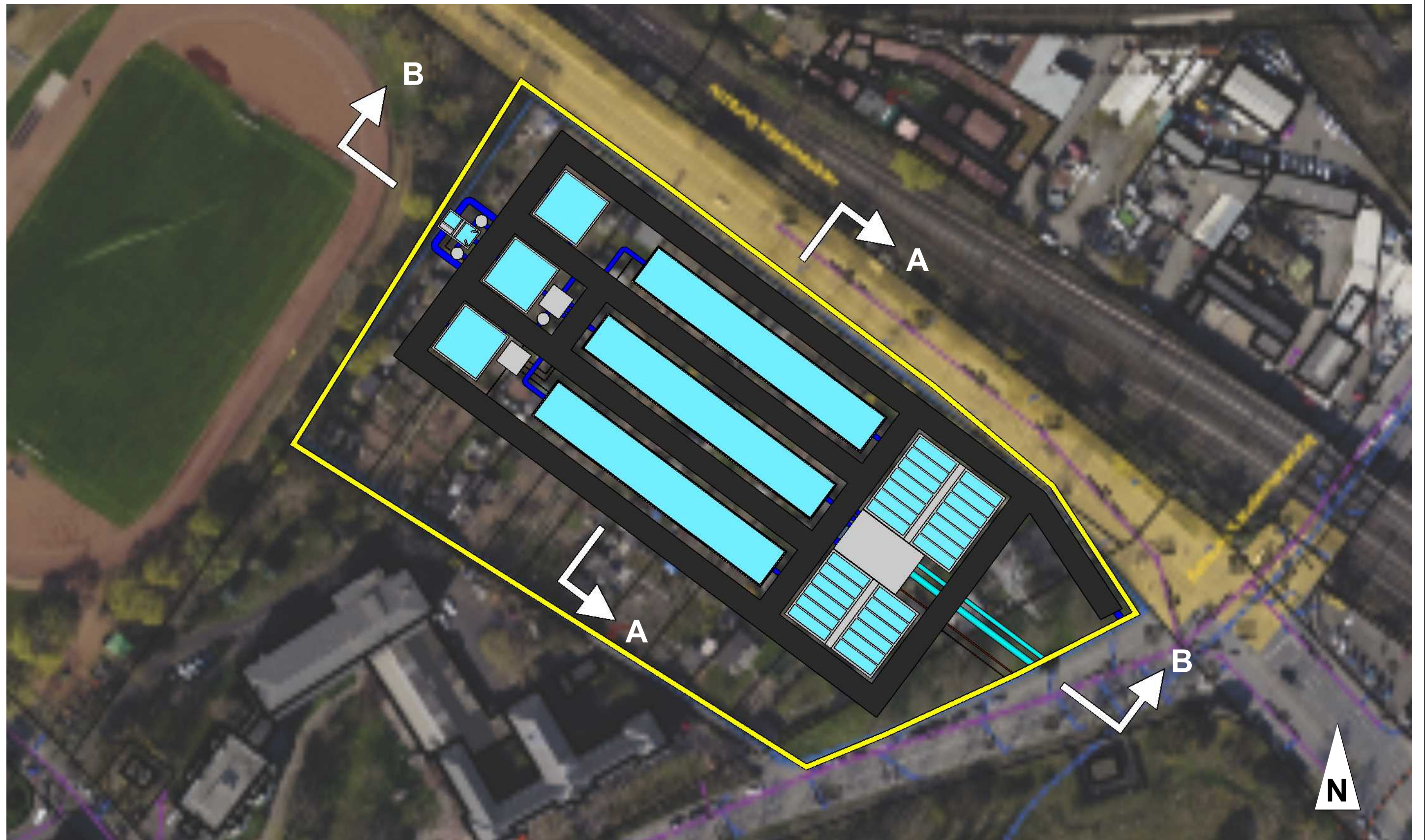
Schnitt B - B



Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

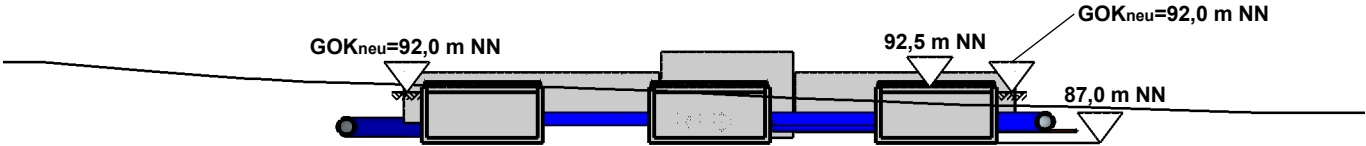
Standortvariante 6
Querschnitt, Längsschnitt

Maßstab 1:750

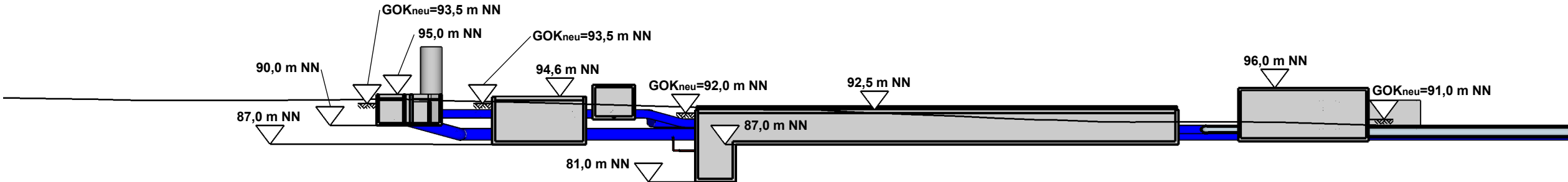


Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

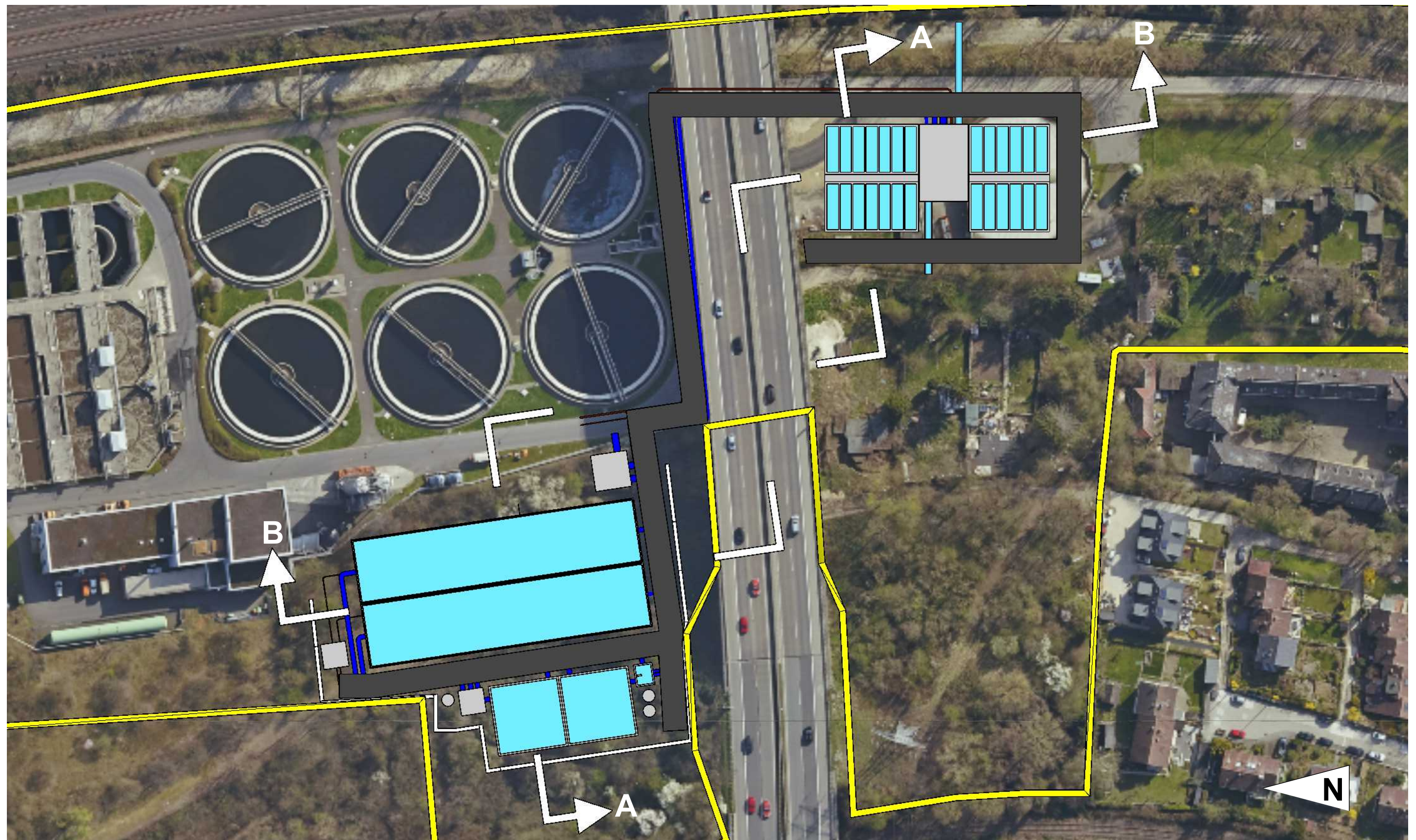
Schnitt A - A



Schnitt B - B



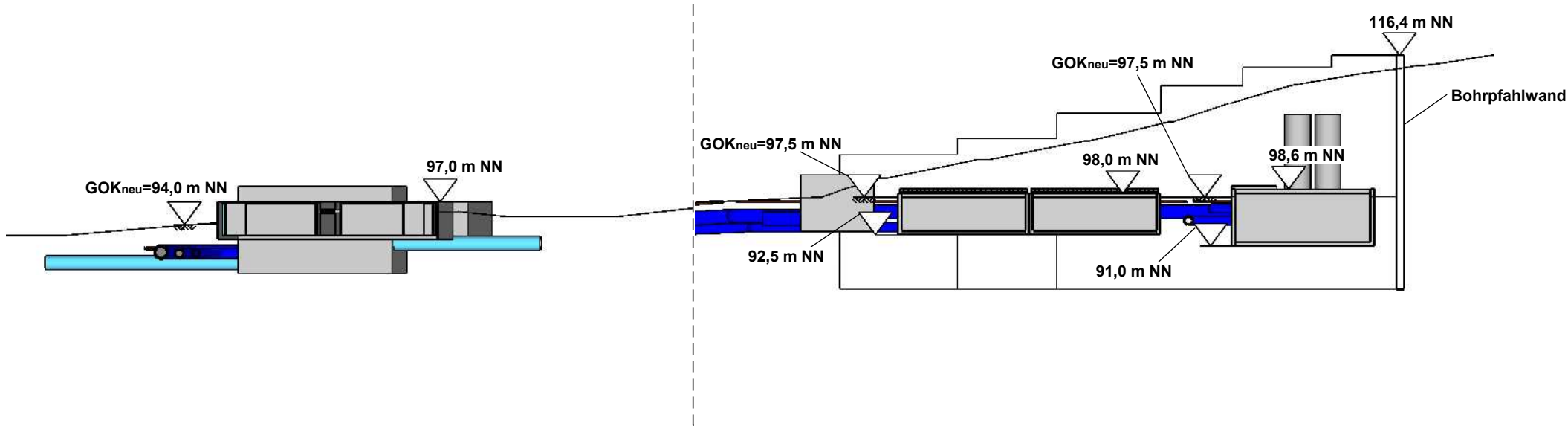
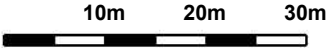
Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden



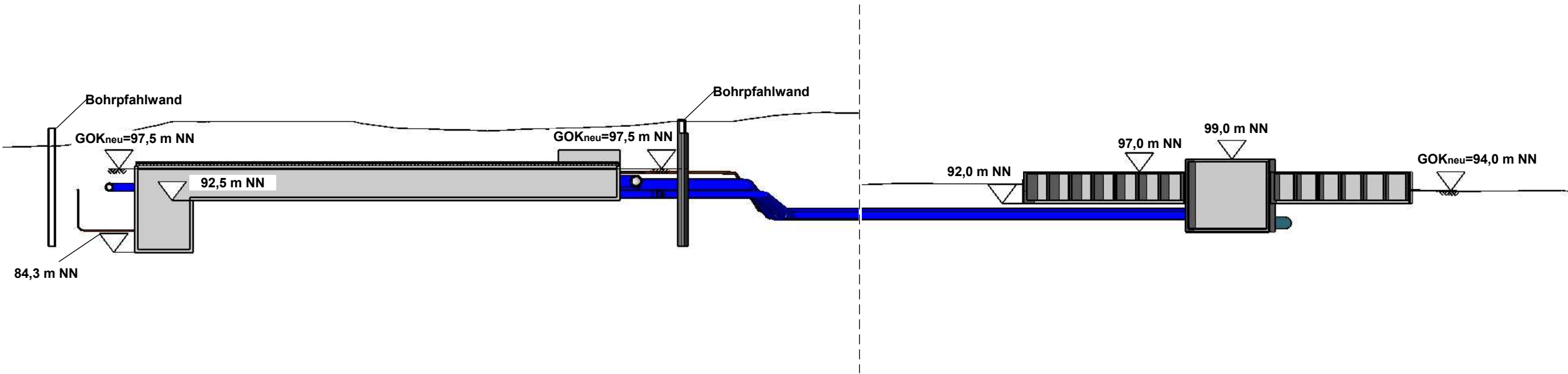
Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden

Standortvariante 11
Lageplan

Schnitt A - A



Schnitt B - B



Standortvarianten vierte Reinigungsstufe HKW Wiesbaden