



AbwasserVerband
Weißach- und Oberes Saalbachtal

Ertüchtigung und Erweiterung der Kläranlage Heidelberg

Biologie und Mechanische Reinigungsstufe

**Nachweis des Umbauzustands
mittels Dynamischer Simulation**

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | NACHWEIS DES UMBAUZUSTANDS MITTELS DYNAMISCHER SIMULATION | 1 |
| 1.1 | Kalibrierzustand | 1 |
| 1.2 | Umbauzustand | 5 |
| 1.2.1 | Simulierte Ablaufkonzentrationen bezüglich $\text{NH}_4\text{-N}$ | 7 |
| 1.2.2 | Simulierte Ablaufkonzentrationen bezüglich $\text{N}_{\text{ges,anorg}}$ | 8 |
| 1.2.3 | Simulierte Ablaufkonzentrationen bezüglich CSB | 9 |
| 1.3 | Zusammenfassung | 11 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | | |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1: | Simulierte Ammonium-Ablaufkonzentrationen (SNH) im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben über das Jahr 2019 | 3 |
| Abbildung 2: | Simulierte Nitrat-Ablaufkonzentrationen (SNO) im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben über das Jahr 2019 | 4 |
| Abbildung 3: | Simulierte CSB-Ablaufkonzentrationen im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben über das Jahr 2019 | 4 |
| Abbildung 4: | Schematischer Aufbau der Kaskade im Umbauzustand der KA Heidelberg | 6 |
| Abbildung 5: | Für den Umbauzustand simulierte Ammonium-Ablaufkonzentrationen (15-Minuten-Werte und Tagesmittelwerte) | 7 |
| Abbildung 6: | Für den Umbauzustand simulierte Ammonium-Ablaufkonzentrationen (Tagesmittelwerte) | 8 |
| Abbildung 7: | Für den Umbauzustand simulierte $N_{\text{ges,anorg}}$ Ablaufkonzentrationen (15-Minuten-Werte und Tagesmittelwerte) | 8 |
| Abbildung 8: | Für den Umbauzustand simulierte $N_{\text{ges,anorg}}$ -Ablaufkonzentrationen (Tagesmittelwerte) | 9 |
| Abbildung 9: | Für den Umbauzustand simulierte CSB-Ablaufkonzentrationen (15-Minuten-Werte und Tagesmittelwerte) | 10 |
| Abbildung 10: | Aufteilung der CSB-Ablaufkonzentration in dessen gelösten, inerten und dessen partikulären Anteil | 10 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabelle 1: | Überblick über die Rezirkulations- und die Rücklaufschlammsteuerung im Modell vergleichen mit den Angaben aus dem PLS | 2 |
| Tabelle 2: | Überblick über die Rezirkulations- und die Rücklaufschlammsteuerung im Umbauzustand | 6 |
| Tabelle 3: | Im Umbauzustand anhand des Modells erreichbare Überwachungswerte | 11 |

1 NACHWEIS DES UMBAUZUSTANDS MITTELS DYNAMISCHER SIMULATION

Für die Dynamische Simulation des Umbauzustands der Kläranlage Heidelberg wurde zunächst ein Modell des Ist-Zustands aufgebaut, anhand dessen die einzelnen Verfahrensstufen kalibriert wurden. Das Modell des Ist-Zustands als auch das Modell für den Umbauzustand wurden mittels der Simulationssoftware SIMBA[#] in der Version 4.3.4 entwickelt. Hiermit konnten die einzelnen Verfahrensstufen sowie deren Steuer- und Regelungseinheiten und maschinentechnische Komponenten wie z.B. der Lufteintrag in die Belebung abgebildet werden.

Im Folgenden werden zunächst die Einstellungen und Ergebnisse des Kalibrierzustands erläutert. Danach wird auf die verfahrenstechnische Umsetzung des Umbauzustands eingegangen.

1.1 Kalibrierzustand

Der Referenzzeitraum für die Modellkalibrierung war das Jahr 2019. Die dynamische Zulaufbelastung für den *Zulauf original* wurde anhand kontinuierlicher Zulaufmengenmessungen (Stundenwerte) und mittlerer Zulaufkonzentrationen an Trockenwettertagen erzeugt. Hierfür wurde der HSG-Ansatz (TG_caseC) verwendet. Für den *Zufluss Durst* und das *Prozesswasser* wurden typische Tagesgänge entwickelt, die sich zyklisch im Modell wiederholen. Die CSB-Fraktionierungen der einzelnen Zuläufe im Modell entsprechen den im Messprogramm erhobenen Daten.

Das Modell des Kalibrierzustands umfasst die folgenden Verfahrensstufen der bestehenden Anlage:

- Vorklärung (1.244 m³)
- Belebungsstraße 1 ($V_D = 1.830 \text{ m}^3$; $V_{\text{fakultativ}} = 2 \times 1.205 \text{ m}^3$; $V_N = 2 \times 1.205 \text{ m}^3$)
- Belebungsstraße 2 ($V_D = 2 \times 706 \text{ m}^3$; $V_{\text{fakultativ}} = 2 \times 705 \text{ m}^3$; $V_N = 4 \times 705 \text{ m}^3$)
- Nachklärbecken 1 und 2 (2 \times 4.313 m³)
- Nachklärbecken 3 (5.364 m³)

Die Abscheideleistung der Vorklärung wurde anhand mittlerer Tagesfrachten an die im Rahmen des Messprogramms erhobenen Daten vor und nach der Vorklärung angepasst. Hierbei wurden die einzelnen CSB-Faktionen getrennt voneinander betrachtet.

Die fakultativ belüfteten Abschnitte der beiden Belebungsstraßen werden über Ammoniummessungen im Ablauf der jeweiligen Straße geregelt. Die

angefahrenen Sauerstoffgehalte in den fakultativen Becken und in den Nitrifikationsbecken wurden aus dem Prozessleitsystem übernommen. Zeitglieder und entsprechend angepasste Belüfterkenndaten bilden das Belüftungssystem der KA Heidelberg kleinteilig ab.

Über den automatisierten Überschussschlammabzug wird im Modell der TS-Gehalt der Belebung auf 4,0 g/l (Straße 1) bzw. 4,5 g/l (Straße 2) geregelt. Analog zum Anlagenbetrieb, wird die interne Rezirkulation und die Rücklaufschlammführung proportional zur Zulaufmengenmessung des *Zulaufs original* gesteuert. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Rezirkulations- und die Rücklaufschlammsteuerung im Modell verglichen mit den Angaben aus dem Prozessleitsystem (PLS).

Tabelle 1: Überblick über die Rezirkulations- und die Rücklaufschlammsteuerung im Modell verglichen mit den Angaben aus dem PLS

| | | Größe | Wert im PLS | Wert im Modell |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------|----------------|
| Rezirkulation | Biologie 1 | RZ bzgl. Zulauf original | 0,5 | 0,5 |
| | | Q_{\min} | 145 l/s | 200 l/s |
| | | Q_{\max} | 400 l/s | 400 l/s |
| | Biologie 2 | RZ bzgl. Zulauf original | 0,5 | 0,5 |
| | | Q_{\min} | 60 l/s | 200 l/s |
| | | Q_{\max} | 600 l/s | 600 l/s |
| Rücklaufschlamm | Biologie 1 & 2 | RV bzgl. Zulauf original | 0,5 | 0,5 |

Die Rezirkulationspumpen auf der KA Heidelberg werden über deren Pumpenkennlinien gesteuert. Anhand der Datenblätter und Kennlinien der Pumpen sind die minimalen Fördermengen laut PLS nicht realistisch. Auch die entsprechenden Angaben der Funktionsbeschreibungen weisen höhere minimale Fördermengen aus. Die tatsächlich geförderten Rezirkulationsmengen werden messtechnisch nicht erfasst. Im Rahmen der Kalibrierung wurde die Mindestfördermenge der Rezirkulationspumpen im Modell für Biologie 1 und 2 auf je 200 l/s erhöht.

Für die Abbildung der Leistungsfähigkeit der Nachklärung ist der Schlammvolumenindex (ISV) maßgebend. Da dieser im Jahr 2019 deutlichen Schwankungen unterlag, wurde für dessen Abbildung im Modell eine Datenreihe mit Messdaten (Tageswerte) hinterlegt.

Die simulierten Ganglinien der Ablaufkonzentrationen im Modell (15-Minuten-Werte in blau und Tagesmittelwerte in orange) wurden mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben aus dem Ablauf der KA Heidelberg im Jahr 2019 verglichen (rote Quadrate) und das Modell entsprechend kalibriert. Abbildung 1 zeigt die simulierten Ammonium-Ablaufkonzentrationen im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben über das Jahr 2019.

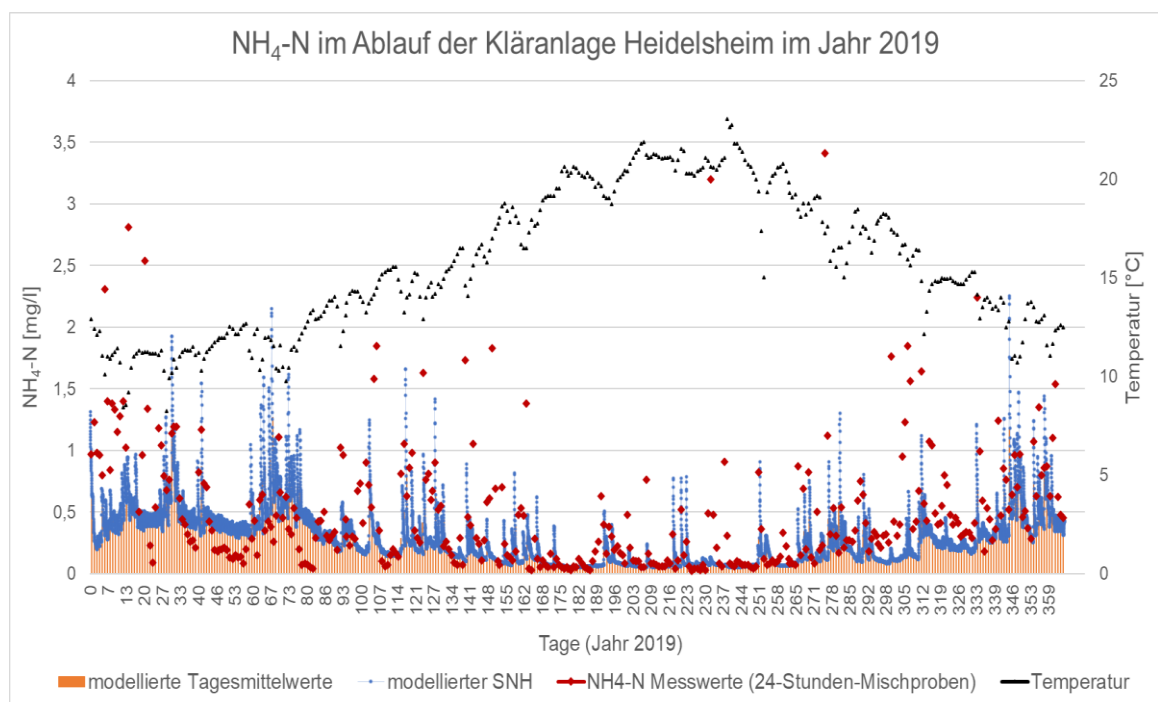


Abbildung 1: Simulierte Ammonium-Ablaufkonzentrationen (SNH) im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben über das Jahr 2019

Bezüglich der Ammonium-Ablaufkonzentrationen konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den tatsächlich gemessenen und den modellierten Werten erzielt werden.

Abbildung 2 zeigt die simulierten Nitrat-Ablaufkonzentrationen im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben im Ablauf der Anlage über das Jahr 2019.

Bezüglich der Nitrat-Ablaufkonzentrationen konnte durch die Erhöhung der Mindestfördermenge der Rezirkulationspumpen ebenfalls eine gute Übereinstimmung zwischen den tatsächlich gemessenen und den modellierten Werten erzielt werden.

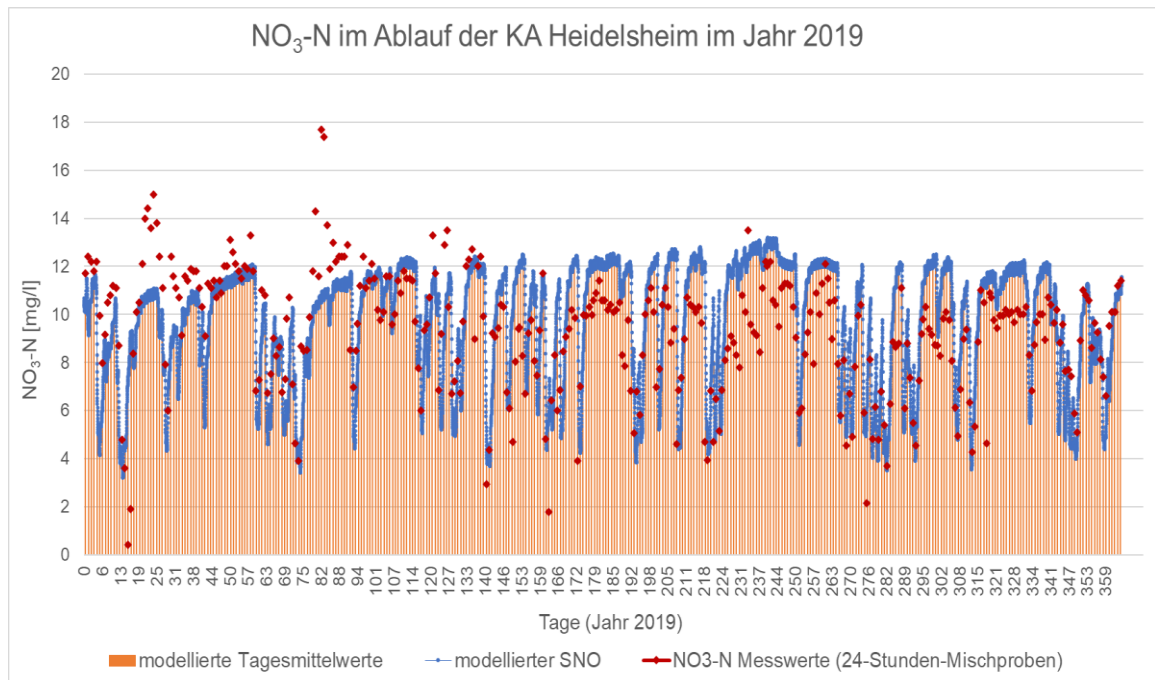


Abbildung 2: Simulierte Nitrat-Ablaufkonzentrationen (SNO) im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben über das Jahr 2019

Abbildung 3 zeigt die simulierten CSB-Ablaufkonzentrationen im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben im Ablauf der Anlage über das Jahr 2019.

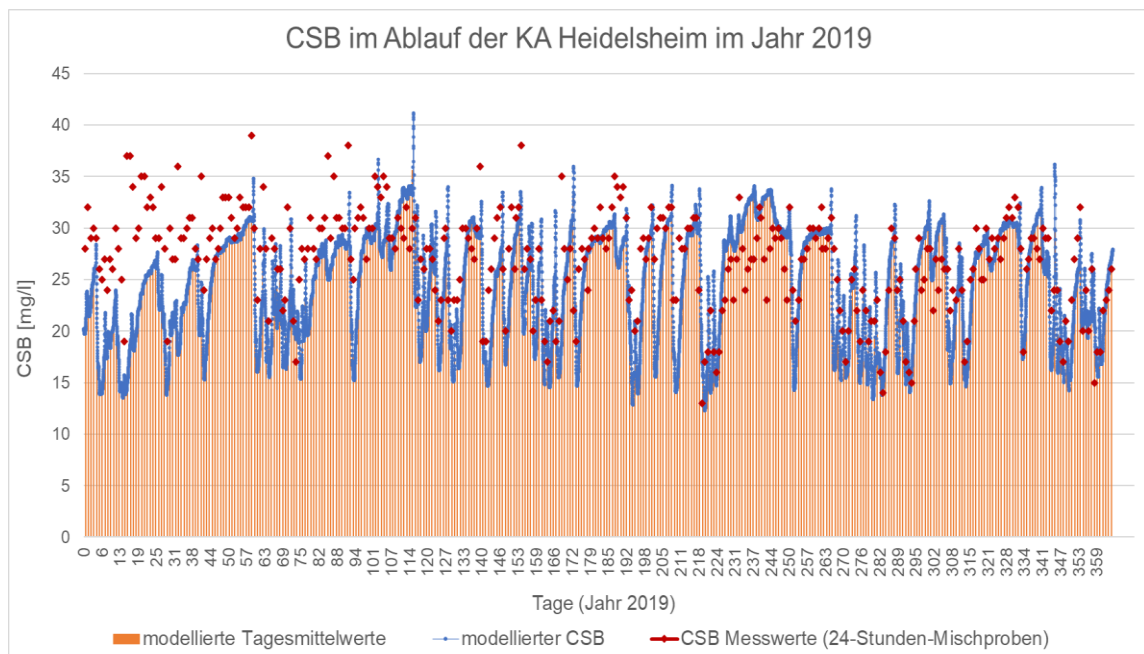


Abbildung 3: Simulierte CSB-Ablaufkonzentrationen im Vergleich mit den gemessenen 24-Stunden-Mischproben über das Jahr 2019

Auch bezüglich der CSB-Ablaufkonzentrationen konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den tatsächlich gemessenen und den modellierten Werten erzielt werden.

Das kalibrierte Modell weist für alle Parameter eine hohe Übereinstimmung mit den gemessenen Ablaufwerten des Jahres 2019 auf. Es dient als Grundlage für den Aufbau des Modells im Umbauzustand.

1.2 Umbauzustand

Die Zulaufganglinien des Prozesswassers und des Zulaufs Durst wurden aus dem Modell des Kalibrierzustands für den Umbauzustand übernommen. Der Zulauf original wurde für den Umbauzustand auf einen Q_M von 450 l/s begrenzt. Der Zulauf der Fa Durst Malz wird im Ablauf der Vorklärung zugeführt. Das während des Umbauzustands bereits anfallende PAK-haltige Spülwasser aus der Filtration wird im Modell als zusätzlicher Zulauf ebenfalls in den Ablauf der Vorklärung zugegeben. Ein typischer Tagesgang für die Spülwasserzugabe wird im Modell zyklisch wiederholt.

Die CSB-Fraktionierungen und die Einstellungen der Vorklärung wurden ebenfalls aus dem Modell des Kalibrierzustands übernommen.

Im Umbauzustand umfasst das Modell folgende Verfahrensstufen:

- Vorklärung (1.244 m³)
- Kaskade 1 ($V_{D,1} = 1.830 \text{ m}^3$; $V_{D,2} = 2 \times 706 \text{ m}^3$; $V_{N,2} = 2 \times 705 \text{ m}^3$)
- Kaskade 2 ($V_{D,2} = 705 \text{ m}^3$; $V_{\text{fakultativ},2} = 2 \times 705 \text{ m}^3$; $V_{N,2} = 705 \text{ m}^3$)
- Nachklärbecken 3 (5.364 m³)

Um zusätzliche Kapazitäten in der biologischen Reinigungsstufe zu schaffen, wurde für den Umbauzustand die verfahrenstechnische Umstellung der Anlage auf eine Zweierkaskade gewählt. Aufgrund der baulichen Aufteilung der im Umbauzustand zur Verfügung stehenden Beckenvolumina wurde anhand des Modells eine Aufteilung des Zulaufs von 70 % (Kaskade 1) zu 30 % (Kaskade 2) festgelegt.

Abbildung 4 zeigt den schematischen Aufbau der Zweierkaskade im Umbauzustand der KA Heidelberg. Das separate Denitrifikationsbecken aus Belebungsstraße 1 steht ebenso wie die gesamte Belebungsstraße 2 für den Umbauzustand zur Verfügung. In Kaskade 1 werden die zwei fakultativen Becken der Belebungsstraße 2 im Umbauzustand als reine Nitrifikationsbecken genutzt. Die vier

Nitrifikationsbecken der Belebungsstraße 2 bilden die zweite Kaskade mit einem Denitrifikationsbecken, zwei fakultativ belüfteten Becken und einem reinen Nitrifikationsbecken. Die fakultativ belüfteten Abschnitte der Kaskade 2 werden über die Ammoniummessung im Ablauf der Kaskade geregelt. Die Durchmischung des Denitrifikationsbeckens und der beiden fakultativen Becken in Kaskade 2 wird durch Impulsbelüftung realisiert, da diese Becken im Bestand über keine Durchmischungseinrichtung verfügen.

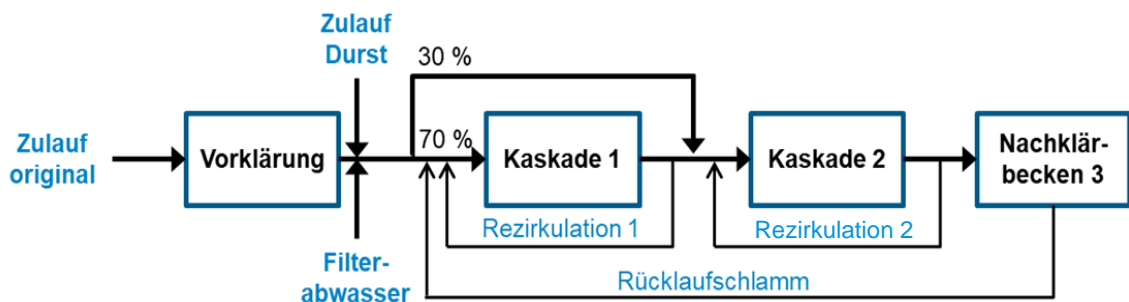


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Kaskade im Umbauzustand der KA Heidelberg

Über einen automatisierten Überschussschlammabzug wird im Modell der TS-Gehalt im Ablauf der zweiten Kaskade auf 6 g/l bei Temperaturen niedriger 15 °C und 5 g/l bei Temperaturen höher 15 °C geregelt. Der TS-Gehalt in den Becken der ersten Kaskade stellt sich entsprechend höher ein.

Gleich wie im Kalibrierzustand wird die Rücklaufschlammmenge proportional zur Zulaufmengenmessung des *Zulaufs original* gesteuert. Die Rezirkulation wird über Mengenmessungen im Teilzulauf zu der jeweiligen Kaskade gesteuert. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Rezirkulations- und die Rücklaufschlammsteuerung im Umbauzustand.

Tabelle 2: Überblick über die Rezirkulations- und die Rücklaufschlammsteuerung im Umbauzustand

| | | Größe | Wert im Modell |
|-----------------|-----------|--------------------------|----------------|
| Rezirkulation | Kaskade 1 | RZ bzgl. Teilzulauf | 3 |
| | | Q_{\max} | 440 l/s |
| | Kaskade 2 | RZ bzgl. Teilzulauf | 0,7 |
| | | Q_{\max} | 110 l/s |
| Rücklaufschlamm | Kaskade 1 | RV bzgl. Zulauf original | 0,7 |
| | | Q_{\max} | 260 l/s |

Der für die Abbildung der Leistungsfähigkeit der Nachklärung maßgebende ISV, wurde im Umbauzustand auf einen konstanten Wert von 70 ml/g eingestellt.

1.2.1 Simulierte Ablaufkonzentrationen bezüglich $\text{NH}_4\text{-N}$

Abbildung 5 zeigt die simulierten Ammonium-Ablaufkonzentrationen (15-Minuten-Werte in blau und Tagesmittelwerte in orange), den Temperaturverlauf für das Jahr 2019 sowie den im Umbauzustand bei Temperaturen höher 12 °C in den qualifizierten Stichproben einzuhaltenden Überwachungswert von 5 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$.

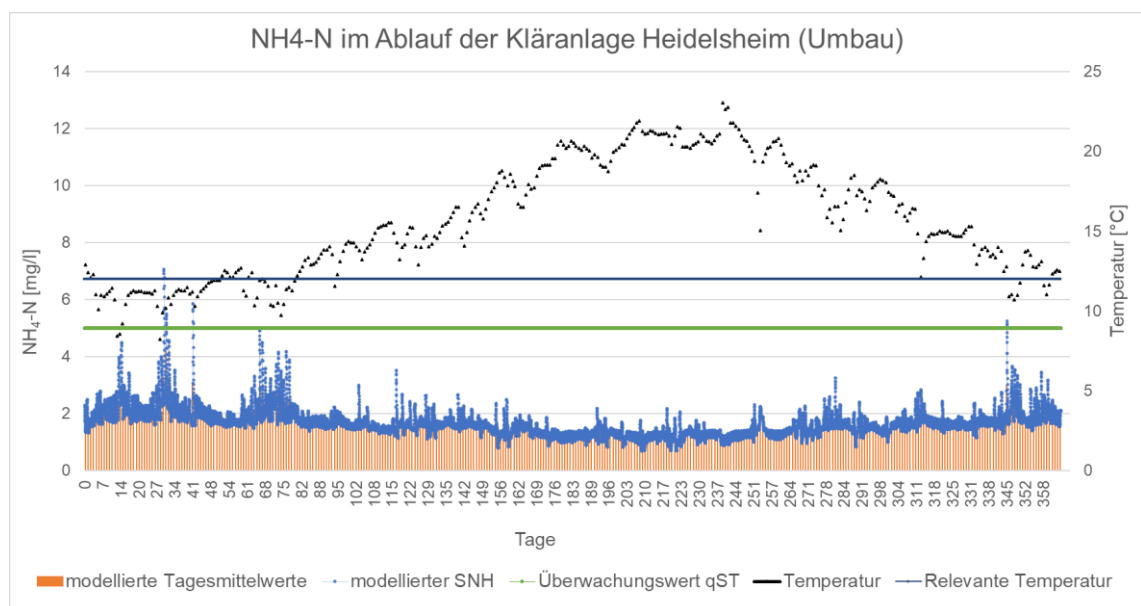


Abbildung 5: Für den Umbauzustand simulierte Ammonium-Ablaufkonzentrationen (15-Minuten-Werte und Tagesmittelwerte)

Der Überwachungswert von 5 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ wird im nachweisrelevanten Bereich (> 12°C) in den simulierten 15-Minuten-Werten durchgehend eingehalten.

In den 24-Stunden-Mischproben gilt ein Überwachungswert von 2,4 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ (Schwankungsfaktor $\text{SF} = 2,1$). Abbildung 6 zeigt die simulierten Ammonium-Ablaufkonzentrationen im Tagesmittel. Auch der Überwachungswert für die 24-Stunden-Mischproben von 2,4 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ wird in den simulierten Tagesmittelwerten im nachweisrelevanten Bereich (> 12°C) durchgehend eingehalten.

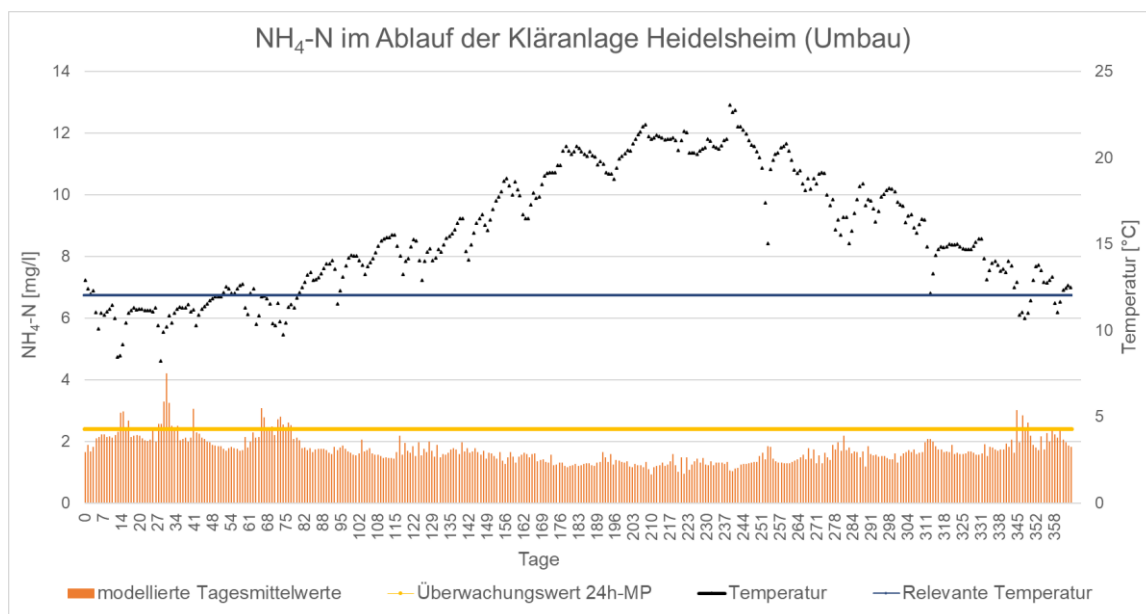


Abbildung 6: Für den Umbauzustand simulierte Ammonium-Ablaufkonzentrationen (Tagesmittelwerte)

1.2.2 Simulierte Ablaufkonzentrationen bezüglich $N_{\text{ges,anorg}}$

Abbildung 6 zeigt die simulierten Ablaufkonzentrationen für den Parameter $N_{\text{ges,anorg}}$ (15-Minuten-Werte in blau und Tagesmittelwerte in orange) sowie den im Umbauzustand bei Temperaturen höher 12 °C in den qualifizierten Stichproben einzuhaltenden Überwachungswert von 18 mg $N_{\text{ges,anorg}}/l$.

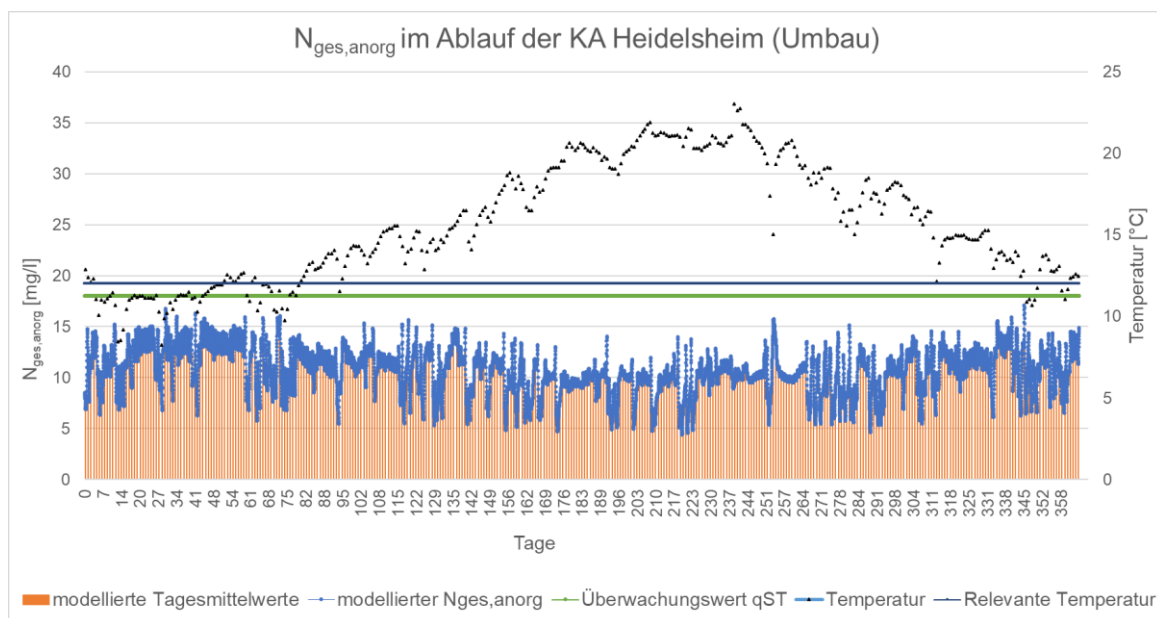


Abbildung 7: Für den Umbauzustand simulierte $N_{\text{ges,anorg}}$ Ablaufkonzentrationen (15-Minuten-Werte und Tagesmittelwerte)

Der Überwachungswert von 18 mg $N_{ges,anorg}/l$ (qualifizierte Stichproben) und somit die Mindestanforderung bezüglich $N_{ges,anorg}$ für Kläranlagen der Größenklasse 4 (AbwV, Anhang1) wird mit den simulierten 15-Minuten-Werten (blau) durchgehend eingehalten.

Für die 24-Stunden-Mischproben ergibt sich für die Mindestanforderung bezüglich $N_{ges,anorg}$ (GK4) ein Wert von 13,2 mg $N_{ges,anorg}/l$ (Schwankungsfaktor $SF = 1,36$). Abbildung 8 zeigt die simulierten $N_{ges,anorg}$ Ablaufkonzentrationen im Tagesmittel.

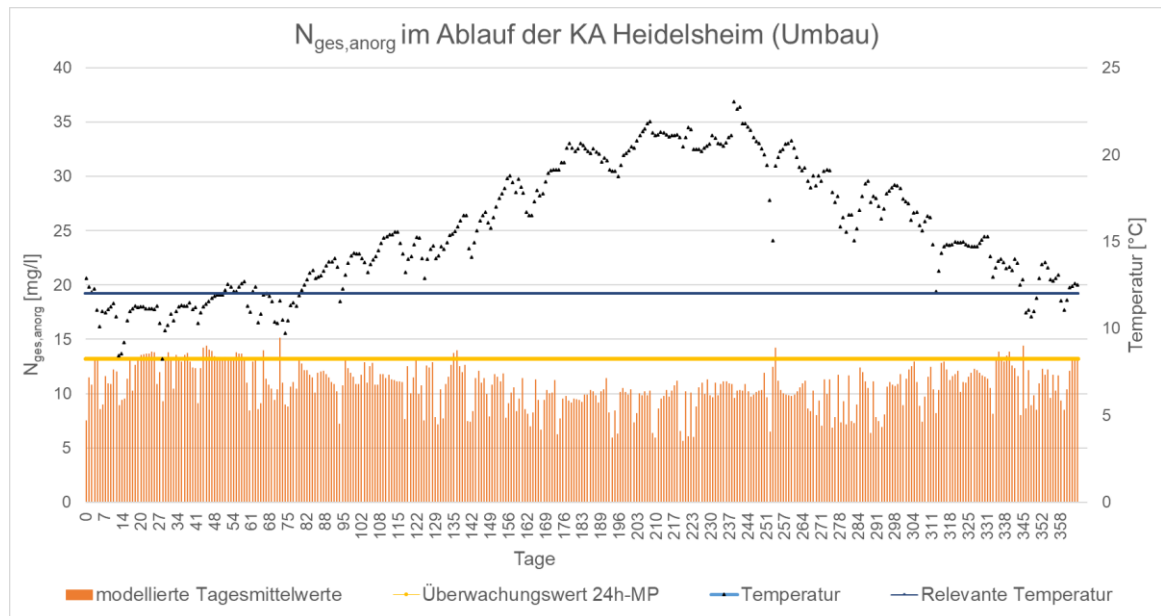


Abbildung 8: Für den Umbauzustand simulierte $N_{ges,anorg}$ -Ablaufkonzentrationen (Tagesmittelwerte)

In den simulierten Tagesmittelwerten wird der Überwachungswert von 13,2 mg $N_{ges,anorg}/l$ (24-Stunden-Mischproben) im nachweisrelevanten Bereich ($> 12^{\circ}C$) in wenigen Fällen überschritten.

1.2.3 Simulierte Ablaufkonzentrationen bezüglich CSB

Abbildung 9 zeigt die simulierten Ablaufkonzentrationen für den Parameter CSB (15-Minuten-Werte in blau und Tagesmittelwerte in orange) sowie die für die Anlage festgelegten Überwachungswerte von 40 mg CSB/l in den qualifizierten Stichproben und 35 mg CSB/l in den 24-Stunden-Mischproben (Schwankungsfaktor $SF = 1,14$).

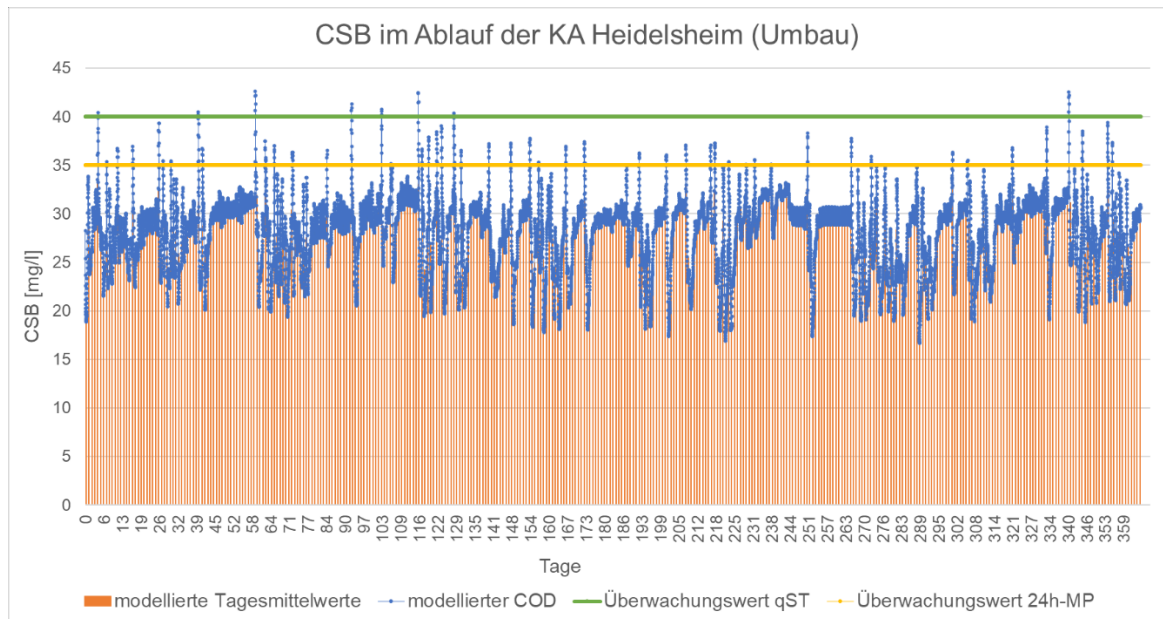


Abbildung 9: Für den Umbauzustand simulierte CSB-Ablaufkonzentrationen (15-Minuten-Werte und Tagesmittelwerte)

Der Überwachungswert von 35 mg CSB/l wird in den simulierten Tagesmittelwerten durchgehend eingehalten. Der Überwachungswert von 40 mg/l wird in den simulierten 15-Minuten-Werten in wenigen Fällen überschritten. Abbildung 10 zeigt die Aufteilung der CSB-Ablaufkonzentrationen auf dessen gelöste, inerte und dessen partikuläre Fraktion.

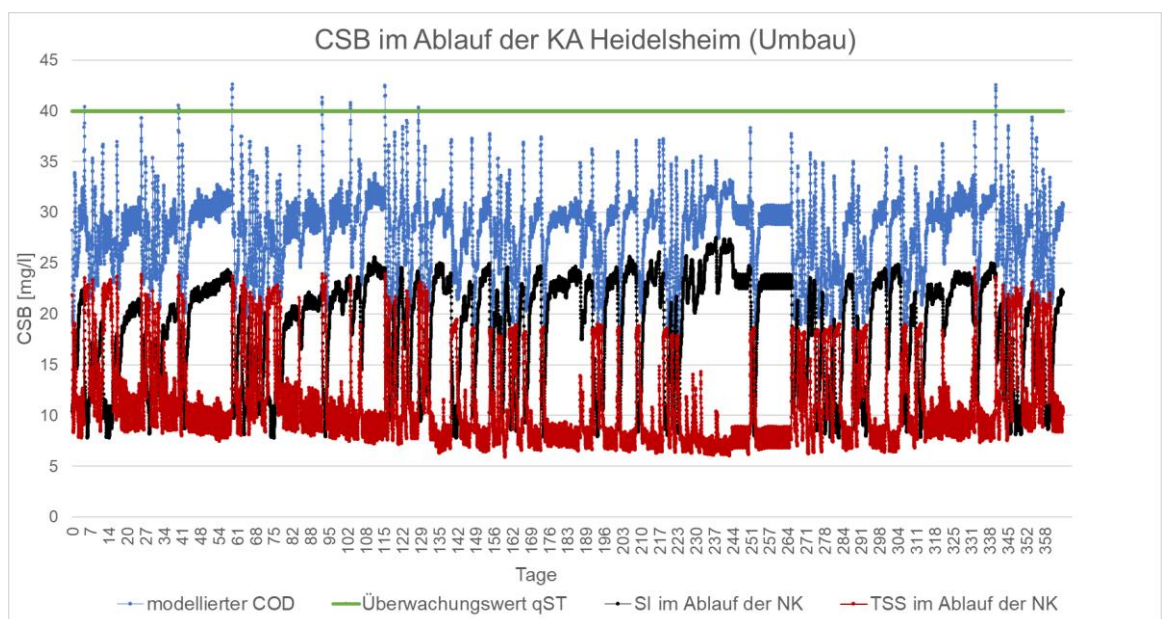


Abbildung 10: Aufteilung der CSB-Ablaufkonzentration in dessen gelösten, inerten und dessen partikulären Anteil

Bei den Überschreitungen des Überwachungswerts ist im Modell die partikuläre Fraktion des CSBs maßgebend (AFS-Abtrieb aus der Nachklärung). Während des Umbauzustands kann auf der Anlage von einer weiteren deutlichen Reduktion des CSBs durch den Rückhalt der abfiltrierbaren Stoffe (AFS) in der Filtration ausgegangen werden. Folglich sind keine Überschreitungen des Überwachungswertes von 40 mg/l CSB in der qualifizierten Stichprobe zu erwarten.

1.3 Zusammenfassung

Die Kalibrierung des Modells anhand der Bestandsdaten aus dem Jahr 2019 ergab eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem Modell und dem Ist-Zustand. Aufbauend auf dem Modell des Kalibrierzustands konnte die verfahrenstechnische Optimierung der Kläranlage Heidelberg im Umbauzustand durchgeführt werden. Unter der Beschränkung des Zulaufs original auf einen Maximalzufluss von 450 l/s, können die in Tabelle 3 angegebenen Überwachungswerte im Modell weitestgehend eingehalten werden.

Tabelle 3: Im Umbauzustand anhand des Modells erreichbare Überwachungswerte

| Parameter | Einheit | Überwachungswert | | | | Sf |
|-------------------------|---------|------------------|--------------------------|-------|----------------|------|
| CSB | mg/l | 40 | qualifizierte Stichprobe | 35 | 24h-Mischprobe | 1,14 |
| BSB ₅ | mg/l | 15 | qualifizierte Stichprobe | | | |
| NH ₄ -N | mg/l | 5,0* | qualifizierte Stichprobe | 2,4* | 24h-Mischprobe | 2,1 |
| N _{ges,anorg.} | mg/l | 18* | qualifizierte Stichprobe | 13,2* | 24h-Mischprobe | 1,36 |
| P _{ges} | mg/l | 0,5 | qualifizierte Stichprobe | | | |

*bei Abwassertemperaturen ≥ 12 °C

Die Ablaufwerte aus dem Bescheid der KA Heidelberg bleiben folglich für alle Parameter außer N_{ges,anorg} unverändert. Während der Umbauphase ist eine Erhöhung des Überwachungswerts für den Parameter N_{ges,anorg} auf die Mindestanforderung von 18 mg N_{ges,anorg}/l (GK 4) notwendig. Dies wird vor dem Hintergrund der Einhaltung des Überwachungswertes für Ammonium aus Sicht des Gewässers als unkritisch eingestuft.