

BERICHT

Berechnungen mit dem Flussgebietsmodell Leine

Fugro Germany Land GmbH

Projektnummer	WBW 000907-22
Projektname	Flussgebietsmodell Leine
Datum	23.03.2023

Inhalt

1	EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	5
2	PROJEKTGEBIET	5
2.1	Wasserrechtliche Erlaubnis.....	6
3	ALLGEMEINES ZUM FLUSSGEBIETSMODELL	8
3.1	Das Werkzeug TALSIM-NG	8
3.2	Anwendungsgrenzen des Modells	9
4	DATENGRUNDLAGEN	9
4.1	Eingangsdaten zur Aktualisierung des Gewässersystems	9
4.2	Eingangsdaten zur Aktualisierung der Halde	10
5	MODELLIERUNG	11
5.1	Aktualisierung des bestehenden Modells: Abflüsse und Konzentrationen	11
5.2	Anpassung des Flussgebietsmodells im Bereich der Althalde an aktuelle technische Daten	18
5.3	Einleitsteuerung	19
6	BERECHNUNGEN UND AUSWERTUNG	19
7	ERGEBNISSE.....	20
7.1	Sz I Geltende wasserrechtliche Erlaubnis: Cl Überwachungswert 350 mg/l.....	20
7.2	Sz II Absenkung des Chlorid Überwachungswertes auf 300 mg/l.....	23
7.3	Konzentrationen in der Leine vor und nach Zusammenfluss mit der Innersten	26
8	PROGNOSE DER ENTWICKLUNG DER SULFATKONZENTRATIONEN.....	29
9	KLIMAWANDEL.....	31
10	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	33
11	LITERATUR.....	34

Abbildungen

Abbildung 1: Projektgebiet mit Gewässerpegeln und Gütemessstellen.....	6
Abbildung 8: Vergleich simulierter und gemessener Abflusswerte am Pegel Groß Giesen (Innerste). 12	
Abbildung 9: Vergleich simulierter und gemessener Abflusswerte am Pegel Herrenhausen (Leine) .. 12	
Abbildung 10: Gütemessstelle Heinde (Innerste): Kalibrierung diffuser Cl-Einträge (a) Ganglinie Cl-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie Cl-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung Cl-Konzentration.....	13
Abbildung 11: Gütemessstelle Sarstedt (Innerste): Kalibrierung diffuser Cl-Einträge (a) Ganglinie Cl-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie Cl-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung Cl-Konzentration.....	14
Abbildung 12: Gütemessstelle Heinde (Innerste): Kalibrierung diffuser K-Einträge (a) Ganglinie K-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie K-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung K-Konzentration.....	15
Abbildung 13: Gütemessstelle Sarstedt (Innerste): Kalibrierung diffuser K-Einträge (a) Ganglinie K-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie K-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung K-Konzentration.....	16
Abbildung 14: Gütemessstelle Heinde (Innerste): Kalibrierung diffuser Mg-Einträge (a) Ganglinie Mg-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie Mg-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung Mg-Konzentration	17
Abbildung 15: Gütemessstelle Sarstedt (Innerste): Kalibrierung diffuser Mg-Einträge (a) Ganglinie Mg-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie Mg-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung Mg-Konzentration	18
Abbildung 16: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l.....	21
Abbildung 17: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l.....	21
Abbildung 18: Simulierte Mg-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l.....	21
Abbildung 19: Simulierte Mg-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l.....	22
Abbildung 20: Simulierte K-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l.....	22
Abbildung 21: Simulierte K-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l.....	22
Abbildung 22: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l.....	23
Abbildung 23: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l.....	24
Abbildung 24: Simulierte Mg-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l.....	24
Abbildung 25: Simulierte Mg-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l.....	24
Abbildung 26: Simulierte K-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l.....	25
Abbildung 27: Simulierte K-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l.....	25
Abbildung 28: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz I Überwachungswert 350 mg/l im Vergleich zu Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l.....	25

Abbildung 29: Sz II, Volumen Intzetanks	26
Abbildung 2: Chloridfracht anteilig: Fracht Einleitung Siegfried-Giesen, Gesamtfracht Messstelle Herrenhausen.....	27
Abbildung 3: Chloridfracht im gesamten Simulationszeitraum (hydrologische Jahre 1981-2017), anteilig: a) Einleitung Siegfried-Giesen, Messstelle Herrenhausen b) Innerste (Sarstedt), Leine (Herrenhausen)	27
Abbildung 4: Chloridkonzentrationen im Vergleich für die Messstellen Sarstedt (Innerste), und Herrenhausen (Leine nach Zusammenfluss mit der Innersten) und Poppenburg (Leine vor Zusammenfluss mit der Innersten) (bei Überwachungswert Chlorid 350 mg/l)	27
Abbildung 5: Magnesiumkonzentrationen im Vergleich für die Messstellen Sarstedt (Innerste), und Herrenhausen (Leine nach Zusammenfluss mit der Innersten) und Poppenburg (Leine vor Zusammenfluss mit der Innersten) (bei Überwachungswert Chlorid 350 mg/l)	28
Abbildung 6: Kaliumkonzentrationen im Vergleich für die Messstellen Sarstedt (Innerste), und Herrenhausen (Leine nach Zusammenfluss mit der Innersten) und Poppenburg (Leine vor Zusammenfluss mit der Innersten) (bei Überwachungswert Chlorid 350 mg/l)	28
Abbildung 7: Chloridkonzentrationen im Vergleich für die Messstellen Bordenau-Ricklingen, Herrenhausen (jeweils Leine nach Zusammenfluss mit der Innersten) und Poppenburg (Leine vor Zusammenfluss mit der Innersten) (bei Überwachungswert Chlorid 350 mg/l)	29
Abbildung 30: Chlorid- und Sulfatkonzentrationen, Gütemessstelle Sarstedt, 2001-2020 (Quelle: NLWKN)	29
Abbildung 31: Chlorid- und Sulfatkonzentrationen, Gütemessstelle Sarstedt, 2001-2020 (Quelle: NLWKN)	30
Abbildung 32: Berechnete Sulfatkonzentrationen, Szenario II, Cl Überwachungswert 300 mg/l	30
Abbildung 33: Abfluss Sarstedt, hydrologisches Jahr 2003 (simuliert)	31
Abbildung 34: Abfluss Sarstedt, hydrologisches Jahr 2007 (simuliert)	31
Abbildung 35: Abfluss Sarstedt, hydrologisches Jahr 2012 (simuliert)	32
Abbildung 36: Abfluss und Chlorid-Konzentration Innerste Sarstedt (simuliert, Sz II)	32
Abbildung 37: Entwicklung des gleitenden 30-jährigen Mittelwertes aus den Jahreshöchstwerten des Abflusses (MHQ) für die einzelnen Mitglieder des SRES A1B- und des RCP8.5-Ensembles sowie die Ensemble-Mediane für den Zeitraum 1971-2100 für den Pegel Rethem (https://www.nlwkn.niedersachsen.de/assets/image/736/193922)	33

Tabellen

Tabelle 1: Messzeitreihen Innerste und Leine	9
Tabelle 2: Niederschlagszeitreihen, Haldenstandort Siegfried-Giesen (Quelle: DWD)	10
Tabelle 3: Messzeitreihen der Abwässer am Standort Siegfried-Giesen (Quelle: K+S)	11
Tabelle 4: Bewertung der Modellgüte hinsichtlich der Abflüsse im Gewässer.....	12
Tabelle 5: Vergleich Messung / Modell (Statistik) Cl-Konzentrationen Messstelle Heinde	13
Tabelle 6: Vergleich Messung / Modell (Statistik) Cl-Konzentrationen Messstelle Sarstedt	14
Tabelle 7: Vergleich Messung / Modell (Statistik) K-Konzentrationen Messstelle Heinde	15
Tabelle 8: Vergleich Messung / Modell (Statistik) K-Konzentrationen Messstelle Sarstedt	16
Tabelle 9: Vergleich Messung / Modell (Statistik) Mg-Konzentrationen Messstelle Heinde.....	17
Tabelle 10: Vergleich Messung / Modell (Statistik) Mg-Konzentrationen Messstelle Sarstedt.....	18
Tabelle 11: Sz I: Statistische Werte für Cl, Mg und K bei Cl-Überwachungswert 350 mg/l an der Messstelle Sarstedt	20
Tabelle 12: Sz II: Statistische Werte für Cl, Mg und K bei Cl-Überwachungswert 300 mg/l an der Messstelle Sarstedt	23

1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Hartsalzwerk Siegfried-Giesen wurde durch die SYDRO Consult GmbH im Jahr ein Flussgebietsmodell für das Einzugsgebiet von Leine und Aller erstellt [SYDRO Consult 2014]. In diesem Modell wurde die Einleitung von Haldenwässern der Halden Siegfried-Giesen und Sigmundshall berücksichtigt.

In 2017 wurde dieses Flussgebietsmodell zwecks Optimierung der Einleitung aus der Althalde Siegfried-Giesen dahingehend angepasst, dass bauliche und messtechnische Anpassungen zur Erneuerung des Haldengrabens und zur Optimierung der Einleitsteuerungen durchgeführt wurden. Im Rahmen dieses Auftrags wurden Szenarien berechnet, in denen eine Einleitung lediglich aus der Althalde Siegfried-Giesen stattfindet. Die Betrachtung fand ausschließlich im Bereich der Innerste, Messstelle Sarstedt, statt.

Da die Wasserrechtliche Erlaubnis zur Einleitung von Salzabwasser der Althalde Siegfried-Giesen in die Innerste zum 31.12.2023 ausläuft, sollten als eine Grundlage für die Neubeantragung Varianten zur Entwicklung der Salzkonzentrationen in der Innerste berechnet werden. Dafür sollte auch der Zeitraum der Langzeitsimulation aktualisiert werden.

2 PROJEKTGEBIET

Zurzeit werden vom ehemaligen Kaliwerk Siegfried-Giesen die von der Althalde abfließenden mineralisierten Wässer in einem Haldengraben gefasst, in Tanks bedarfsweise zwischengespeichert und in die Innerste eingeleitet. Die Einleitung der mineralisierten Haldenwässer der Althalde erfolgt unmittelbar nördlich des ehemaligen Werksstandortes, unterhalb der Bahnbrücke Ahrbergen. Ca. 6 km unterhalb der Einleitung mündet die Innerste in die Leine. Die Einleitung erfolgt derzeit gesteuert in Abhängigkeit der Leitfähigkeit.

Die Wiederaufnahme der Kaliproduktion am Standort Siegfried-Giesen wurde zwischenzeitlich durch das LBEG genehmigt. Da eine Wiederinbetriebnahme aktuell nicht absehbar ist, berücksichtigen die aktuellen Berechnungen mit dem Flussgebietsmodell ausschließlich die Einleitung von der Althalde Siegfried-Giesen.

In Abbildung 1 sind der im Rahmen der Modellierung relevante Abschnitt von Innerste und Leine sowie die sich in dem Bereich befindenden Messstellen dargestellt.

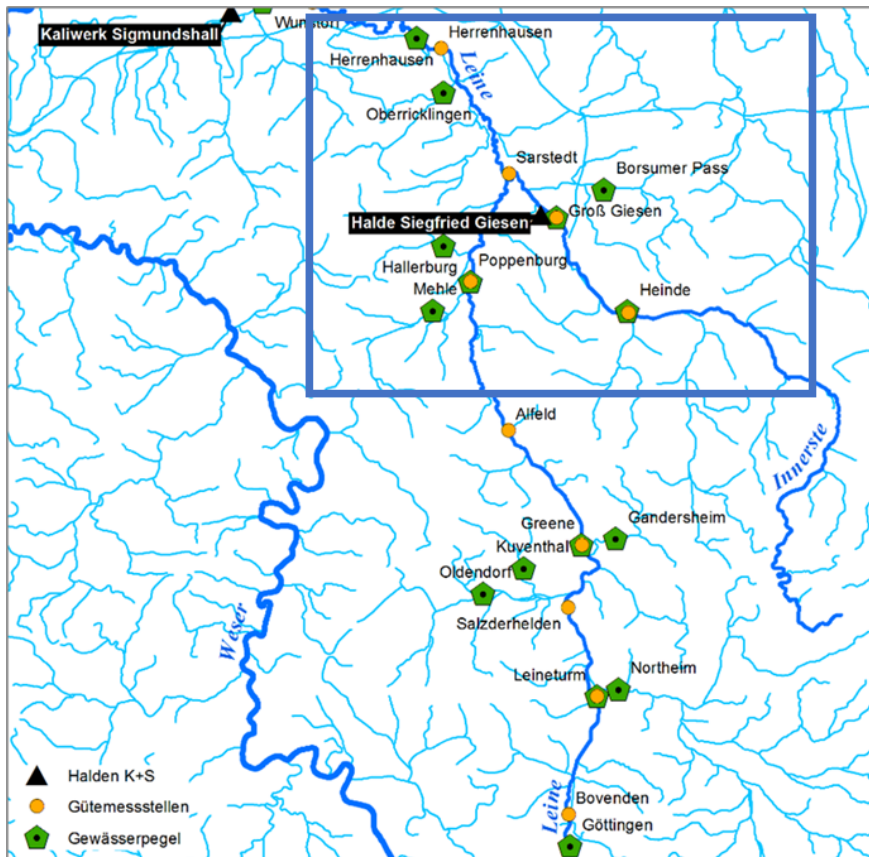


Abbildung 1: Projektgebiet mit Gewässerpegeln und Gütemessstellen

2.1 Wasserrechtliche Erlaubnis

Unabhängig von der Realisierung des neuen Werkes verändern sich die Anforderungen an die Einleitung der Wässer der Althalde. Innerhalb der in der Wasserrechtlichen Erlaubnis (LBEG, L1.4/L67120/04-01/2019-0001) definierten Vorbetriebsphase, in der auch weiterhin nur die Wässer der Althalde eingeleitet werden, behalten zunächst die derzeit geltenden Chloridkonzentrationen und Einleitmengen ihre Gültigkeit. Zudem wurde bei einer möglichen Nichtwiederinbetriebnahme des Werkes die neue Wasserrechtliche Erlaubnis befristet bis zum 31.12.2023 (entspricht der eigentlichen Laufzeit der Wasserrechtlichen Erlaubnis für die Althalde) erteilt, so dass eine neue Erlaubnis zu beantragen ist.

Die Wasserrechtliche Erlaubnis von 2019 für den Standort Siegfried-Giesen zur Einleitung von Salzabwässern in die Innerste definiert verschiedene Betriebsphasen:

- Phase 0 (Vorbetriebsphase): in diesem Zeitraum fallen Abwässer und der Althalde und ggfs. Grubenwässer an. Die Gewässerbenutzung entspricht der durch wasserrechtliche Einleitungserlaubnis zur Einleitung von salzhaltigen Halden- und Schachtwässern, mit Entscheidung vom 26.06.1995 erteilt durch das Bergamt Hannover, Az. W 5021-3.62-11-12/94 VII-K., 26.06.1995 zugelassenen Einleitung.
- Phase 1 (Anfahrphase): Die Anfahrphase umfasst den Zeitraum vor Aufnahme der Produktion (geplant: Betriebsjahre 1-2) mit der Aufhaltung der Aus- und Vorrichtungssalze sowie die daran anschließenden vier Betriebsjahre (geplant: Betriebsjahre 3-6).

- Phase 2 (Regelbetrieb) und Phase 3 (Nachbetriebsphase) betreffen den Zeitraum ab dem 7. Betriebsjahr und den Zeitraum nach Beendigung des Betriebs. Diese Phasen sind für die aktuelle Modellierung nicht relevant.

Wenn Betriebsphase 1 nicht spätestens am 01.01.2024 beginnt oder diese Entscheidung zum 01.01.2024 bestandskräftig ist, ist für den Fortbetrieb der Haldenwassereinleitung von der Althalde die Erteilung einer entsprechenden wasserrechtlichen Erlaubnis erforderlich. Folgende Überwachungswerte sind der Erlaubnis in Betriebsphase 0 und 1 einzuhalten:

Parameter	Betriebsphase	Überwachungswert
Chlorid	0	400 mg/l Im Betrieb ist eine max. Konzentration von 350 mg/l (Regelwert 315 mg/l) anzustreben. Es ist eine Chloridkonzentration anzustreben, die in einem Zeitraum von 24 Stunden um nicht mehr als ± 200 mg/l schwankt. Wird in der Betriebsphase 0 die anzustrebende Maximalkonzentration von 350 mg/l überschritten, ist der Zulassungsbehörde nachzuweisen, dass diese Überschreitung trotz ordnungsgemäßer Steuerung der Einleitung nicht vermieden werden konnte
	1	200 mg/l
Kalium	0	25 mg/l
	1	20 mg/l Der Überwachungswert erhöht sich auf 25 mg/l solange der für die Kontrollmessstelle ermittelte 90- Perzentil-Wert nicht über 17 mg/l liegt.
Magnesium	0	55 mg/l
	1	35 mg/l Der Überwachungswert erhöht sich auf 45 mg/l solange der für die Kontrollmessstelle ermittelte 90- Perzentil-Wert nicht über 32 mg/l liegt.

Die Einleitungsmengen werden wie folgt begrenzt:

Betriebsphase	Max. Einleitungsmenge
0 / 1	60 l/s
0 / 1	200 m ³ /h
0 / 1	4.800 m ³ /d
0 / 1	200.000 m ³ /a / 194.000 m ³ /a

Für die Entnahme und Einleitung von Kühlwässern gelten gesonderte Parameter. In der Modellierung werden nur die salzhaltigen Halden- und Schachtwässer berücksichtigt.

3 ALLGEMEINES ZUM FLUSSGEBIETSMODELL

3.1 Das Werkzeug TALSIM-NG

Das Programm TALSIM-NG ist ein generisches Flussgebietsmodell, entwickelt für die Planung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen und für den Betrieb wasserbaulicher Anlagen. Die Verknüpfung von Niederschlag-Abfluss- und Bewirtschaftungsmodell, Fließgewässerberechnung und Zeitreihen-/ Simulationsverwaltung sowie Güteberechnung bietet vielfältige Perspektiven zur Analyse komplexer Zusammenhänge. Zudem ergibt sich im Zusammenspiel mit einem Monitoringsystem die Option für den operativen Einsatz.

TALSIM-NG basiert auf einer offenen generischen Modellarchitektur. Das Programm bietet die Möglichkeit, beliebige wasserwirtschaftliche Systeme und Bewirtschaftungsstrategien nachbilden zu können.

In TALSIM-NG erfolgt die Modellierung eines wasserwirtschaftlichen Systems unter Verwendung definierter Elementtypen, welche die relevanten Kenngrößen und Parameter der realen Objekte nachbilden. Jedes Element ist mit spezifischen Eigenschaften und Methoden ausgestattet, wie z.B. Berechnung der Abflussbildung, Abflusskonzentration, Seeretention usw., und besitzt definierte Ein- und Ausgabeschnittstellen. Ein Modellsystem wird gemäß den naturräumlichen Gegebenheiten somit aus natürlichen oder versiegelten Flächen, Gewässerstrecken, Speichern, Verzweigungen u.a. zusammengesetzt, deren Verknüpfung das Fließschema ergibt. Auf diese Weise sind beliebige Systemkonfigurationen möglich.

Während der generische Aufbau der Systemstruktur mittlerweile Bestandteil einiger wasserwirtschaftlicher Modelle ist, bedeutet die flexible Beschreibung dynamischer Bewirtschaftungsstrategien und -regeln eine Sonderstellung von TALSIM-NG. Mit TALSIM-NG lassen sich aufgrund der freien Konfigurationsmöglichkeit beliebige Betriebsregeln aufstellen. So lassen sich Alternativen der Bewirtschaftung mit Hilfe von TALSIM-NG auch in Bezug auf die Regelstruktur beschreiben und in ihrer Wirkung analysieren.

Mit der Zunahme der Komplexität der Aufgabenstellungen, bei denen nicht nur quantitative, sondern auch qualitative Betrachtungen erfolgen, also neben der Wassermenge auch die Wassergüte betrachtet wird, wurde das Programm TALSIM-NG um Bausteine zur Gütesimulation erweitert.

In TALSIM-NG werden Stoffe auf Basis konservativer Betrachtung simuliert. Konservativ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass kein Stoffabbau oder -umbau stattfindet. Werden mehrere Stoffe definiert, so wird jeder als unabhängig vom anderen betrachtet, d.h. eine Interaktion zwischen den Stoffen findet nicht statt.

Diese Option bedeutet eine Steigerung der Einsatzbereiche des Modells. Alle Aufgabenstellungen, für die eine konservative Betrachtung der Stoffe ausreicht, können somit in eine Niederschlag-Abfluss-Simulation oder Flussgebietsmodellierung integriert werden.

Der Stofftransport folgt dabei der hydrologischen / hydraulischen Berechnung, d.h. dass Frachten entsprechend den berechneten Abflüssen weitergegeben werden. Die Konzentrationen werden aus dem Stofftransport berechnet.

3.2 Anwendungsgrenzen des Modells

Der kleinste mögliche Simulationszeitschritt beträgt eine Minute.

TALSIM-NG ist in Bezug auf den Transport in Fließgewässern ein hydrologisches Modell, d.h. Rückstau und die Lösung der Energiegleichung finden nicht statt. Nur bei Becken und zwischen Becken sind hydraulische Funktionalitäten implementiert.

Die Berechnung in Fließgewässern erfolgt eindimensional.

In TALSIM-NG werden derzeit Stoffe nur auf Basis konservativer Betrachtung simuliert, d.h. ein Stoffabbau oder -umbau findet nicht statt. Werden mehrere Stoffe gleichzeitig simuliert, so wird jeder als unabhängig vom anderen betrachtet. Beim Stoffeintrag geht TALSIM-NG von einer sofortigen und vollständigen Durchmischung aus. Erfolgt in einem Fließgewässerelement oder in einem Speicher ein Stoffeintrag, so behandelt das Programm den Stoff als gleichmäßig im jeweiligen Element verteilt.

Bewirtschaftungsregeln sind eindeutig zu definieren und verlangen deshalb Vorgaben und eine klare Reihenfolge der Regelbearbeitung. Eine iterative Suche nach einer bestimmten Zielgröße findet nicht statt. In Bezug auf die Salzlastersteuerung bei K+S bedeutet dies, dass die Bewirtschaftungsregeln – vergleichbar der realen Situation – Zielgrößen in Form von Grenzkonzentrationen im Gewässer benötigen.

4 DATENGRUNDLAGEN

4.1 Eingangsdaten zur Aktualisierung des Gewässersystems

Die Messdaten (Abflüsse und Konzentrationen) der für die Verlängerung des Simulationszeitraumes relevanten Pegel und Gütemessstellen im Projektgebiet wurden vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) und der Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser) zur Verfügung gestellt. Bezüglich der Gewässergüte werden die Parameter Chlorid, Kalium und Magnesium in den nachfolgenden Betrachtungen berücksichtigt. Die Messdatendichte an den Gütemessstellen variiert zwischen Beprobungen im Abstand von ca. 2 Wochen und 2 Monaten, an den meisten Messstellen liegen monatliche Werte vor.

Tabelle 1: Messzeitreihen Innerste und Leine

Name der Messstelle	Messgröße und Einheit	Messzeitraum		Zeitl. Auflösung	Zeitl. Bezug	Quelle
		Von	Bis			
Innerste						
Heinde	Abfluss (m³/s)	01.01.1952	31.12.2017	1 Tag	Tagesmittel	NLWKN
	Chlorid (mg/l)	24.01.2000	07.12.2019	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	12.01.2011	07.12.2019	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	18.01.2006	07.12.2019	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
Groß Giesen	Abfluss (m³/s)	01.11.1972	31.12.2017	1 Tag	Tagesmittel	NLWKN
	Chlorid (mg/l)	25.01.2000	06.12.2006	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	18.01.2006	06.12.2006	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	18.01.2006	06.12.2006	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
Sarstedt	Chlorid (mg/l)	28.04.1980	02.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	18.01.2006	02.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	18.01.2006	02.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
Leine						

Name der Messstelle	Messgröße und Einheit	Messzeitraum		Zeitl. Auflösung	Zeitl. Bezug	Quelle
		Von	Bis			
Göttingen	Abfluss (m ³ /s)	01.11.1958	31.12.2017	1 Tag	Tagesmittel	NLWKN
Bovenden	Chlorid (mg/l)	20.01.2000	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	18.01.2006	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	18.01.2006	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
Leineturm	Abfluss (m ³ /s)	01.11.1980	31.12.2017	1 Tag	Tagesmittel	NLWKN
	Chlorid (mg/l)	20.01.2000	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	18.01.2006	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	18.01.2006	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
Salzderhelden	Chlorid (mg/l)	20.01.2000	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	18.01.2006	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	18.01.2006	08.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
Greene	Abfluss (m ³ /s)	01.11.1940	31.12.2017	1 Tag	Tagesmittel	NLWKN
	Chlorid (mg/l)	20.01.2000	09.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	18.01.2006	09.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	18.01.2006	09.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
Alfeld	Chlorid (mg/l)	26.01.2000	01.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	26.01.2000	01.12.2020	ca. 2 Monate	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	22.01.2007	01.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
Poppenburg	Abfluss (m ³ /s)	01.11.1952	31.12.2017	1 Tag	Tagesmittel	NLWKN
	Chlorid (mg/l)	02.01.2000	02.12.2020	ca. 2 Wochen	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	12.01.2006	02.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	12.01.2006	02.12.2020	ca. 2 Wochen	Momentaner Wert	NLWKN
Herrenhausen	Abfluss (m ³ /s)	01.11.1979	31.12.2021	1 Tag	Tagesmittel	FGG Weser
	Chlorid (mg/l)	27.01.2000	02.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Kalium (mg/l)	12.01.2006	02.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN
	Magnesium (mg/l)	12.01.2006	02.12.2020	ca. 1 Monat	Momentaner Wert	NLWKN

4.2 Eingangsdaten zur Aktualisierung der Halde

Die Althalde Siegfried-Giesen wurde im Modell [SYDRO Consult 2014] als separates Einzugsgebiet betrachtet und für diese der Niederschlag-Abfluss-Prozess simuliert. Dieser Ansatz wurde übernommen. Die Eingangszeitreihen Niederschlag, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Sonnenscheindauer wurden bis zum Jahr 2017 aktualisiert. Für den Standort Hildesheim wurden für den Niederschlag sowohl Rasterwerte als auch Daten der Wetterstation Hildesheim und Hildesheim-Drispstedt sowie Laatzen-Rethen verwendet (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Niederschlagszeitreihen, Halde Standort Siegfried-Giesen (Quelle: DWD)

Art der Niederschlagsdaten	räumlicher Bezug	Zeitraum
korrigierte Stationswerte	Wetterstation Hildesheim	01.11.1979 – 29.02.2008
korrigierte Stationswerte	Wetterstation Hildesheim-Drispstedt	01.03.2008 – 31.12.2010
korrigierte interpolierte Rasterpunktwerte	Wetterstation Hildesheim-Drispstedt	01.01.2011 – 31.10.2013
korrigierte Stationswerte	Wetterstation Laatzen-Rethen	01.11.2013 – 31.12.2017

Für die verwendete Wetterstation Hannover lagen Zeitreihen für Temperatur, Windgeschwindigkeit und Sonnenscheindauer vom 01.01.1936 bis 2021 als Tageswerte vor.

Die Messung der Haldenwassermenge erfolgt kontinuierlich, die Messwerte liegen in täglicher Auflösung für den Zeitraum bis 2021 vor. Gütemessungen (Chlorid, Kalium, Magnesium) des Haldenwassers stehen nur in niedrigerer zeitlicher Auflösung zur Verfügung und für Kalium und Magnesium nur als Monatsmittelwerte (siehe Tabelle 3). Der Abfluss der Halde ergibt sich aus der Simulation. Die Konzentrationen des Haldenwassers werden im Modell über Jahresgänge abgebildet, die anhand der vorhandenen Messdaten aktualisiert wurden.

Tabelle 3: Messzeitreihen der Abwässer am Standort Siegfried-Giesen (Quelle: K+S)

Messgröße und Einheit	Messzeitraum		Zeitl. Auflösung	Zeitl. Bezug
	Von	bis		
Abfluss (m³)	01.11.1961	31.12.2021	1 Tag	Tagesmenge
Chlorid (g/l)	01.11.1961	12.2021	1 -60 Tage	Momentaner Wert
Kalium (g/l)	01.01.2001	12.2021	1 Monat	Momentaner Wert
Magnesium (g/l)	01.01.2001	12.2021	1 Monat	Momentaner Wert

5 MODELLIERUNG

5.1 Aktualisierung des bestehenden Modells: Abflüsse und Konzentrationen

5.1.1 Aktualisierung der Abflüsse: Verlängerung der Zeitreihen

Die Langzeitsimulation erfolgte bisher auf der Basis der vorliegenden Daten für den Zeitraum 01.11.1980 bis zum 31.10.2011. Die Abflusszeitreihen für die meisten Pegel im Einzugsgebiet der Leine liegen aktuell bis Ende 2017 vor, laut Angaben des NLWKN werden Abflussdaten einschließlich dem Jahr 2022 im Laufe des Jahres 2023 erhältlich sein. Daher ist auch die Dauer der Simulationen bis zu diesem Zeitpunkt (bzw. bis zum Ende des hydrologischen Jahres 31.10.2017) begrenzt.

Die Abflusszeitreihen wurden verlängert und ins Modell implementiert. Um die Modellergebnisse zu beurteilen, werden vorhandene Messwerte an den Pegeln mit modellierten Werten verglichen. Dieser Vergleich erfolgt sowohl visuell anhand von Ganglinien und Abbildungen der statistischen Verteilungen, als auch anhand von definierten Qualitätskriterien, wie z.B. dem Mittelwert der absoluten und relativen Fehlerbeträge oder der Modelleffizienz, zur Beurteilung, wie gut die Variabilität der Messwerte durch das Modell abgebildet wird.

Die Modelleffizienz $Reff$ ist dimensionslos und kann Werte zwischen $-\infty$ bis $+1,0$ annehmen, wobei ein Wert von $1,0$ einer Gleichheit der gemessenen und berechneten Werte zu jedem Zeitpunkt entspricht. Negative Effizienzwerte weisen auf sehr schlechte Simulationsergebnisse hin. Da in die Modelleffizienz der quadratische Fehler zwischen den simulierten und gemessenen Werten eingeht, werden Abweichungen hoher Werte (z. B. Hochwasserabflüsse) gegenüber geringen Werten (z.B. Niedrigwasserabflüsse) überbewertet. Daher wird häufig die logarithmierte Modelleffizienz berechnet. Das Gütemaß $Reff_{ln}$ ist besser zur Bewertung der Modellierung von geringeren Werten (z.B. Niedrigwasserabflüssen) geeignet. Werte $\geq 0,5$ gelten als ausreichend gut.

Tabelle 4: Bewertung der Modellgüte hinsichtlich der Abflüsse im Gewässer

	Reff	Reff,ln	mittl. Abweichung	mittl. Abweichung
	[-]	[-]	[m³/s]	[-]
Groß Giesen	0,99	0,99	0,27	2,8%
Leineturm	0,99	0,99	0,13	1,1%
Greene	0,99	0,99	0,52	1,4%
Poppenburg	0,99	0,99	1,72	4,7%
Herrenhausen	0,97	0,98	3,68	6,6%

Der Vergleich zwischen gemessenem Durchfluss und simulierten Durchfluss zeigt an allen Pegeln eine sehr gute Übereinstimmung. Die Modelleffizienz liegt durchweg über 0,9. Richtung Unterlauf Leine wird die Übereinstimmung etwas geringer. Die größten Abweichungen beziehen sich auf Hochwasserereignisse und treten somit im Blick auf Stoffkonzentrationen während einer unkritischen Zeit auf, da die Stoffkonzentrationen während dieser Zeit im Allgemeinen durch die Verdünnung niedrig sind.

Nachfolgend ist beispielhaft für die beiden Pegel Groß Giesen (Innerste) und Herrenhausen (Leine) für die hydrologischen Jahre 2013-2017 der gemessene sowie der simulierte Abfluss dargestellt.

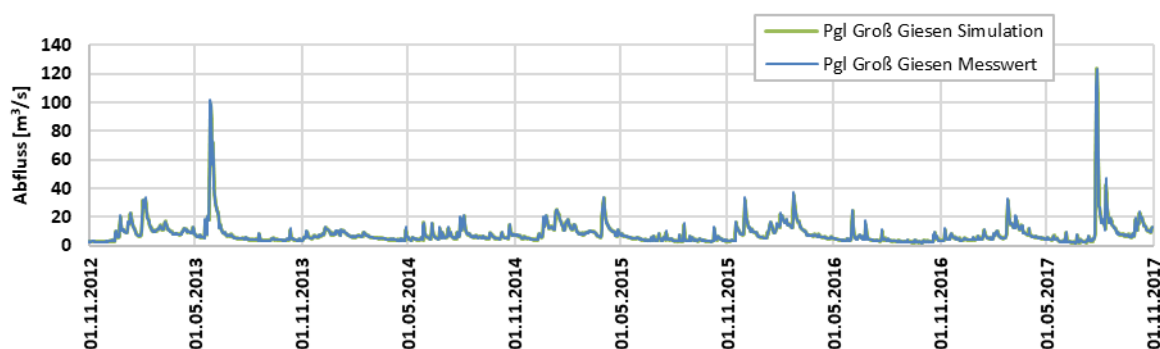


Abbildung 2: Vergleich simulierter und gemessener Abflusswerte am Pegel Groß Giesen (Innerste)

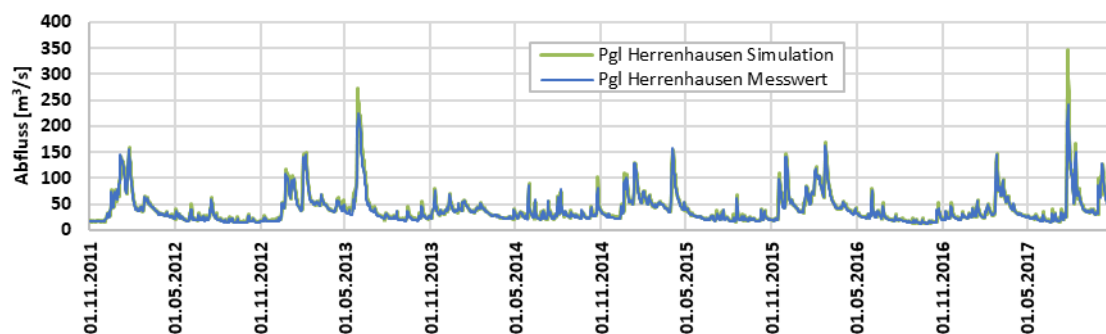


Abbildung 3: Vergleich simulierter und gemessener Abflusswerte am Pegel Herrenhausen (Leine)

5.1.2 Aktualisierung der Konzentrationen: Verlängerung der Zeitreihen

Die Einträge in die Gewässer, d.h. die Hintergrundbelastung vor der Einleitung durch K+S sowie der seitliche Eintrag zwischen den Einleitstellen, wurden jeweils an den vorhandenen Gütemessstellen kalibriert. Auch hier führten die im Ausgangsmodell implementierten Kalibrierungsparameter Basisfracht und Basiskonzentration bereits zu guten Übereinstimmungen und wurden nur zwischen

einzelnen Pegeln geringfügig angepasst. Für den Salzparameter Chlorid lagen dabei Messwerte für die Jahre 2001 bis 2017 vor, für Magnesium und Kalium erst ab 2006. Für die Messstelle Groß Giesen lagen Messwerte nur bis 2006 vor, daher konnte diese Messstelle in der aktuellen Auswertung nicht aktualisiert werden. Nachfolgend sind jeweils beispielhaft die Ganglinien und statistische Verteilung für die Messstellen Heinde und Sarstedt dargestellt.

5.1.2.1 Chloridkonzentrationen

Sowohl vor als auch nach der Einleitung durch die Althalde Siegfried-Giesen zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Chlorid-Konzentrationen im Gewässer. Die Übereinstimmung der statistischen Verteilungen von gemessenen und simulierten Konzentrationen ist sehr gut.

Nachfolgend sind die Ganglinie sowie die statistische Verteilung der Chlorid-Konzentration zum Vergleich für die Messstellen Heinde und Sarstedt dargestellt.

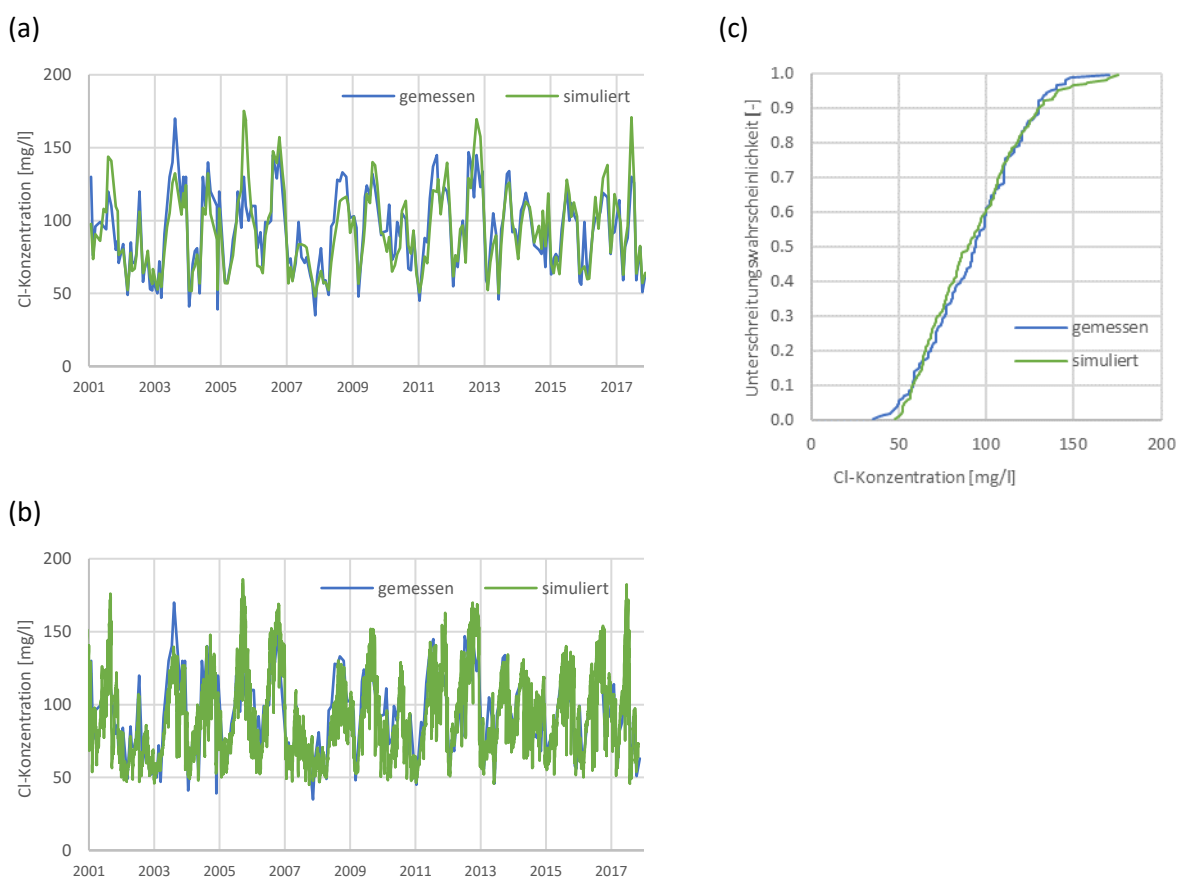
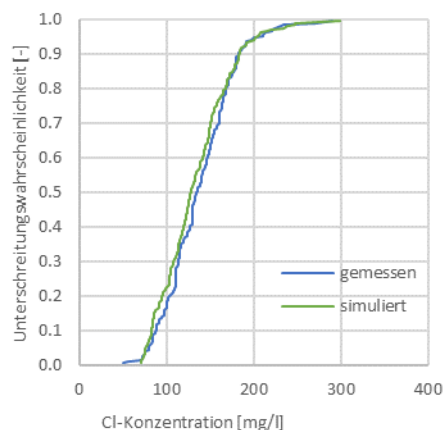
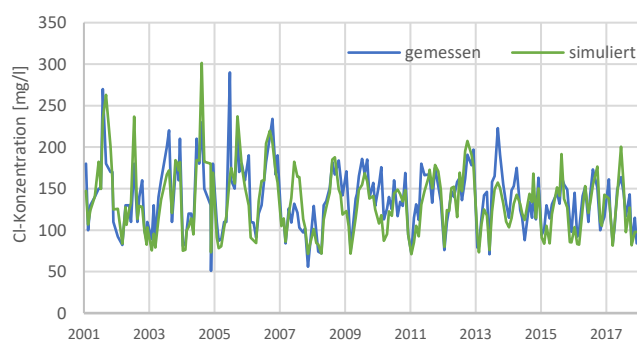


Abbildung 4: Gütemessstelle Heinde (Innerste): Kalibrierung diffuser Cl-Einträge (a) Ganglinie Cl-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie Cl-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung Cl-Konzentration

Tabelle 5: Vergleich Messung / Modell (Statistik) Cl-Konzentrationen Messstelle Heinde

Statistische Werte	Cl (mg/l)		Abweichung Modell/Messung (%)
	Messung	Modell	
Mittelwert	93,0	92,7	-0,3
Median	94,0	89,9	-4,4
90-Perz.	130,0	129,7	-0,2

(a)



(b)

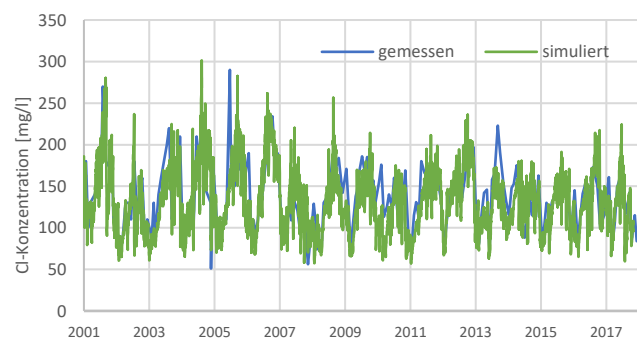


Abbildung 5: Gütemessstelle Sarstedt (Innerste): Kalibrierung diffuser Cl-Einträge (a) Ganglinie Cl-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie Cl-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung Cl-Konzentration

Tabelle 6: Vergleich Messung / Modell (Statistik) Cl-Konzentrationen Messstelle Sarstedt

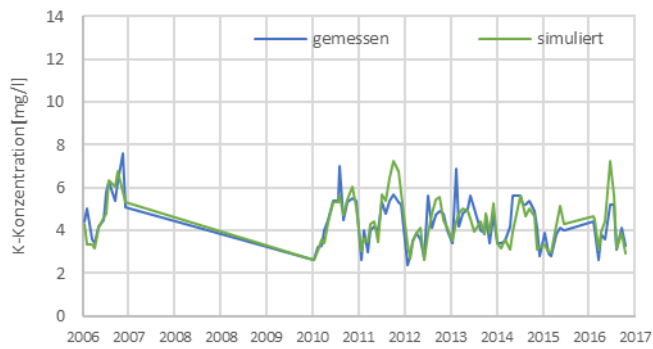
Statistische Werte	Cl (mg/l)		Abweichung Modell/Messung (%)
	Messung	Modell	
Mittelwert	136,3	131,1	-3,8
10-Perz.	87,6	82,7	-5,6
Median	134,0	127,4	-4,9
90-Perz.	182,0	183,0	0,6

5.1.2.2 Kaliumkonzentrationen

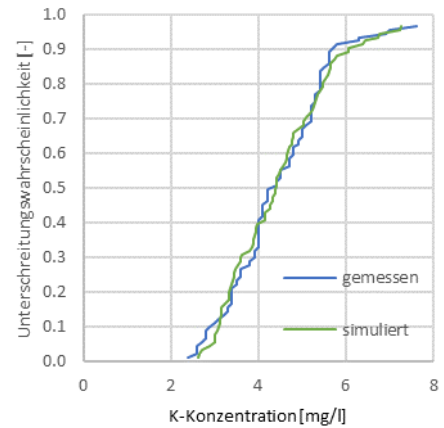
Die Kalibrierung der Kaliumkonzentrationen ist insgesamt ebenfalls zufriedenstellend, allerdings an einzelnen Messstationen ungenauer als für Chlorid. Zum Teil sind die Abweichungen bezogen auf Einzelwerte groß, auch wenn das Modell einen guten Teil der Variabilität der Kaliumkonzentration erklären kann. Bezogen auf statistische Werte ist die Übereinstimmung deutlich besser.

Nachfolgend sind die Ganglinie sowie die statistische Verteilung der K-Konzentration zum Vergleich für die Messstellen Heinde und Sarstedt dargestellt.

(a)



(c)



(b)

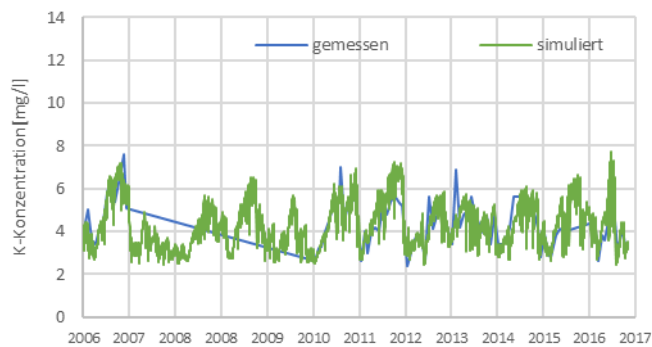


Abbildung 6: Gütemessstelle Heinde (Innerste): Kalibrierung diffuser K-Einträge (a) Ganglinie K-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie K-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung K-Konzentration

Tabelle 7: Vergleich Messung / Modell (Statistik) K-Konzentrationen Messstelle Heinde

Statistische Werte	K (mg/l)		Abweichung Modell/Messung (%)
	Messung	Modell	
Mittelwert	4,4	4,4	0,2
10-Perz.	2,9	3,1	7,3
Median	4,2	4,4	4,3
90-Perz.	5,6	5,8	4,0

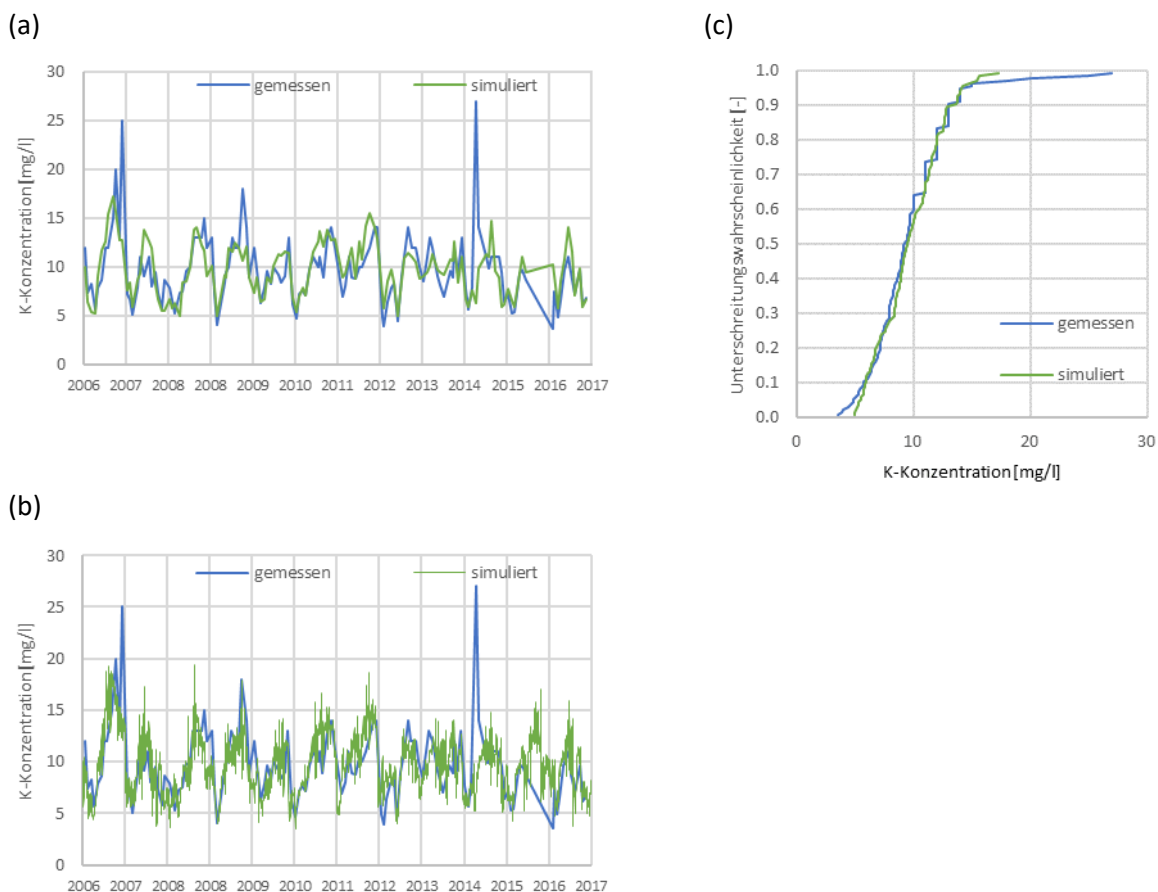


Abbildung 7: Gütemessstelle Sarstedt (Innerste): Kalibrierung diffuser K-Einträge (a) Ganglinie K-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie K-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung K-Konzentration

Tabelle 8: Vergleich Messung / Modell (Statistik) K-Konzentrationen Messstelle Sarstedt

Statistische Werte	K (mg/l)		Abweichung Modell/Messung (%)
	Messung	Modell	
Mittelwert	9,5	9,8	3,0
10-Perz.	5,8	5,9	2,3
Median	9,3	9,5	2,3
90-Perz.	13,0	13,1	2,7

5.1.2.3 Magnesiumkonzentrationen

Die gemessenen und simulierten Magnesiumkonzentrationen zeigen für alle Messpunkte vor und nach Einleitung eine recht gute Übereinstimmung bezogen auf Einzelwerte und eine sehr gute Übereinstimmung bezogen auf statistische Werte.

Nachfolgend sind die Ganglinie sowie die statistische Verteilung der Mg-Konzentration zum Vergleich für die Messstellen dargestellt.

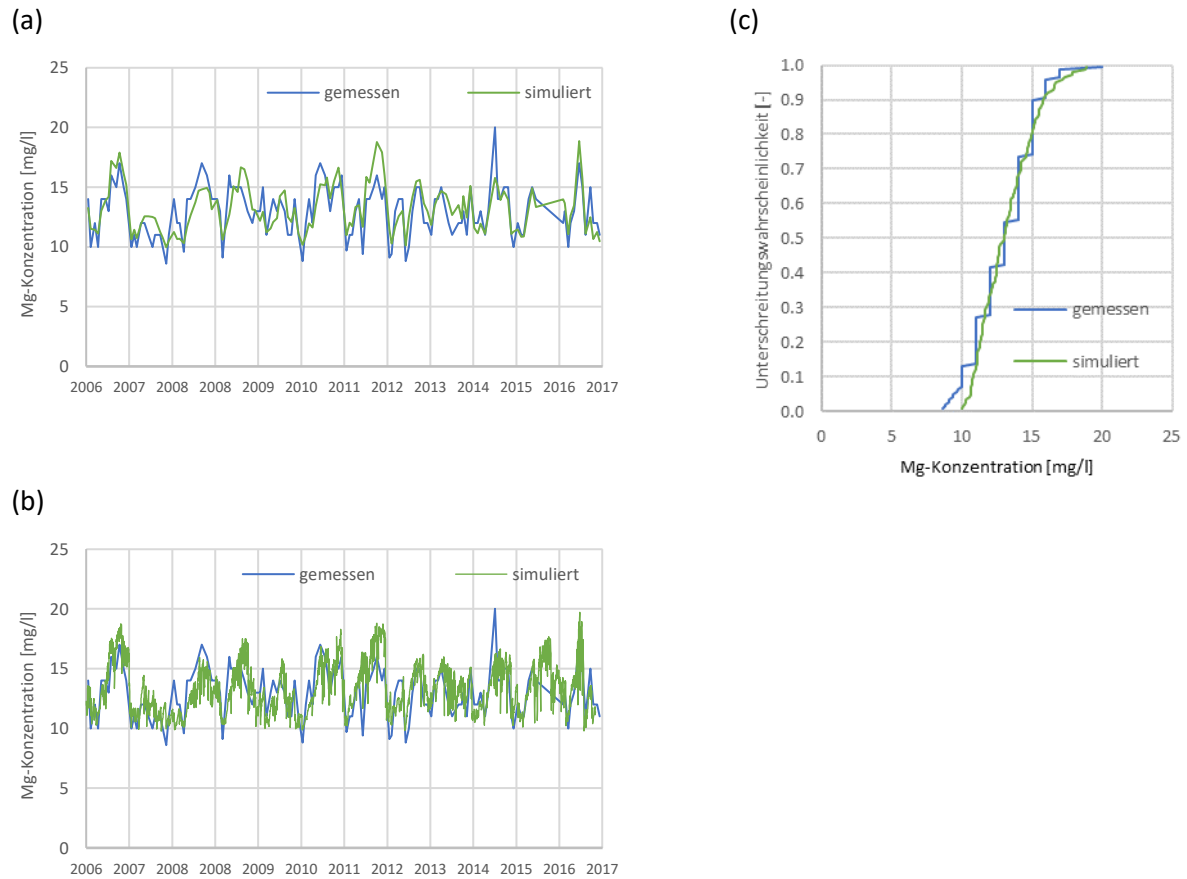


Abbildung 8: Gütemessstelle Heinde (Innerste): Kalibrierung diffuser Mg-Einträge (a) Ganglinie Mg-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie Mg-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung Mg-Konzentration

Tabelle 9: Vergleich Messung / Modell (Statistik) Mg-Konzentrationen Messstelle Heinde

Statistische Werte	Mg (mg/l)		Abweichung Modell/Messung (%)
	Messung	Modell	
Mittelwert	13,0	13,2	1,6
10-Perz.	10,0	10,8	8,3
Median	13,0	13,0	0
90-Perz.	15,1	15,8	4,6

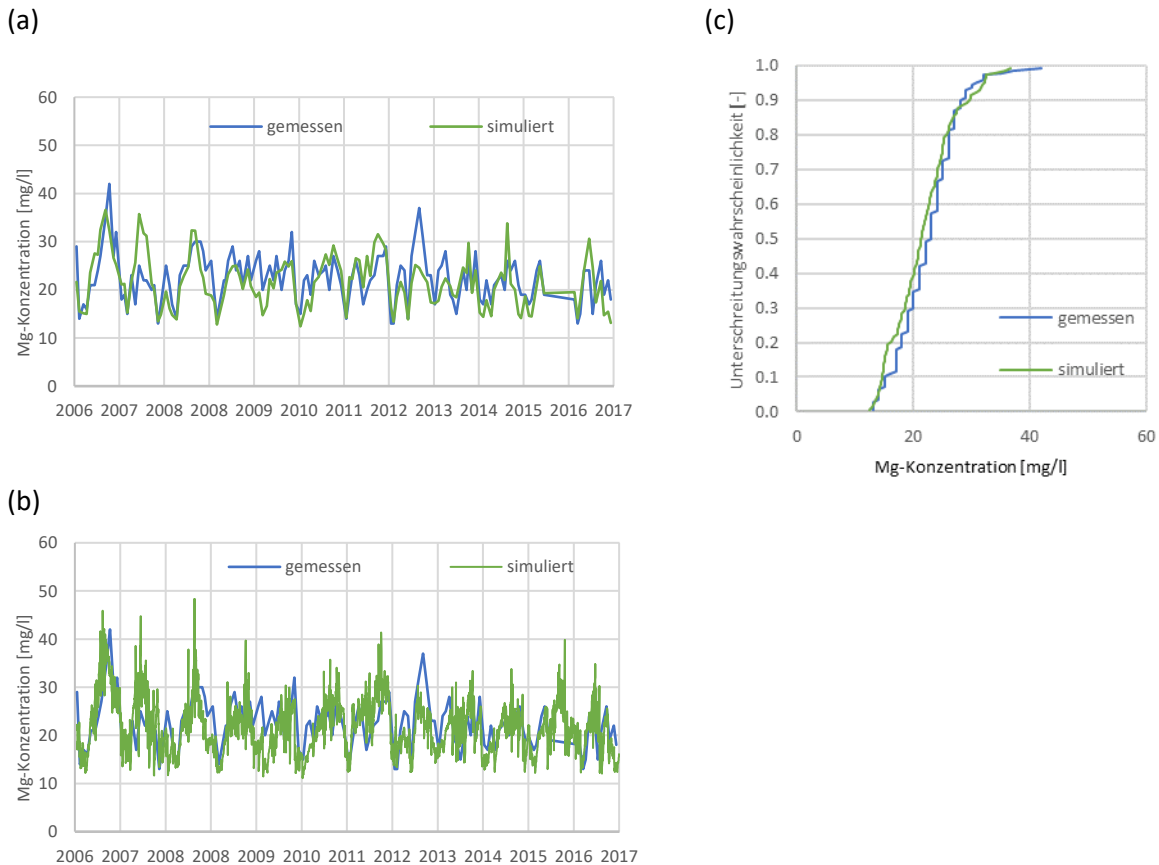


Abbildung 9: Gütemessstelle Sarstedt (Innerste): Kalibrierung diffuser Mg-Einträge (a) Ganglinie Mg-Konzentration (Messwerte mit simulierten Werten am gleichen Tag); (b) Ganglinie Mg-Konzentration (Messwerte mit gesamten simulierten Werten); (c) statistische Verteilung Mg-Konzentration

Tabelle 10: Vergleich Messung / Modell (Statistik) Mg-Konzentrationen Messstelle Sarstedt

Statistische Werte	Mg (mg/l)		Abweichung Modell/Messung (%)
	Messung	Modell	
Mittelwert	22,4	21,6	-3,6
10-Perz.	15	14,6	-2,7
Median	23	21,3	-7,4
90-Perz.	28,2	29,6	5,0

5.2 Anpassung des Flussgebietsmodells im Bereich der Althalde an aktuelle technische Daten

Die Abbildung der Althalde im Modell wurde im Rahmen der Berechnungen in 2017 angepasst (siehe [SYDRO Consult 2017]). Hierzu gehörten insbesondere die vorhandenen Speicherkapazitäten, drei Intze-Tanks mit jeweils 1.500 m³ Speichervolumen, die dazugehörigen Pumpen und die vorhandene Leitung zur Innerste. Das Speichervolumen wurde für die aktuelle Modellierung so verändert, dass statt der insgesamt 4.500 m³ nur 2.250 m³ als tatsächlich nutzbarer Speicher angesetzt wurden. Die Kapazität der Intzepumpen wurde bei 40 m³/h belassen. Die maximale Einleitmenge wurde begrenzt, um die Einhaltung der maximal zulässigen Mengen der Wasserrechtlichen Erlaubnis sicherzustellen.

Im Rahmen der Modellierung in 2014 [SYDRO Consult 2014] wurden in Absprache mit dem Auftraggeber Betriebsregeln im Modell implementiert, die in 2017 hinsichtlich ihrer Relevanz für die aktuellen Simulationen beurteilt und angepasst wurden [SYDRO Consult 2017]. Diese Regelungen wurden beibehalten, sind jedoch nicht von Relevanz für die Modellergebnisse.

5.3 Einleitsteuerung

Die Steuerung im Modell erfolgt unter Berücksichtigung des Grundprinzips, dass die Einleitung von Salzabwässern durch die Kapazität des Einleitrohres, durch die maximal zulässige Einleitmenge sowie durch die festgelegten Konzentrations-Zielwerte für Chlorid am Pegel Sarstedt beschränkt ist. Zunächst wird für Chlorid eine sogenannte Aufsalzungsspanne berechnet, d.h. die Menge an Fracht, die eingeleitet werden kann, ohne den Überwachungswert zu überschreiten. Dazu wird der Abfluss an der Einleitstelle abgefragt und mit dem Überwachungswert multipliziert, um auf die erlaubte Gesamtfracht (inkl. Vorbelastung) im Fluss zu kommen.

Um weitere Einflüsse nach der Einleitung des Salzabwassers der Halde Siegfried-Giesen sowie weitere Unsicherheiten zu berücksichtigen, wird ein Steuerwert bei der Einleitsteuerung angesetzt, der einen gewissen Sicherheitsabstand zum Zielwert beinhaltet.

Mit dem Modell ist auch eine Steuerung auf mehrere Stoffparameter, also auf Cl, Mg und K, möglich. In dem Fall ist zu berücksichtigen, dass diese sich gegenseitig beeinflussen. So kann es z.B. sein, dass die Konzentration am Zielpegel eine Einleitung von Chlorid-Fracht erlauben würde, aber der Magnesium-Zielwert bereits ausgereizt ist, so dass keine Einleitung stattfinden kann. Allerdings setzt eine Steuerung auf alle drei Stoffparameter voraus, dass eine kontinuierliche Messung der Konzentrationen oder eine Korrelation über die Leitfähigkeit und die Tagesanalysen gewährleistet ist. In der Praxis ist eine Einleitsteuerung auf andere Salzparameter wie Magnesium und Kalium noch in der Entwicklungsphase.

In den aktuell mit dem Modell berechneten und nachfolgend dargestellten beiden Szenarien wird nur auf den Stoffparameter Chlorid gesteuert.

6 BERECHNUNGEN UND AUSWERTUNG

Mit dem Flussgebietsmodell wurden verschiedene Varianten gerechnet, unterschiedliche Überwachungs- und Steuerwerte bei unterschiedlichen Speichervolumina. Die Steuerung ist immer auf den Parameter Chlorid ausgerichtet.

Es sollte gezeigt werden, ob die laut Wasserrechtlicher Erlaubnis geltenden Überwachungswerte für die Vorbetriebsphase mit der vorhandenen Infratstruktur eingehalten werden können und ob eine Absenkung der Überwachungswerte analog der Betriebsphase 1, der Anfahrphase, möglich ist.

Nachfolgend werden die folgenden mit dem Flussgebietsmodell berechneten Szenarien dargestellt:

- Szenario I: Geltende wasserrechtliche Erlaubnis: Überwachungswert Chlorid 400 mg/l / 350 mg/l (im Regelbetrieb)

Im Szenario I wurde geprüft, ob die Überwachungswerte für die Betriebsphase 0, Vorbetriebsphase:

- Chlorid 400 mg/l / 350 mg/l (im Regelbetrieb)
- Kalium 25 mg/l
- Magnesium 55 mg/l

mit der vorhandenen Infrastruktur an der Gütemessstelle Sarstedt eingehalten werden und wie sich die Konzentrationen für die drei Salzparameter darstellen.

- Szenario II: Absenkung des Chlorid Überwachungswertes auf 300 mg/l (Anfahrphase)

In Zusammenhang mit einer möglichen Wiederinbetriebnahme des Hartsalzwerkes sieht die Wasserrechtliche Erlaubnis für die Anfahrphase folgende Überwachungswerte vor:

- Chlorid 300 mg/l
- Kalium 20 mg/l (der Überwachungswert erhöht sich auf 25 mg/l, wenn das 90 Perzentil nicht über 17 mg/l liegt)
- Magnesium 35 mg/l (der Überwachungswert erhöht sich auf 45 mg/l, wenn das 90 Perzentil nicht über 32 mg/l liegt)

In Szenario II wurde geprüft, ob die vorhandene Infrastruktur auch die Einhaltung der Werte aus der Anfahrphase gewährleistet.

Der Zeitraum für alle Auswertungen bezieht sich auf eine 37-Jahres-Periode vom 01.11.1981 bis zum 31.10.2017. Das erste Simulationsjahr wurde nicht ausgewertet, da der mit dem NA-Modell simulierte Haldenabfluss in der Anfangszeit noch von den Startbedingungen abhängt.

Für die beiden Szenarien wurden jeweils die Konzentrationen für Chlorid, Kalium und Magnesium ausgewertet. Die Konzentrationen der drei Stoffe wurden als Ganglinien graphisch dargestellt. Die simulierten Konzentrationen wurden außerdem statistisch ausgewertet und als Dauerlinie dargestellt. Zudem wurden die Mittel- und die 90-Perzentilwerte sowie das Maximum für den gesamten Simulationszeitraum bestimmt.

Nachfolgend sind die Ergebnisse aus den beiden Szenarien für die Gütemessstelle Sarstedt dargestellt.

7 ERGEBNISSE

7.1 Sz I Geltende wasserrechtliche Erlaubnis: Cl Überwachungswert 350 mg/l

7.1.1 Konzentrationen Innerste

Im Szenario I wurde zunächst geprüft, ob der Überwachungswert von Chlorid 350 mg/l in Sarstedt eingehalten wird. Das Szenario stellt dar, wie sich die Chlorid-, Magnesium- und Kaliumkonzentrationen unter der Maßgabe der Einhaltung eines Chlorid-Überwachungswertes von 350 mg/l in den unterschiedlichen hydrologischen Jahren entwickeln. Außerdem sind die statistischen Werte für die Konzentrationen für den gesamten Zeitraum dargestellt. Der Steuerwert für Chlorid wurde so gewählt, dass der Überwachungswert von 350 mg/l sicher eingehalten wird. Die simulierten Konzentrationen für Magnesium und Kalium sind ebenfalls mit aufgeführt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Sz I: Statistische Werte für Cl, Mg und K bei Cl-Überwachungswert 350 mg/l an der Messstelle Sarstedt

Parameter	Überwachungswert [mg/l]	Steuerwert [mg/l]	Maximum [mg/l]	Mittelwert [mg/l]	90-Perz. [mg/l]
Cl	350	330	298,1	138,5	198,1
Mg	55	-	54,9	23,9	33,6
K	25	-	23,7	10,5	15,4

Der Überwachungswert aus der Anfahrphase für Chlorid von 300 mg/l wird deutlich unterschritten. Kalium überschreitet den Überwachungswert von 20 mg/l im Maximum, jedoch nur in Einzelfällen. Zudem erhöht sich der Wert von 20 mg/l auf 25 mg/l, wenn der 90-Perzentil-Wert nicht über 17 mg/l

liegt. Für Magnesium wird von dem Wert aus der Anfahrrphase von 35 bzw. 45 mg/l abgewichen, das 90-Perzentil liegt mit 33.6 mg/l über dem angestrebten Wert von 32 mg/l. In den nachfolgenden Abbildungen sind die Ganglinien und die Dauerlinien für alle drei Parameter dargestellt.

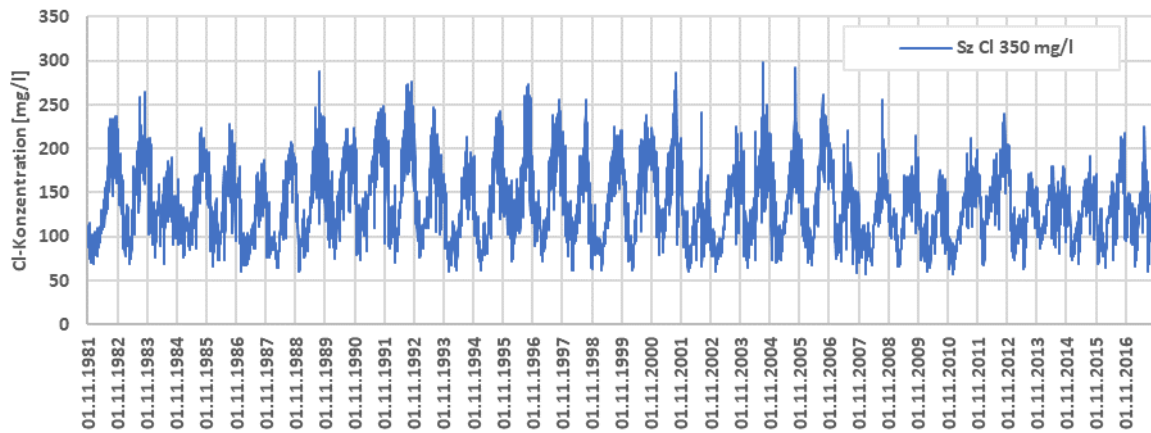


Abbildung 10: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l

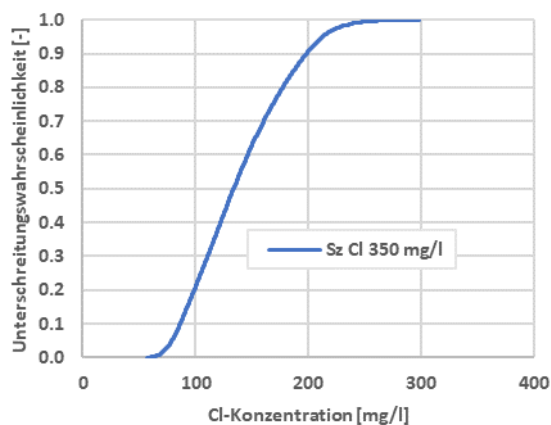


Abbildung 11: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l

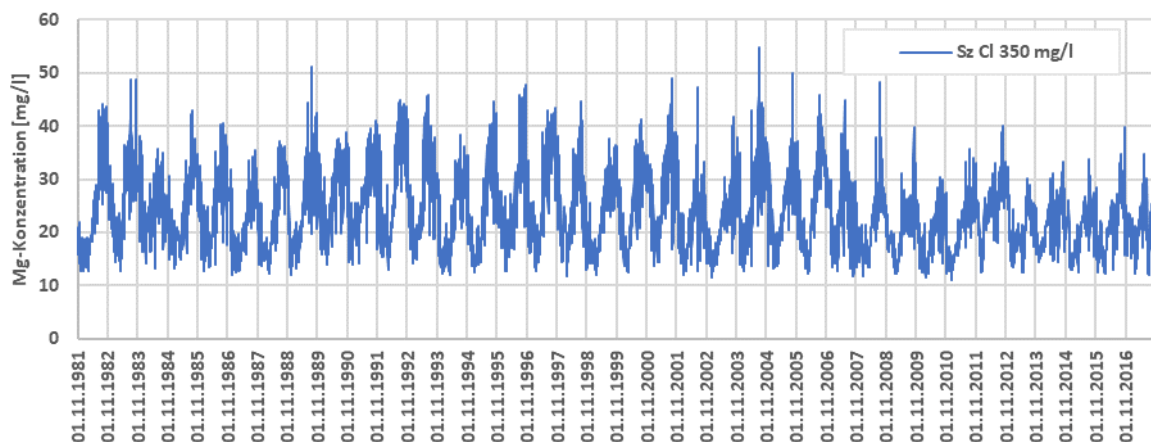


Abbildung 12: Simulierte Mg-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l

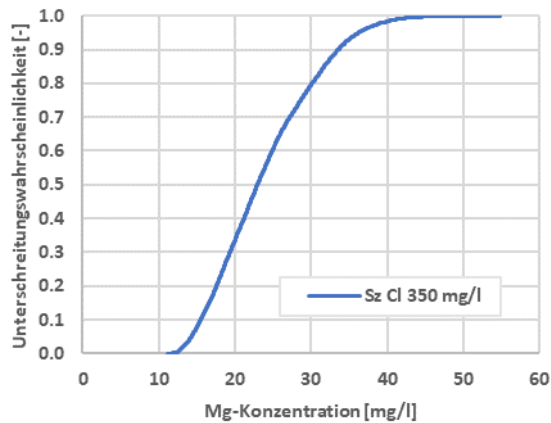


Abbildung 13: Simulierte Mg-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l

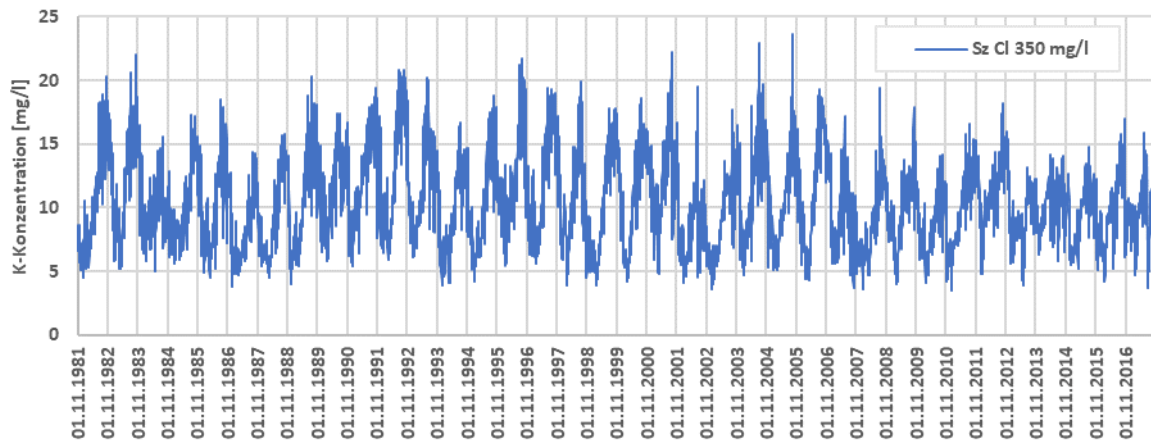


Abbildung 14: Simulierte K-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l

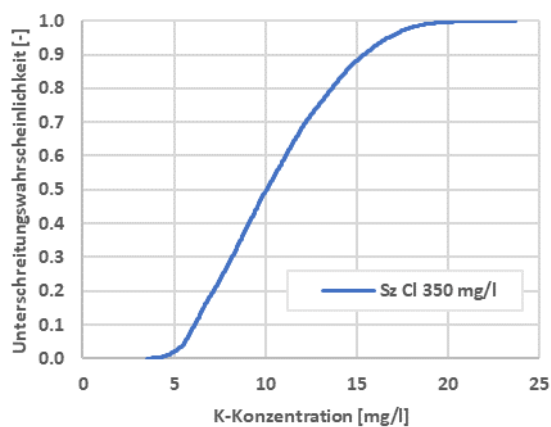


Abbildung 15: Simulierte K-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz I: Überwachungswert Cl 350 mg/l

Die Intze-Tanks füllen sich in dieser Variante nur selten und nur sehr geringfügig, ein Überhang entsteht nicht. Die maximal zulässigen Einleitmengen werden eingehalten.

7.2 Sz II Absenkung des Chlorid Überwachungswertes auf 300 mg/l

In Szenario II wurde der Überwachungswert für Chlorid der Anfahrphase von 300 mg/l mit einem Steuerwert von 270 mg/l angesteuert, mit einer Steuerung auf den Parameter Chlorid, so dass der Überwachungswert sicher eingehalten wird (Tabelle 11).

Tabelle 12: Sz II: Statistische Werte für Cl, Mg und K bei Cl-Überwachungswert 300 mg/l an der Messstelle Sarstedt

Parameter	Überwachungswert [mg/l]	Steuerwert [mg/l]	Maximum [mg/l]	Mittelwert [mg/l]	90-Perz. [mg/l]
Cl	300	270	264,4	138,4	198,4
Mg	35 (45)	-	50,6	23,9	33,6
K	20 (25)	-	21,6	10,5	15,4

Es zeigt sich, dass der Überwachungswert für Chlorid der Anfahrphase bei Steuerung auf 270 mg/l sicher eingehalten werden kann. Der Maximalwert liegt bei 264 mg/l, der 90-Perzentil bei 198,4 mg/l und im Mittel beträgt die Chloridkonzentration 138,4 mg/l.

Die Überwachungswerte für Magnesium und Kalium, die für die Anfahrphase festgelegt wurden, können mit der bestehenden Infrastruktur nur für Kalium eingehalten werden. Der simulierte Maximalwert für Magnesium liegt bei 50,6 mg/l und somit deutlich über dem Überwachungswert von 35 mg/l (oder 45 mg/l für den Fall eines 90-Perzentils < 32 mg/l). Wie auch in Abbildung 18 ersichtlich, handelt es sich dabei nicht um nur vereinzelte Überschreitungen des Überwachungswertes von 35 mg/l. Dies verdeutlicht auch der 90-Perzentilwert, der bei knapp 34 mg/l liegt.

Für Kalium wird der Überwachungswert von 20 mg/l ebenfalls überschritten, jedoch nur geringfügig und nur wenige Male im gesamten Simulationsraum. Der 90-Perzentil-Wert für Kalium liegt dabei unter 17 mg/l, womit laut Wasserrechtlicher Erlaubnis der Überwachungswert von 25 mg/l gültig wird. Dieser wird im gesamten Simulationszeitraum unterschritten.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Ganglinien und die Dauerlinien für alle drei Parameter dargestellt.

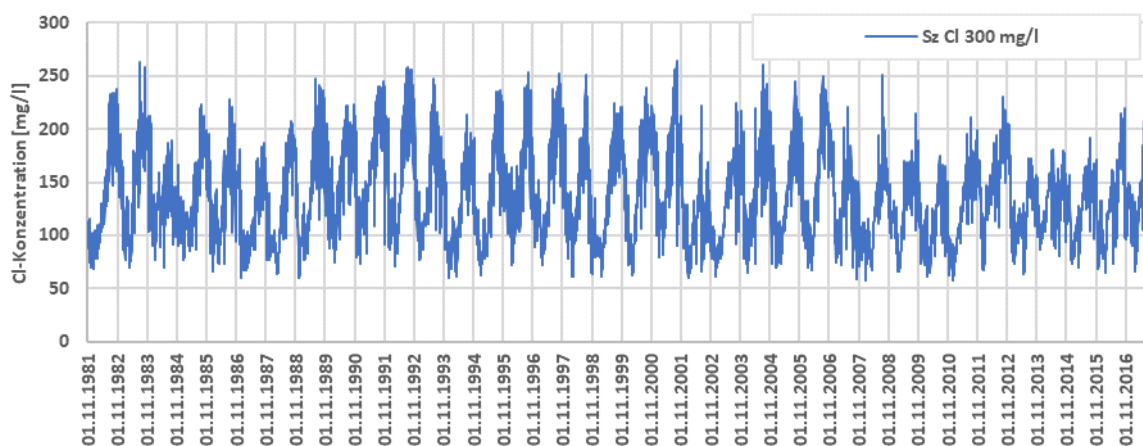


Abbildung 16: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l

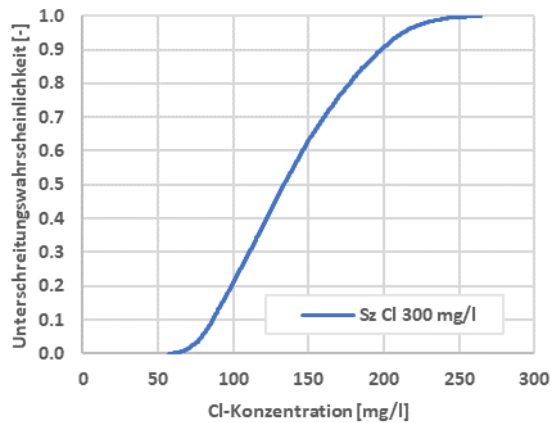


Abbildung 17: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l

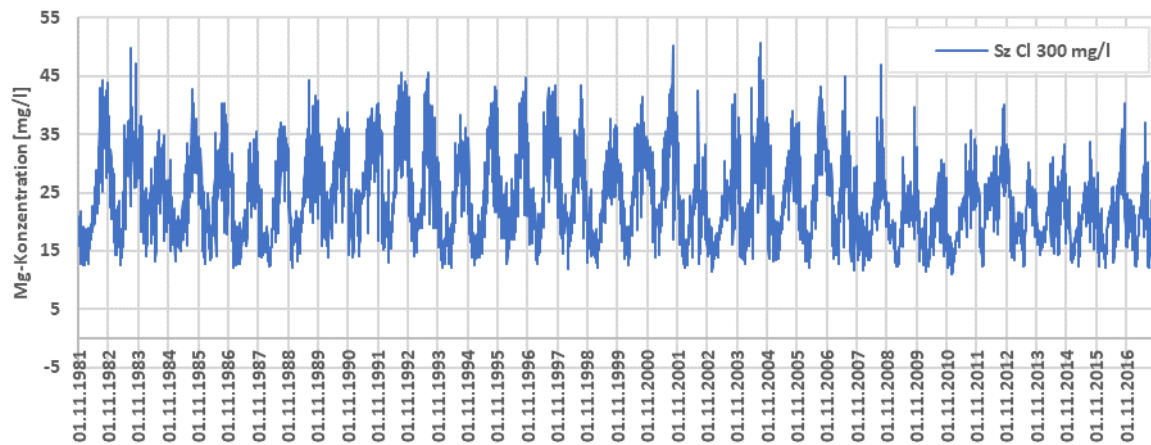


Abbildung 18: Simulierte Mg-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l

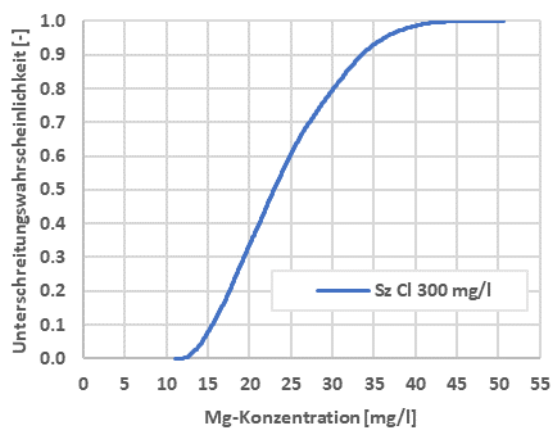


Abbildung 19: Simulierte Mg-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l

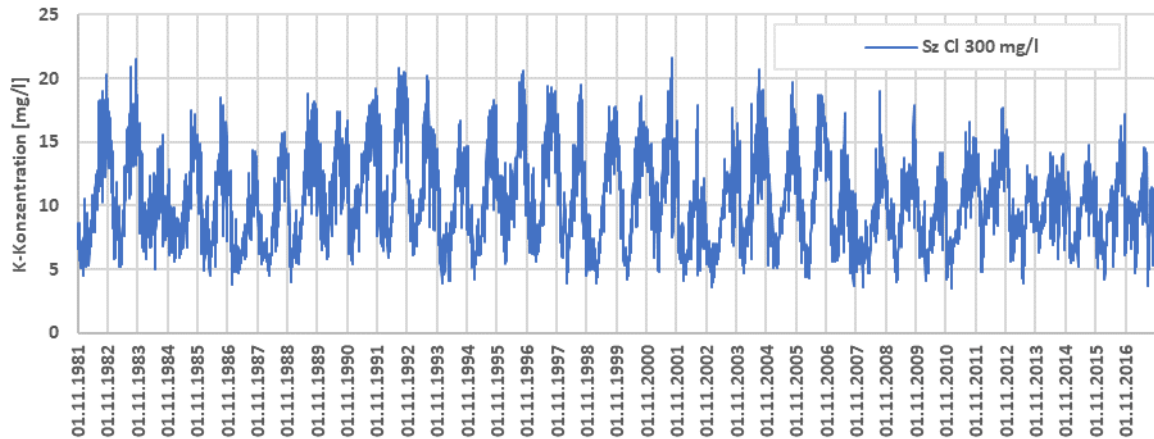


Abbildung 20: Simulierte K-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Ganglinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l

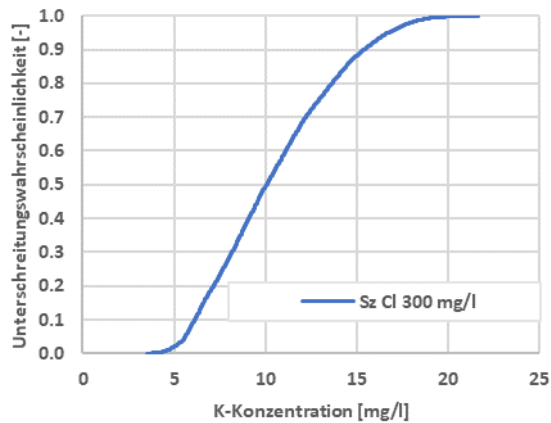


Abbildung 21: Simulierte K-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l

Die Absenkung des Überwachungswertes für Chlorid von 350 mg/l auf 300 mg/l führt in erster Linie zu einer Reduzierung der Maximalwerte, während die Mittelwerte und 90-Perzentilwerte sich nur geringfügig verändern. In Abbildung 22 ist die Reduzierung der Chlorid-Konzentrationen nochmals im Vergleich für die beiden Szenarien in der Dauerlinie für die Messstelle Sarstedt dargestellt.

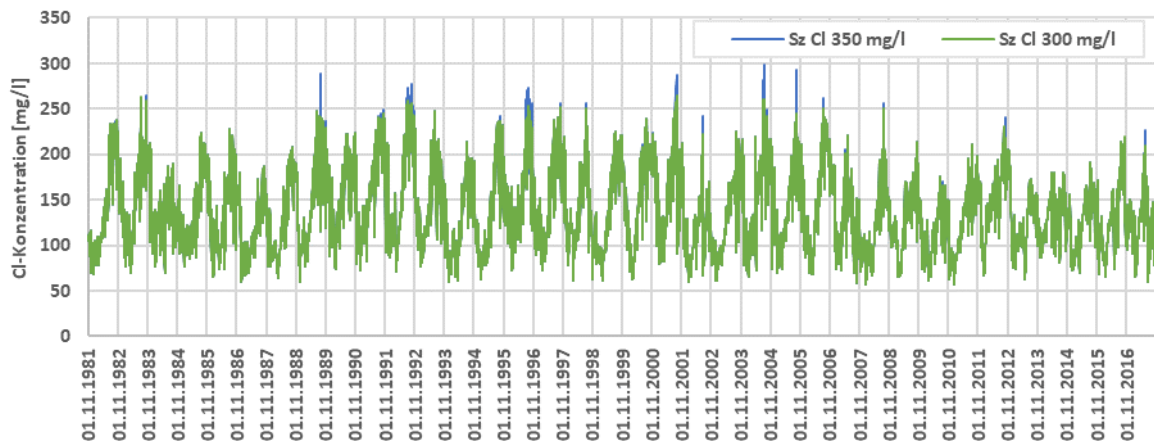


Abbildung 22: Simulierte Cl-Konzentration in der Innerste nach der Einleitung (Sarstedt) als Dauerlinie; Sz I Überwachungswert 350 mg/l im Vergleich zu Sz II: Überwachungswert Cl 300 mg/l

Es ist erkennbar, dass die Spitzen in Szenario II geringer ausfallen.

Die Intze-Tanks füllen sich in dieser Variante etwas häufiger als in Szenario I, ein Überhang entsteht ebenfalls nicht (siehe Abbildung 23). Die maximal zulässigen Einleitmengen werden ebenfalls eingehalten.

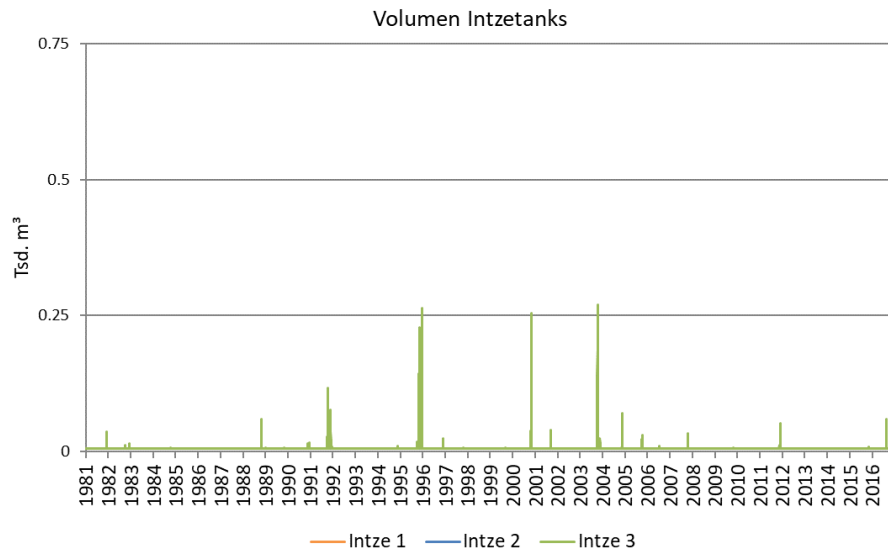


Abbildung 23: Sz II, Volumen Intzetanks

7.3 Konzentrationen in der Leine vor und nach Zusammenfluss mit der Innersten

Um die Auswirkung der Salzabwassereinleitung der Althalde Siegfried-Giesen auf die Konzentrationen in der Leine beurteilen zu können, wurden die Chloridfrachten aus der Einleitung der Althalde, der Innersten bei Sarstedt sowie der Leine bei Herrenhausen ausgewertet. Außerdem wurden die Konzentrationsverläufe für Chlorid, Magnesium und Kalium in der Leine vor und nach dem Zusammenfluss mit der Innersten sowie an der Messstelle Sarstedt in der Innersten dargestellt. Die Auswertungen beziehen sich jeweils auf Szenario 1 bei Einhaltung des geltenden Überwachungswertes Chlorid 350 mg/l, gelten jedoch ebenso für Szenario 2.

Es zeigt sich, dass der Frachtanteil aus der Einleitung der Althalde Siegfried-Giesen an der Gesamtfracht der an der Leine gelegenen Messstelle Herrenhausen gering ist und im Mittel über den gesamten Simulationszeitraum etwa 7% beträgt (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25a). Der Anteil der Fracht aus der Innersten bei Sarstedt an der Gesamtfracht bei Herrenhausen (jeweils diffuse Fracht plus Einleitung) beträgt etwa 24% (siehe Abbildung 25b).

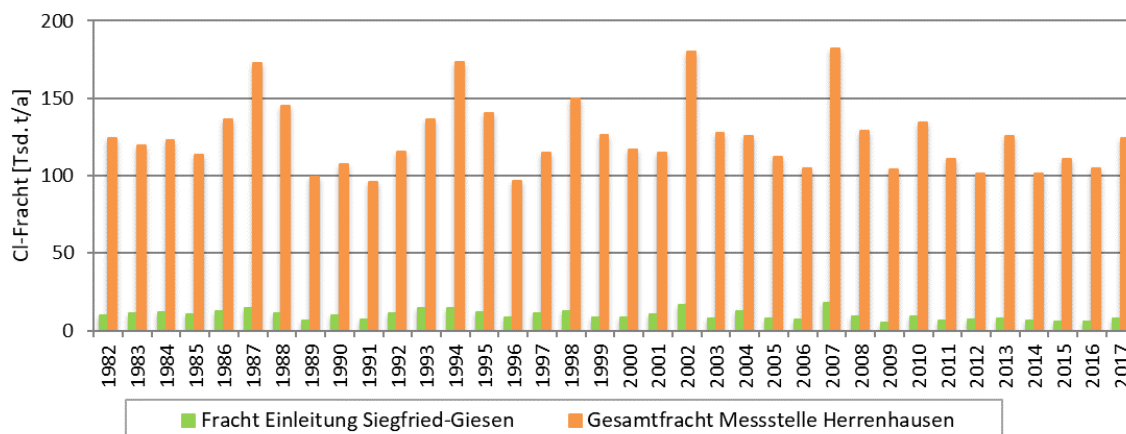
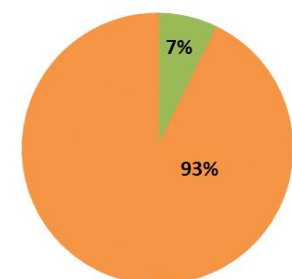


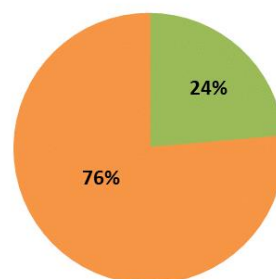
Abbildung 24: Chloridfracht anteilig: Fracht Einleitung Siegfried-Giesen, Gesamtfracht Messstelle Herrenhausen

a)



■ Fracht Einleitung Siegfried-Giesen
■ Fracht Leine, Herrenhausen

b)



■ Fracht Innerste, Sarstedt
■ Fracht Leine, Herrenhausen

Abbildung 25: Chloridfracht im gesamten Simulationszeitraum (hydrologische Jahre 1981-2017), anteilig:
a) Einleitung Siegfried-Giesen, Messstelle Herrenhausen b) Innerste (Sarstedt), Leine (Herrenhausen)

In Abbildung 26 bis Abbildung 28 sind die modellierten Konzentrationsverläufe für Chlorid, Magnesium und Kalium an den Messstellen Poppenburg und Herrenhausen an der Leine (vor bzw. nach dem Zusammenfluss von Innerste und Leine) sowie an der Messstelle Sarstedt an der Innersten im gesamten Simulationszeitraum dargestellt.

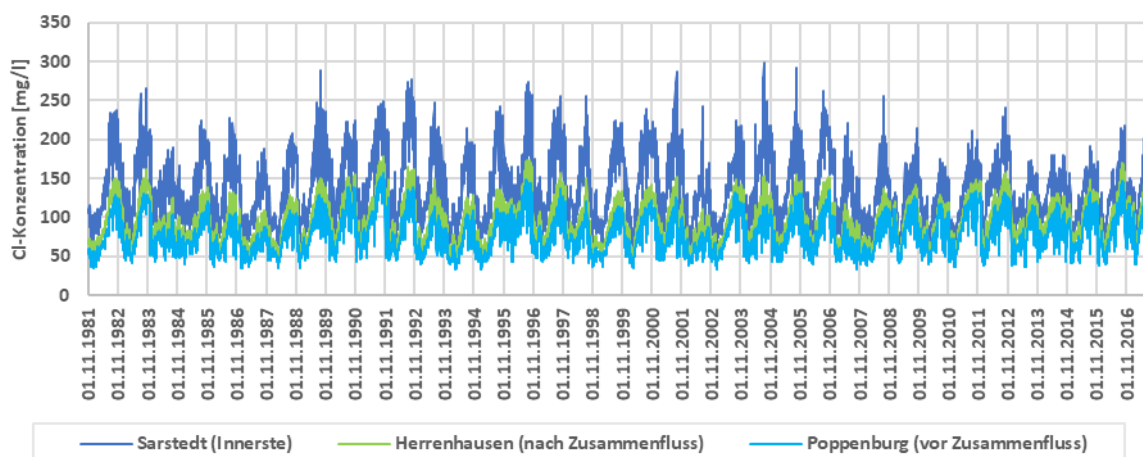


Abbildung 26: Chloridkonzentrationen im Vergleich für die Messstellen Sarstedt (Innerste), und Herrenhausen (Leine nach Zusammenfluss mit der Innersten) und Poppenburg (Leine vor Zusammenfluss mit der Innersten) (bei Überwachungswert Chlorid 350 mg/l)

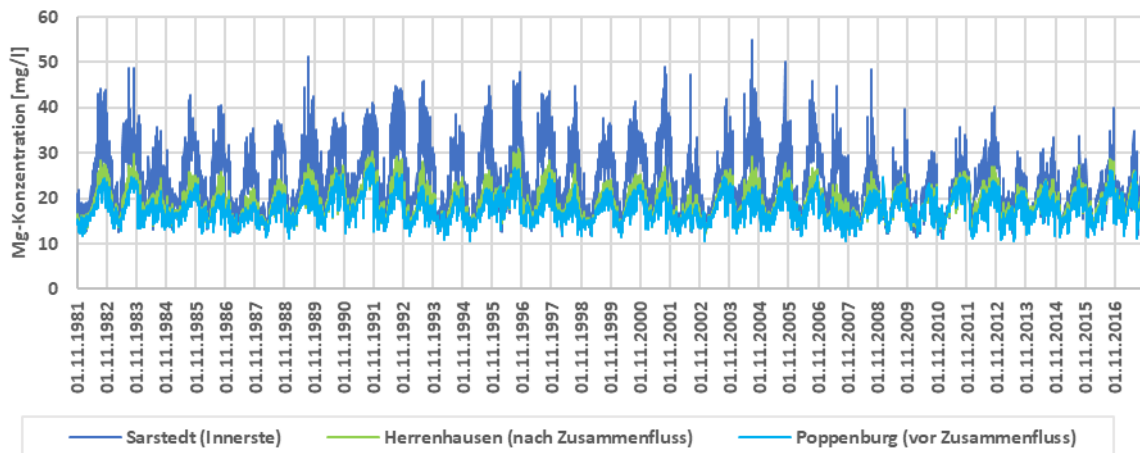


Abbildung 27: Magnesiumkonzentrationen im Vergleich für die Messstellen Sarstedt (Innerste), und Herrenhausen (Leine nach Zusammenfluss mit der Innersten) und Poppenburg (Leine vor Zusammenfluss mit der Innersten) (bei Überwachungswert Chlorid 350 mg/l)

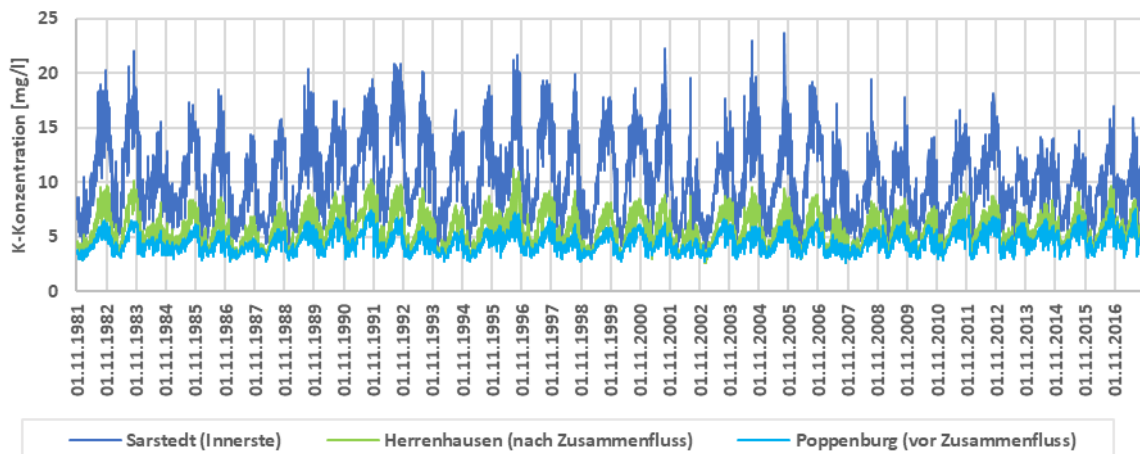


Abbildung 28: Kaliumkonzentrationen im Vergleich für die Messstellen Sarstedt (Innerste), und Herrenhausen (Leine nach Zusammenfluss mit der Innersten) und Poppenburg (Leine vor Zusammenfluss mit der Innersten) (bei Überwachungswert Chlorid 350 mg/l)

Die Konzentrationen in der Innerste bei Sarstedt liegen deutlich über den Konzentrationen an den beiden dargestellten Messstellen der Leine. Aufgrund des etwa 5-fach höheren Abflusses der Leine im Verhältnis zum Abfluss in der Innersten bei Sarstedt führt der Zufluss der Innersten insgesamt jedoch nur zu einer geringen Konzentrationserhöhung. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass der Anstieg der Konzentrationen nicht nur auf die Einleitung aus Siegfried-Giesen zurückzuführen ist, sondern ebenfalls auf die diffusen Einträge in der Innersten sowie der Leine.

Um dies zu verdeutlichen, sind in Abbildung 29 beispielhaft die Chlorid-Konzentrationen an der Messstelle Bordenau-Ricklingen (noch oberhalb der Einleitung aus Sigmundshall) dargestellt. Es zeigt sich, dass hier aufgrund der diffusen Einträge ebenfalls eine Konzentrationserhöhung zwischen den Messstellen stattfindet.

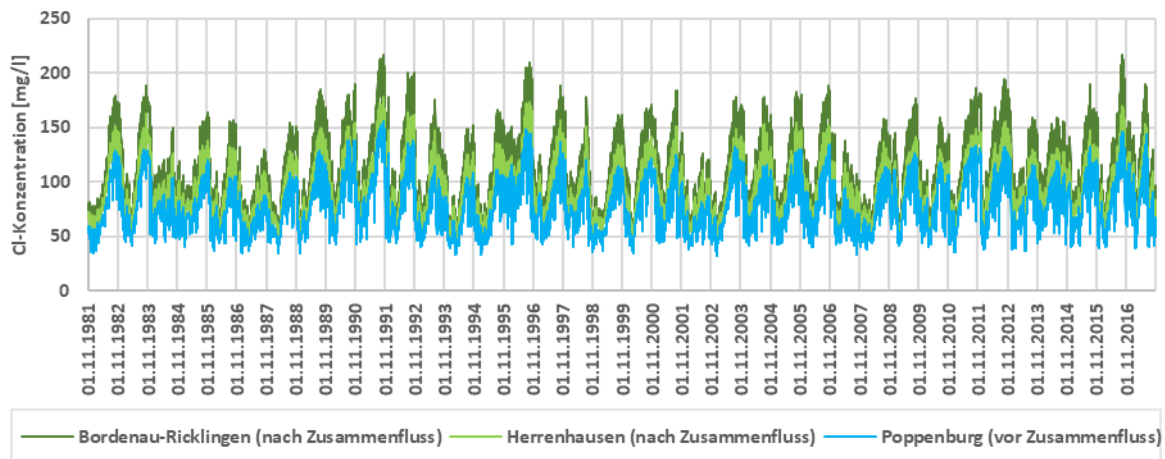


Abbildung 29: Chloridkonzentrationen im Vergleich für die Messstellen Bordenau-Ricklingen, Herrenhausen (jeweils Leine nach Zusammenfluss mit der Innersten) und Poppenburg (Leine vor Zusammenfluss mit der Innersten) (bei Überwachungswert Chlorid 350 mg/l)

8 PROGNOSE DER ENTWICKLUNG DER SULFATKONZENTRATIONEN

Für die Salzparameter Chlorid, Magnesium und Kalium wird mit der Flussgebietsmodellierung abgebildet, wie sich die Konzentrationen in der Innerste unter den verschiedenen Szenarien entwickeln. Für den Parameter Sulfat wurde darauf aufbauend eine Abschätzung vorgenommen, wie sich die Konzentrationen entwickeln, analog Szenario II, Überwachungswert Chlorid 300 mg/l.

Die in Sarstedt gemessenen Konzentrationen für Chlorid und Sulfat für den Zeitraum 2001 bis 2020 (Quelle: NLWKN) wurden einander gegenübergestellt und die Abhängigkeit der Konzentrationen voneinander ermittelt.

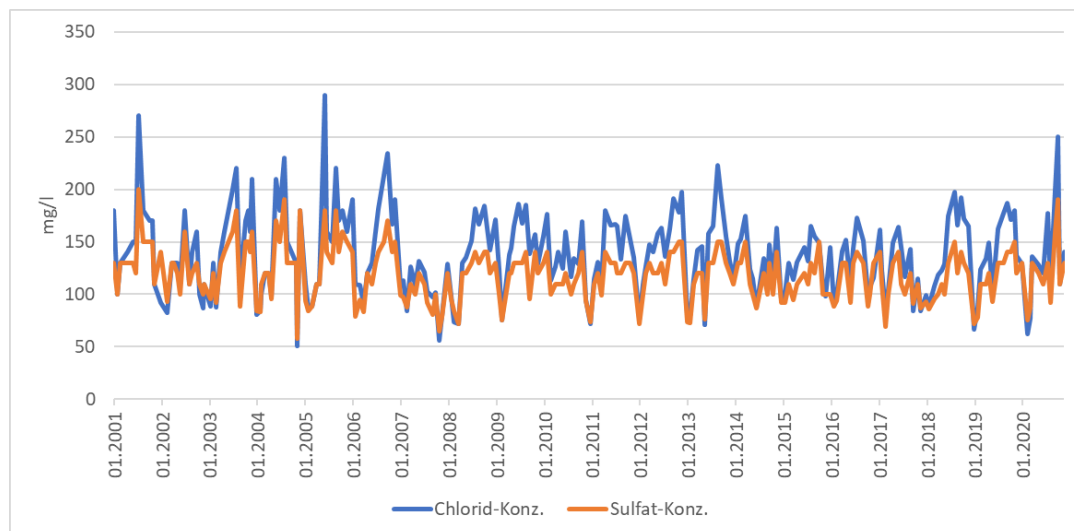


Abbildung 30: Chlorid- und Sulfatkonzentrationen, Gütemessstelle Sarstedt, 2001-2020 (Quelle: NLWKN)

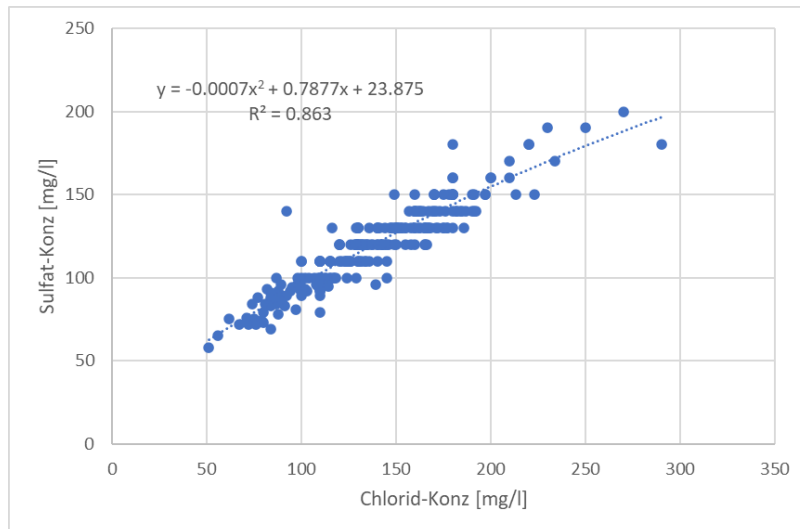


Abbildung 31: Chlorid- und Sulfatkonzentrationen, Gütemessstelle Sarstedt, 2001-2020 (Quelle: NLWKN)

Anhand der hier ermittelten Formel wurde die Sulfat-Konzentration, die sich in Abhängigkeit der in Sz II, Chlorid 300 mg/l, simulierten Cl-Konzentrationen ergeben würde, berechnet.

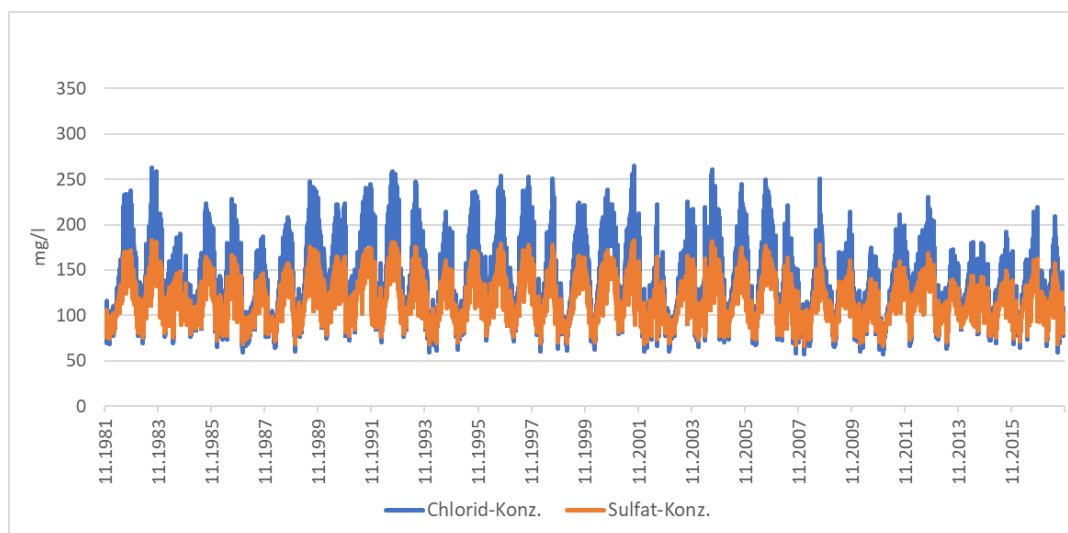


Abbildung 32: Berechnete Sulfatkonzentrationen, Szenario II, Cl Überwachungswert 300 mg/l

Die Wasserrechtliche Erlaubnis sieht vor, dass eine Sulfatkonzentration von 200 mg/l als arithmetisches Mittel aus den Jahresmittelwerten von maximal drei aufeinanderfolgenden Kalenderjahren nicht überschritten werden darf. Die Berechnung zeigt, dass das Maximum der berechneten Sulfatkonzentration bei 183,2 mg/l liegt, der Mittelwert bei 118,3 mg/l, also deutlich unter 200 mg/l. Der 90-Perzentil liegt bei 152,6 mg/l. Im Vergleich dazu liegen die berechneten Konzentrationen für Sz I (Überwachungswert Cl 350 mg/l) in der Maximalkonzentration bei 196,5 mg/l, im Mittelwert und 90-Perzentil hingegen gibt es keine Veränderung (Mittelwert 118,3 mg/l, 90-Perzentil 152,5 mg/l).

9 KLIMAWANDEL

Die Langzeitsimulation im Flussgebietsmodell umfasst den Zeitraum vom 1982 bis 2017. In diesem Zeitraum sind Jahre mit weniger Niederschlag und länger andauernden Niedrigwasserphasen berücksichtigt, aber auch Jahre mit hohem Jahresniederschlag oder auch extremen Niederschlagsereignissen.

Nachfolgend ist für die Messstelle Sarstedt beispielhaft dargestellt, wie sich der Abfluss in der Innerste in den Jahren 2003, 2007 und 2012 dargestellt hat (siehe Abbildung 33 bis Abbildung 35). Es zeigt sich, dass z.B. in 2003 und 2012 längere Phasen mit geringem Abfluss herrschten, Ende September 2007 gab es ein sehr hohes Abflussereignis.

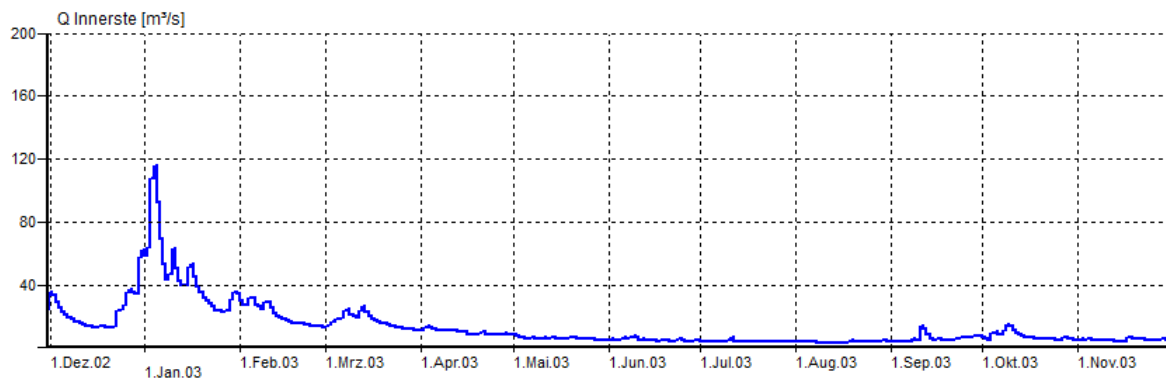


Abbildung 33: Abfluss Sarstedt, hydrologisches Jahr 2003 (simuliert)

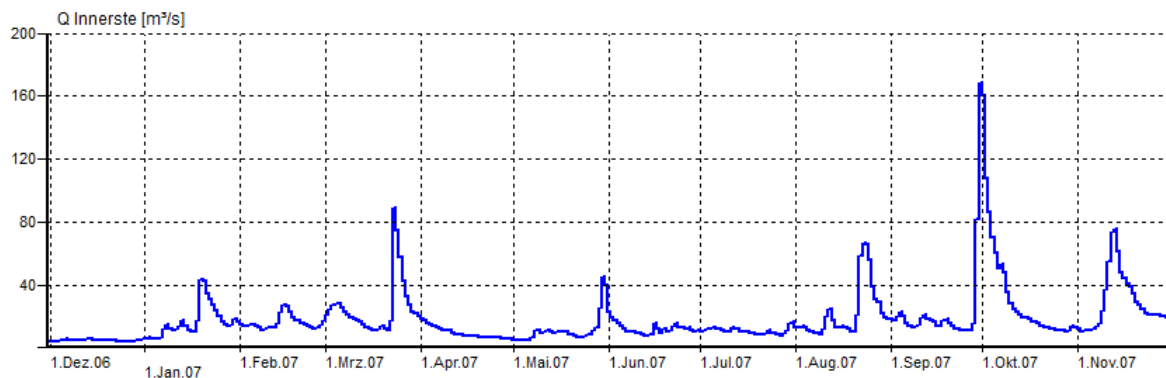


Abbildung 34: Abfluss Sarstedt, hydrologisches Jahr 2007 (simuliert)

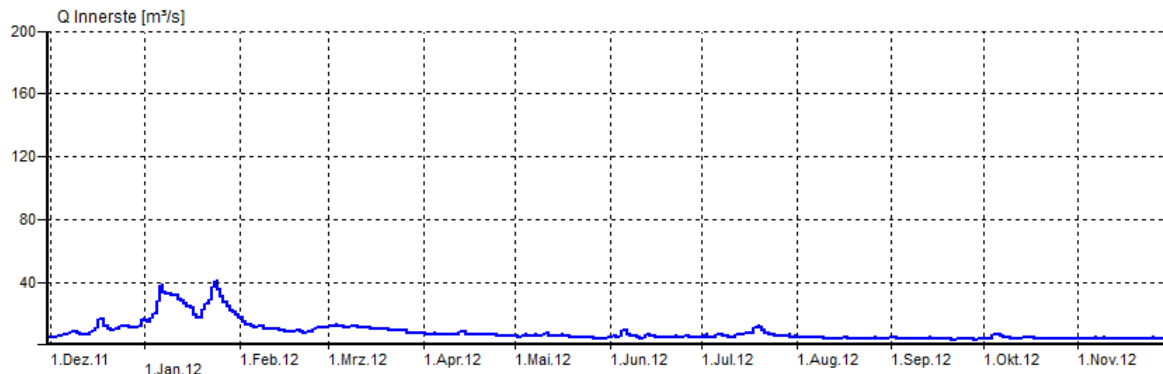


Abbildung 35: Abfluss Sarstedt, hydrologisches Jahr 2012 (simuliert)

In Abbildung 36 ist dargestellt, wie sich die Abflüsse in der Innerste in den letzten Jahren (bezogen auf die Gesamtjahresmenge) entwickelt haben. Daraus ist für den Simulationszeitraum noch kein eindeutig abnehmender Trend hin zu einer geringeren Abflussmenge abzulesen. Zudem zeigt sich, dass die höchsten Chloridkonzentrationen in der Innerste nicht unbedingt in den Jahren mit dem geringsten Abfluss auftreten, weder als 90-Perzentil noch als Maximalwert.

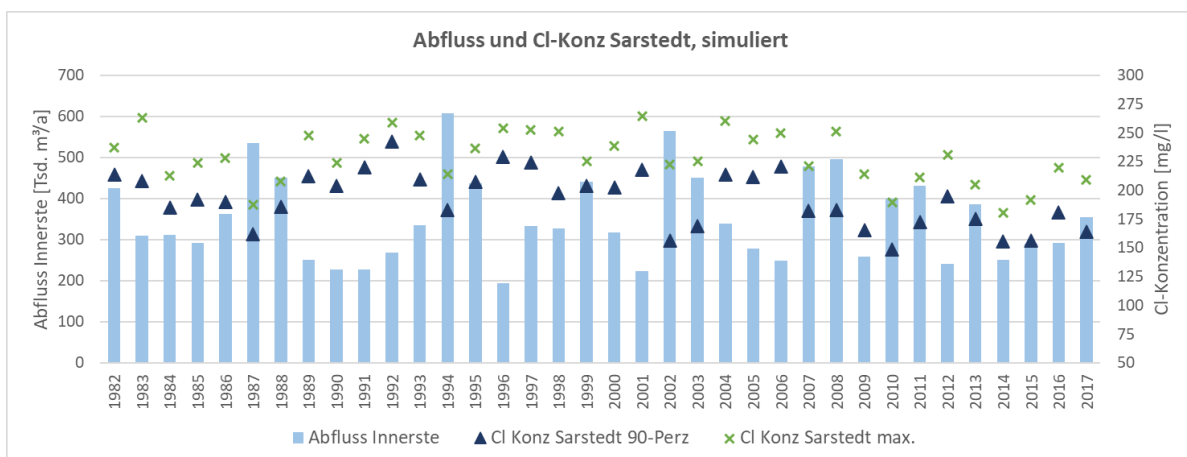


Abbildung 36: Abfluss und Chlorid-Konzentration Innerste Sarstedt (simuliert, Sz II)

Eine belastbare Prognose über die Veränderung der Niederschläge und Abflüsse in der nahen Zukunft, die auch in der Modellierung verwendet werden könnte, steht zurzeit nicht zur Verfügung. Es existieren verschiedene Klimaszenarien, diese umfassen jedoch ein breites Spektrum. Die im Bereich der Klimaprojektionen und Wasserhaushaltsmodellierung vorhandenen Unsicherheiten bedingen, dass nicht „die eine Prognose“ für die künftigen Änderungen von Abflussverhältnissen und des Wasserhaushalts erstellt werden kann (Internetauftritt NLWKN Wasserhaushaltsmodellierung, Abruf am 18.02.2023). Vielmehr werden mit verschiedenen Klima-Regionalmodellen verschiedene Abflussprojektionen berechnet, die zusammengekommen eine plausible Bandbreite von Aussagen und Ergebnissen abbilden (siehe Abbildung 37). Demzufolge gibt es Prognosen, die sowohl Zu- als auch Abnahmen des Abflusses (hier MHQ) voraussagen.

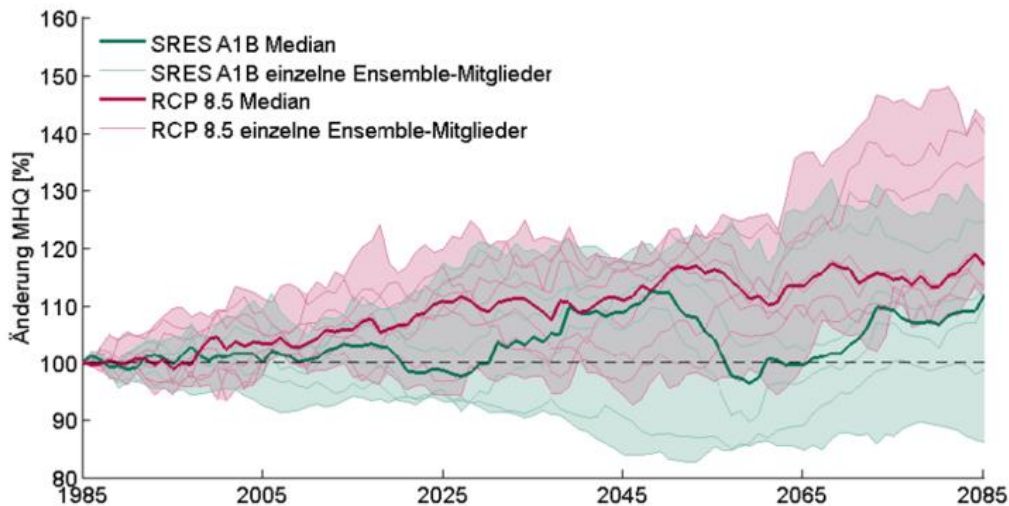


Abbildung 37: Entwicklung des gleitenden 30-jährigen Mittelwertes aus den Jahreshöchstwerten des Abflusses (MHQ) für die einzelnen Mitglieder des SRES A1B- und des RCP8.5-Ensembles sowie die Ensemble-Mediane für den Zeitraum 1971-2100 für den Pegel Rethem (<https://www.nlwkn.niedersachsen.de/assets/image/736/193922>)

Da in der Modellierung bereits unterschiedliche Abflussverhältnisse in der Innerste bei unterschiedlichen Einleitmengen abgedeckt werden und die vorhandenen Speicherkapazitäten auch bei Absenkung des Überwachungswerts von 350 mg/l Chlorid auf 300 mg/l Chlorid nur selten und auch nur geringfügig in Anspruch genommen werden, ist davon auszugehen, dass die Einhaltung des Überwachungswerts auch in zukünftigen Jahren mit der vorhandenen Infrastruktur sichergestellt werden kann.

Für den Fall einer Wiederinbetriebnahme des Werks besagt Punkt 2.1.1.5 „Fortschreibung der Haldenwasserbilanzierung und des Flussgebietsmodells“ der Wasserrechtlichen Erlaubnis, dass die Haldenwasserbilanz und das Flussgebietsmodell regelmäßig fortzuschreiben und Abweichungen zur Erst- bzw. vorangehenden Prognose darzustellen sind. Dabei sind insbesondere auch Auswirkungen auf kritische Betriebsjahre und etwaige Worst-Case-Szenarien zu nennen. Auch durch den Klimawandel voraussichtlich zunehmende Extremwetterereignisse würden somit bereits durch die Vorgaben der Wasserrechtlichen Erlaubnis berücksichtigt.

10 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN

Da die Wasserrechtliche Erlaubnis zur Einleitung von Salzabwasser der Althalde Siedfried-Giesen in die Innerste zum 31.12.2023 ausläuft, wurden als eine Grundlage für die Neubeantragung Varianten zur Entwicklung der Salzkonzentrationen in der Innerste mit dem Flussgebietsmodell Talsim-NG berechnet.

Anhand der Berechnungen sollte untersucht werden, welche Überwachungswerte für Chlorid, Magnesium und Kalium bei alleiniger Einleitung der Haldenwässer der Althalde und bestehender Infrastruktur möglich sind, und ob ggf. Anpassungen der technischen Anlagen dafür notwendig sind.

Grundlage für die Berechnungen war das Flussgebietsmodell, welches im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Hartsalzwerk Siegfried-Giesen durch die SYDRO Consult GmbH für das Einzugsgebiet von Leine und Aller erstellt wurde. Dieses wurde in 2017 hinsichtlich technischer Umbauten angepasst. Im aktuellen Modell wurde der Simulationszeitraum von bisher 1981 bis 2011 auf 1981 bis 2017 verlängert, die Abflüsse sowie Konzentrationsverläufe für Chlorid, Magnesium und Kalium im Gewässer geprüft und bei Bedarf angepasst.

Mit dem Flussgebietsmodell wurden folgende Szenarien berechnet:

- Szenario I: Geltende wasserrechtliche Erlaubnis: Überwachungswert Chlorid 400 mg/l bzw. 350 mg/l (im Regelbetrieb)
- Szenario II: Absenkung des Chlorid Überwachungswertes auf 300 mg/l (Anfahrphase)

Es konnte gezeigt werden, dass die derzeitigen Anforderungen der Vorbetriebsphase bei bestehender Infrastruktur eingehalten werden können. Eine Absenkung der Überwachungswerte auf die Werte der Anfahrphase ist hinsichtlich Chlorid und Kalium mit der bestehenden Infrastruktur realisierbar. Der Überwachungswert von 35 mg/l für Magnesium hingegen kann nur mit einer gleichzeitigen signifikanten Erhöhung der derzeitigen Speicherkapazitäten eingehalten werden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist auch zu berücksichtigen, dass sich die Überwachungswerte aus der Wasserrechtlichen Erlaubnis (Anfahrphase) auf Bedingungen beziehen, wie sie sich bei Wiederinbetriebnahme des Werks Siegfried-Giesen einstellen. In dem Fall würde das Haldenwasser aufgrund einer Vermischung der Haldenwässer der Althalde mit denen der Neuhalde insgesamt geringere Magnesiumkonzentrationen aufweisen. Bei Nicht-Inbetriebnahme des Werkes sollte daher eine Anpassung der Wasserrechtlichen Erlaubnis erfolgen in Hinsicht auf die Überwachungswerte für Magnesium. Die maximal zulässigen Einleitmengen werden in beiden Varianten eingehalten.

Desweiteren wurde die Auswirkung der Einleitung in Siegfried-Giesen auf die Salzkonzentrationen in der Leine hat. Der Frachtanteil an Chlorid aus der Einleitung beträgt bezogen auf die unterhalb des Zusammenflusses mit der Innersten gelegenen Messstelle Herrenhausen etwa 7%. Die Auswirkung auf die Konzentration ist damit gering.

Letztlich muss eine Abwägung hinsichtlich Beckengröße und der Verringerung der Salzkonzentration in der Innerste unter Berücksichtigung der Gesamtwirtschaftlichkeit erfolgen. Ebenso ist zu prüfen, mit welcher Messtechnik die Einhaltung der Überwachungswerte gesteuert und überwacht werden kann. Durch die Berücksichtigung aller drei Stoffparameter oder zumindest auch auf den für die Einleitung maßgeblichen Parameter, im aktuellen Fall Magnesium, kann eine effektivere Ausnutzung der Beckenvolumina erfolgen (siehe hierzu auch [SYDRO 2017]). Allerdings setzt eine Steuerung auf drei Stoffparameter voraus, dass eine kontinuierliche Messung der Konzentrationen oder eine Korrelation über die Leitfähigkeit und die Tagesanalysen gewährleistet ist. In der Praxis ist eine Einleitsteuerung auf andere Salzparameter wie Magnesium und Kalium noch in der Entwicklungsphase.

Es wird empfohlen, für zukünftige Berechnungen das Simulationsmodell in Bezug auf die meteorologischen und hydrologischen Daten fortzuschreiben. In dem Zusammenhang sollte dann auf Basis der aktuellen Analytik die Kalibrierung des Modells, auch hinsichtlich der Haldenwasserbilanzierung, überprüft und ggf. angepasst werden.

11 LITERATUR

SYDRO Consult (2014). Hartsalzwerk Siegfried-Giesen. Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan. Unterlage I – Bearbeitungsgrundlagen. I-13 Flussgebietsmodell Leine. Vorhabensträger: K+S Aktiengesellschaft. Erstellung der Unterlage: Sydro Consult GmbH. Hildesheim, 08.08.2014.

SYDRO Consult (2017). Fortschreibung des Flussgebietsmodells im Einzugsbereich von Leine und Aller - Sanierung Haldengraben Siegfried-Giesen. SYDRO Consult GmbH. Darmstadt, 11.12.2017.

NLWKN (2022): Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz – Landesdatenbank. <http://www.wasserdaten.niedersachsen.de/cadenza/pages/home/welcome.xhtml;jsessionid=2E26E1D82ACA42CA7267C2DD8A2FBBCD>

NLWKN (2023): Internetauftritt des Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz. Wasserhaushaltsmodellierung. Abruf am 18.02.2023. <https://www.nlwkn.niedersachsen.de/klimawandelkompakt/klimafolgenmodellierung/impactmodellierung-186636.html>