

Bilanzierungs- und Prognosemodell zur Salzbelastung von Werra und Weser

RUNDER TISCH

Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion



Februar 2010



**Ingenieurgesellschaft für Systemhydrologie
Wasserwirtschaft und Informationssysteme**

**Dipl.-Ing. Markus Funke
Dr.-Ing. Hubert Lohr**

Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung und Aufgabenstellung.....	2
2. Eingangsdaten für das Prognosemodell.....	2
3. Verwendete Modelle.....	3
4. Bewertungsgrundlage	12
5. Szenarien	15
6. Darstellung der Modellergebnisse	18
7. Zusammenfassung.....	30
8. Ausblick.....	30

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Hinblick auf die Einleitung von Salzlösungen in die Werra und im Zuge der EG-Wasserrahmenrichtlinie hat der Hessische und Thüringische Landtag die Einrichtung eines Runden Tisches für den Gewässerschutz von Werra und Weser eingerichtet. Um die Auswirkungen von potenziellen Gewässerschutzmaßnahmen bzw. den Eintrag von Produktionsabwässern beurteilen zu können, soll ein Bilanzierungs- und Prognosemodell für die Werra und Weser aufgestellt werden. Mit Hilfe dieses Werkzeuges sind Szenarienrechnungen vorgesehen, die unter anderem Fragestellungen in Bezug auf die Einleitung von Produktionsabwässern, die Haldenentwässerung und diffuse Stoffeinträge unter veränderlichen Abflussbedingungen betrachten.

Im September 2008 wurde das Ingenieurbüro SYDRO Consult GmbH beauftragt, ein Bilanzierungs- und Prognosemodell der Salzbelastung für die Werra und Weser zu erstellen.

2. Eingangsdaten für das Prognosemodell

Messdaten (Abfluss, Frachten bzw. Konzentrationen) aller im Wesereinzugsgebiet zur Verfügung stehenden Pegel und Messstellen wurden von der Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser), dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) und dem Regierungspräsidium Kassel (RP Kassel) zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht des Gewässersystems Werra/Weser, die Abgrenzung der Wasserkörper sowie die Lage der ausgewerteten Pegel und Gütemessstellen zeigen Abbildung A-1 bis Abbildung A-5 im Anhang. Der Messzeitraum und die Frequenz der Pegel- und Güte-Messungen sind in Tabelle A-1 im Anhang zusammengestellt. Angaben über die Beschaffenheit der punktförmigen Einleitungen in die Werra wurden von K+S bereitgestellt (siehe Tabelle A-2 im Anhang). Die potenzielle Entwicklung der diffusen Stoffeinträge in die Werra wurde vom HLUG prognostiziert und zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 11). Weiterhin wurden Daten wie Gewässerverläufe, Längsprofile, Querprofile und Querbauwerke von der Flussgebietsgemeinschaft Weser zur Verfügung gestellt.

3. Verwendete Modelle

Grundsätzliche Vorgehensweise

Für die Bearbeitung der Fragestellung wird das Transport- und Gütemodell AQUASIM eingesetzt. Ergänzend hierzu wird ein Flussmodell für die Werra und Weser mit dem Programm TALSIM aufgebaut. Beide Modelle kommen so zum Einsatz, dass die Stärken der Programme optimal genutzt und aufeinander abgestimmt werden können.

Die Modellierung der Zuflüsse und Einleitungen in die Werra und Weser sowie die Abbildung der fließenden Welle im Gewässer selbst erfolgt mit dem Programm TALSIM. Dabei können regelbare Querbauwerke in Werra und Weser mit ihrem Betrieb ebenso erfasst werden, wie unterschiedliche Betriebsszenarien zur Einleitung von Haldenabwässern oder diffuse Einträge.

Das Programm AQUASIM übernimmt die in TALSIM berechneten Zuflussbelastungen in der räumlichen Auflösung der Gewässerabschnitte und führt die Berechnung der Wasserqualität aus.

Beide Modelle sind bewährte Werkzeuge in der Wasserwirtschaft und besitzen eine generische Struktur. Das bedeutet, dass sie entsprechend der Aufgabenstellung über die jeweilige Benutzungsoberfläche vollständig konfigurierbar sind, ohne einen Eingriff in den Source-Code vornehmen zu müssen. Dies garantiert eine schnelle und sichere Bearbeitung.

Die seitlichen Zuflüsse werden aus den Pegeldaten abgeleitet. Zwischen zwei Pegelstandorten erfolgt die Bilanzierung der gemessenen Durchflüsse. Der Zuwachs des Durchflusses wird entlang der Fließstrecke proportional zur Zunahme des Einzugsgebietes angesetzt. Eine Niederschlag-Abfluss Modellierung (N-A Modell) erfolgt nicht. Grundsätzlich ist die N-A Modellierung jedoch mit Hilfe von TALSIM zukünftig möglich, falls sich dies für spätere Erweiterungen als erforderlich und hilfreich erweisen sollte.

Flussgebietsmodell TALSIM

Das Programm TALSIM ist im deutschsprachigen Raum ein Standardwerkzeug für die Modellierung von Flussgebieten und von Stauanlagen (einzeln oder im Verbund). Es wurde durch die Mitarbeiter von SYDRO entwickelt und ist bei großen Wasserverbänden in Nordrhein-Westfalen, Sachsen, in Luxemburg, in Norditalien sowie bei etlichen Universitäten und Ingenieurbüros im Einsatz. TALSIM ist ein umfassendes Werkzeug für die Modellierung der Wasserbilanz (mit oder ohne Niederschlag-Abfluss Modellierung), für den Wassertransport (Translation und Retention), für die Bewirtschaftung von Einzugsgebieten durch regel- und steuerbare Bauwerke und für die Hochwassersimulation. Aufgrund seiner Skalierbarkeit kann es sowohl für kleinräumige als auch für sehr große Einzugsgebiete eingesetzt werden.

Modellaufstellung

Der erste Schritt der Modellaufstellung besteht in der Erfassung der Gewässerabschnitte, der seitlichen Zuflüsse und der wasserwirtschaftlich relevanten Bauwerke im Gewässer selbst wie Wehre, Aufteilungen, Kanäle etc. Für jedes dieser wasserwirtschaftlich wirksamen Objekte entsteht im Modell ein eigenes Element. Die Elemente werden entsprechend ihren Fließbeziehungen verbunden und bilden die Systemstruktur.

Aufgrund des langen Zeitschrittes von 24 h und der großen Gewässerabschnittslänge von ca. 1000 m werden die Gewässerabschnitte über repräsentative Querprofile definiert. Dazu wird je Abschnitt ein repräsentatives Querprofil benutzt, welches im Sinne der Hydraulik den Abschnitt dominiert. Hydraulische Dominanz liegt vor, wenn ein Querprofil z.B. durch Rückstau die im Oberstrom liegenden Profile beeinflusst. Die Gewässerabschnitte sind dadurch nicht gleich lang, sondern ihre Längen sind vielmehr hydraulisch bestimmt.

Querbauwerke wie feste oder regelbare Wehre können entsprechend der Betriebsvorschrift erfasst werden. Dies ist auch bei einem Zeitschritt von 24 h angebracht, da mit zunehmendem Einzugsgebiet die Hochwasserereignisse länger andauern und die Regelung der Wehre die Wasserstände und damit auch die Fließgeschwindigkeit beeinflusst.

Seitliche oder diffuse Einleitungen werden durch spezielle Systemelemente als Quellen abgebildet. Diese sind in der Lage, abfluss- oder gebietsabhängige Parameter zu verarbeiten.

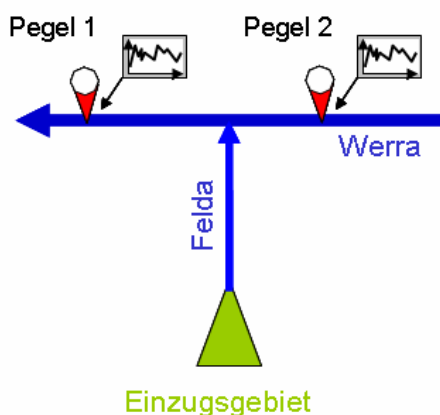
Zeitliche Auflösung

Die zeitliche Auflösung ist in der Aufgabenstellung mit 24 h vorgegeben. TALSIM verarbeitet diese Vorgabe als externen Zeitschritt, wobei der interne Zeitschritt (in den einzelnen Ansätzen für die Berechnung verwendet) auch kleiner werden kann, um rechnerisch bedingte Schwingungsvorgänge zu vermeiden.

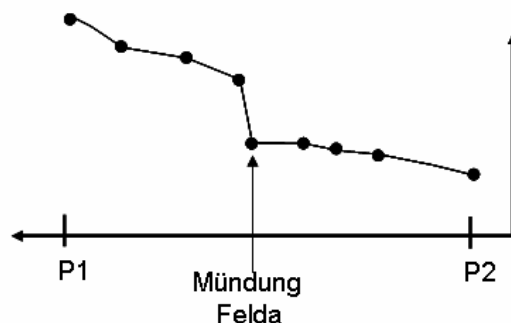
Ableitung der Gewässerabflüsse

Der Gewässerabfluss wird nicht über ein Niederschlag-Abfluss-Modell ermittelt, sondern erfolgt über die Auswertung der vorhandenen Pegelaufzeichnungen. Die Abflussganglinien in Gewässerabschnitten und Nebengewässern an denen keine Pegelaufzeichnungen vorhanden sind, werden flächenproportional (Einzugsgebietsfläche) generiert. Hierfür werden jeweils benachbarte Pegeldata benutzt, um den Zuwachs an Durchfluss zu bilanzieren. Die schematische Vorgehensweise zur Generierung der Abflussganglinien zeigt Abbildung 1.

Gesamtzufluss aus
Zwischengebiet = $P1 - P2$



Flächenproportionale Aufteilung
des Gesamtzuflusses aus Zwischengebiet
auf die Gewässerabschnitte
(→ Kalibrierung)



**Ergebnis: Zuflusszeitreihe je
Gewässerabschnitt**

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Ableitung der Zuflussbelastung

Besonderheiten des Modells

Das Flussgebietsmodell TALSIM zeichnet sich durch seine hohe Qualität in Bezug auf die Abbildung von gesamten Flussgebieten aus. Die Darstellung und Berechnung von Flussabschnitten sowie deren seitlichen Zuläufe kann der gegebenen Datengrundlage und der geforderten Aufgabenstellungen angepasst werden. Die räumliche Auflösung ist frei wählbar. Als Simulationszeitschritt kann zwischen einer Minute bis zu maximal einem Monat frei gewählt werden. Aus Gründen der homogenen Modellaufstellung ist es in der Praxis aber sinnvoll, den Zeitschritt den vorliegenden Daten entsprechend anzupassen. Der externe Zeitschritt – für die grundsätzliche Berechnung und für die Ausgabe von Ergebnissen festgelegt – kann dabei unterschiedlich zum internen Zeitschritt sein. Der interne Zeitschritt kann aus Gründen stabiler Berechnung deutlich kleiner ausfallen.

Die Implementierung des wasserwirtschaftlichen Systems im Modell TALSIM zeigt Abbildung A-6 im Anhang.

Kalibrierung und Verifikation

Die Kalibrierung wird als Langzeitsimulation ausgeführt, in deren Zeitraum sowohl Niedrig- als auch Hochwasserphasen enthalten sind. Somit wird sichergestellt, dass unterschiedliche Beeinflussungen auf das Abflussregime, z.B. durch die Wehrsteuerung etc., über das gesamte Spektrum an hydrologischen Situationen im Modell erfasst werden. Die Wehrsteuerungen wurden, wenn sie aus dem 24-Stundenmittel der Pegelaufzeichnungen erkennbar waren, im Modell abgebildet. Die Bewertung der Kalibrierung und Verifizierung erfolgt über den Vergleich der berechneten Abflüsse mit den jeweiligen Messdaten. Hierbei werden sowohl Abflusshöhen miteinander verglichen (Min- und Maxwerte), sowie der Verlauf der simulierten und gemessenen Ganglinien. Die Kalibrierung erfolgte für den Zeitraum 1947 bis 2007. Beispielhaft zeigt Abbildung A-7 im Anhang das Ergebnis der Kalibrierung am Pegel Höxter für das Jahr 2007. Die Qualität der Kalibrierungsergebnisse des gesamten wasserwirtschaftlichen Systems ist als sehr gut zu bewerten.

Stofftransportmodell RWQM1/AQUASIM

Das Programm AQUASIM beinhaltet die 1D stationäre/instationäre hydrodynamische Gewässerberechnung und die Modellierung verschiedener Gewässergüteparameter. Der Grundgedanke von AQUASIM ist die Unterteilung eines wasserwirtschaftlichen Systems in so genannte Kompartimente. Dabei wird im Bilanzierungs- und Prognosemodell ein Kompartiment als Gewässerabschnitt definiert. Für jedes Kompartiment werden die Prozessgleichungen aufgestellt. Das Programm AQUASIM setzt auf den Ansätzen des **River Water Quality Model No.1** (RWQM1) auf und stellt ein extrem flexibles Simulationswerkzeug dar. Im RWQM1 sind Vorgehensweise, Strukturierung sowie inhaltlicher Aufbau für die Gewässergütemodellierung beschrieben. Es werden Anregungen gegeben zur allgemeinen Formulierung der Gleichungssysteme, zur Integration bestimmter Güteparameter sowie zur Berechnung der Parameter. Die Umsetzung dieser Vorgehensweise ist im Programm AQUASIM realisiert.

Modellaufstellung

Die Aufstellung des Bilanzierungs- und Prognosemodells erfolgt in systematischen und nachvollziehbaren Schritten mit dem Programm AQUASIM. Es wird angestrebt, ein möglichst einfaches Modell zu erstellen, in dem die zu betrachtende Fragestellung adäquat dargestellt wird. Unnötige Detaillierung und Komplexität werden vermieden. Das Modell wird in nachfolgenden Schritten erstellt:

1. Schritt: Definition der zeitlichen Darstellung

Die Grenzen der Zeitskala sind abhängig von der Aufgabenstellung und den dominierenden Prozessen im Gewässer. Unterschiedliche Prozesse im Wasserkörper verlaufen über verschiedene räumliche und zeitliche Skalen. Entsprechend der Aufgabenstellung, ein Bilanzierungs- und Prognosemodell für die Stoffgrößen Chlorid, Kalium und Magnesium zu erstellen und der beschriebenen Datengrundlage, wird eine zeitliche Auflösung des Modells von 24 Stunden gewählt. Da in den zu betrachtenden Gewässerabschnitten Prozesse mit großen zeitlichen Konstanten abgebildet werden, ist keine höhere Auflösung nötig.

2. Schritt: Festlegung der räumliche Dimension

Zur Definition der räumlichen Grenzen wird das Gewässer in unterschiedliche Kompartimente aufgeteilt, wobei die einzelnen Kompartimente nur so groß gewählt werden, dass eine Zuordnung von Punkteinleitungen und Nebengewässern möglichst genau erfolgt. Austauschprozesse zwischen der fließenden Welle und dem hyporheischen Interstitial werden im ursprünglichen Modell zunächst nicht berücksichtigt. In einem definierten Kompartiment wird die Retention und Translation berechnet.

3. Schritt: Festlegung der Darstellung der Durchmischung

Im vorliegenden Fall wird die Durchmischung über die Dispersion im Kompartiment abgebildet, d.h. dass innerhalb eines Kompartimentes eine vollständige Durchmischung stattfindet.

4. Schritt: Festlegung der Darstellung der Advektion

Advektion bewirkt die Bewegung des Wassers, des Sediments, der gelösten Substanzen und der Partikel. Die Advektion der wässrigen Phase wird unabhängig von der Stoffmodellierung berechnet. Keine Berücksichtigung finden hierbei Belastungen, die die Hydrodynamik verändern, wie z.B. hohe Konzentrationen an Feststoffen oder thermische Einleitungen, die eine ungleiche Dichteverteilung in der Wassersäule verursachen.

5. Schritt: Festlegen der Prozessfunktionen

Die Abbildung des Stofftransports erfolgt über eine Advektions-Diffusions-Gleichung. Die hierfür notwendigen Parameter wie Diffusionskonstanten werden in der Phase der Modellkalibrierung bestmöglich angepasst.

Ableitung des Stofftransports

Analog zur Ableitung der Gewässerabflüsse werden auch die Ganglinien des Stofftransports, für Gewässerabschnitte und Nebengewässer an denen keine Messaufzeichnungen vorhanden sind, über benachbarte Güte-Messstellen bilanziert. Die schematische Vorgehensweise zur Generierung der Stofftransportganglinien zeigt Abbildung 2.

Cl-Transport aus
Zwischengebiet = $P1 - P2 - P3$

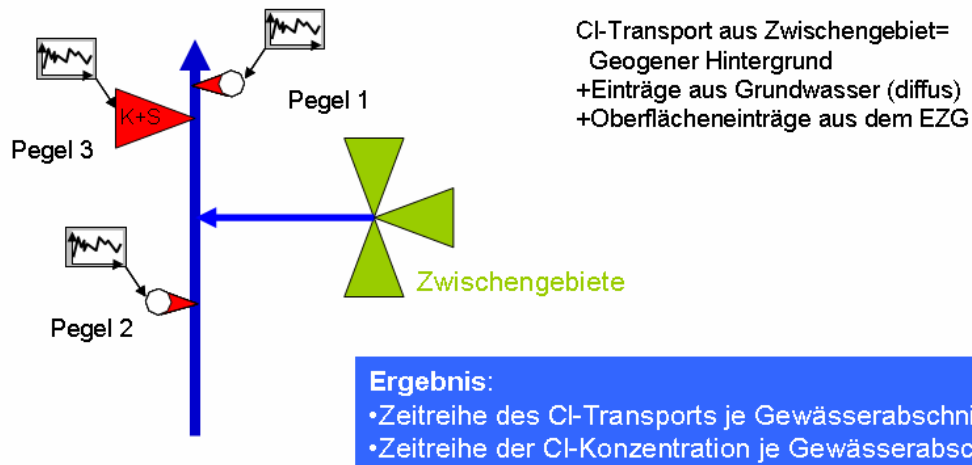


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Ableitung des Stofftransports

Der Stofftransport aus diffusen Einträgen und aus Nebengewässern wird jeweils über eine Konzentration-Abflussbeziehung ermittelt. Hierfür wird zunächst die Differenz des Stofftransports benachbarter Güte-Messstellen ermittelt. Am Beispiel der Pegel Tiefenort und Unterrohn (Abbildung A-8 im Anhang) zeigt Abbildung 3 die Ermittlung der Ganglinie des diffusen Stofftransports.

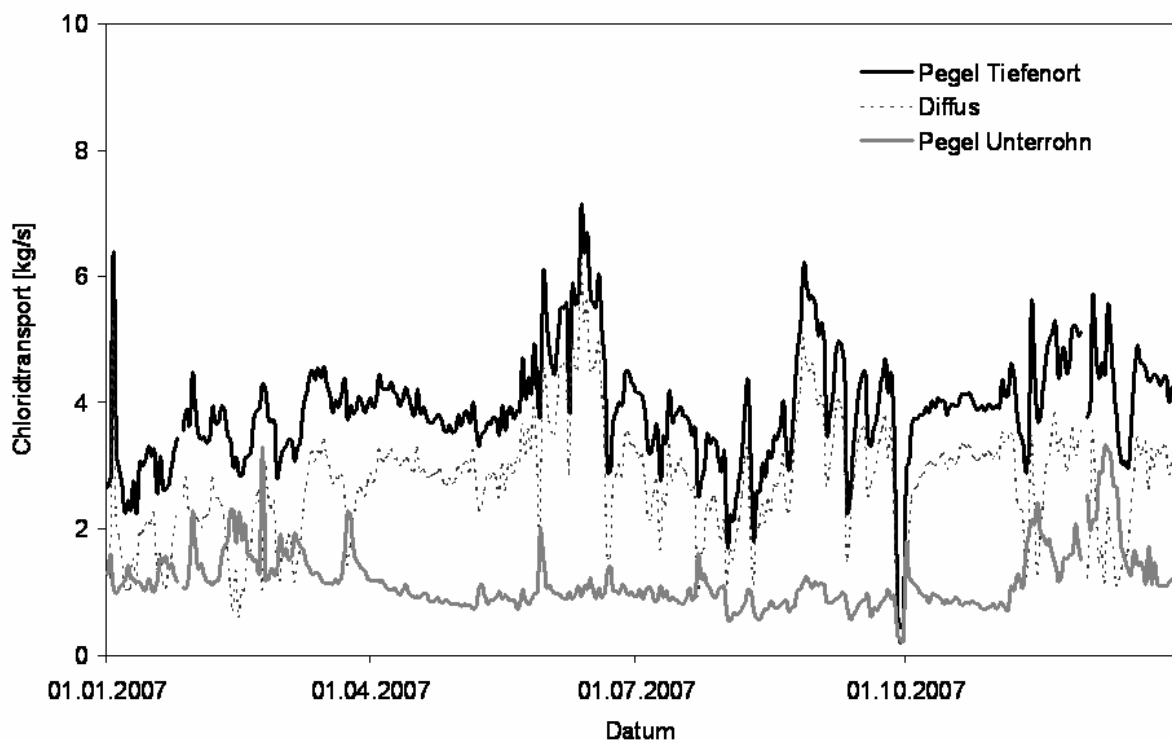


Abbildung 3: Ermittlung der diffusen Einträge zwischen den Pegeln Tiefenort und Unterrohn, „diffus“ bezeichnet hier die nicht steuerbaren Einträge.

In Abbildung 4 ist die Konzentration-Ablussbeziehung der diffusen Einträge zwischen den Pegeln Tiefenort und Unterrohn dargestellt. Diese für Zwischengebiete und Nebengewässer ermittelten Konzentration-Ablussbeziehungen werden in die Modellstruktur übernommen.

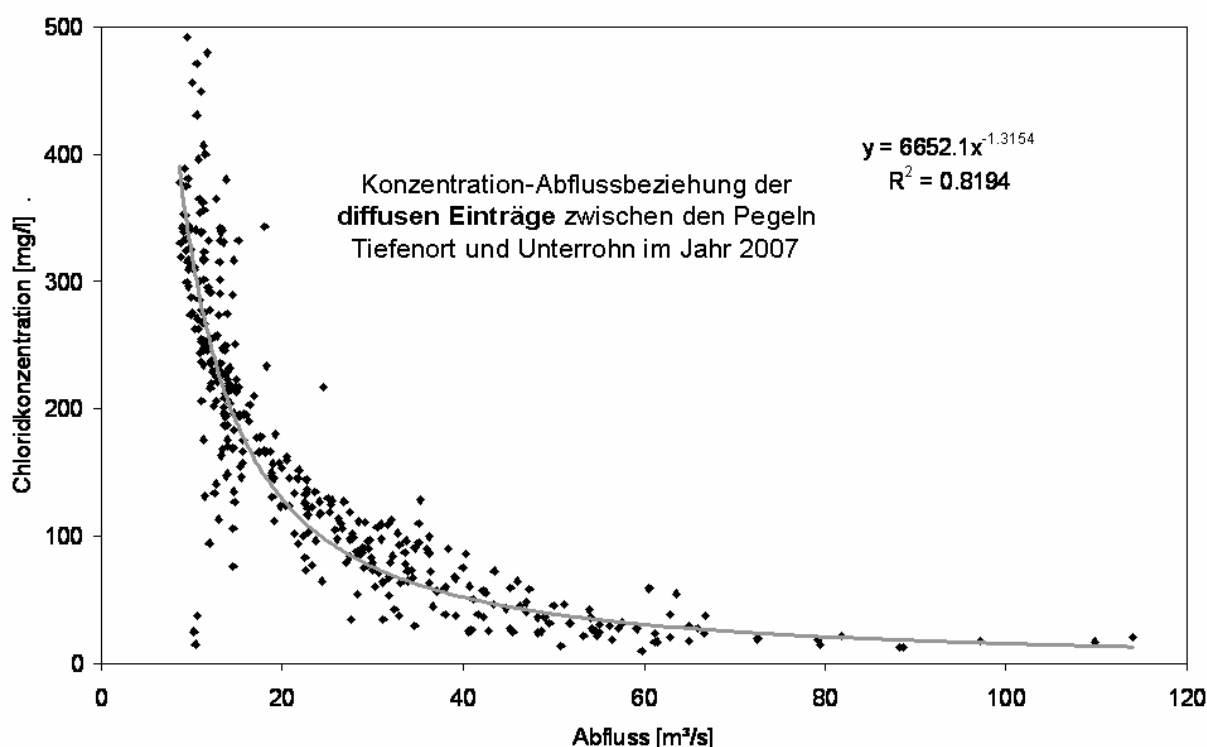


Abbildung 4: Konzentration-Ablussbeziehung zwischen den Pegeln Tiefenort und Unterrohn im Jahr 2007

Kalibrierung und Verifikation

Die Kalibrierung und Verifizierung der Stoffkenngößen Chlorid, Kalium und Magnesium sollte über einen möglichst langen Zeitraum erfolgen, da Konzentrationsmessungen nicht an allen Messstationen in hoher zeitlicher Auflösung (24 Stunden) zur Verfügung stehen. In Abhängigkeit der Datengrundlage wird für die Kalibrierung und Verifizierung ein Simulationszeitraum von jeweils fünf Jahren angestrebt. Die Stoffbilanzierung erfolgt über die Emissionen aus Punktquellen und diffuse Einträge. Die Bewertung der Kalibrierung und Verifizierung erfolgt über den Vergleich der berechneten Werte mit den jeweiligen Messdaten. Hierbei werden sowohl Frachten (Monats- bzw. Jahresfrachten) miteinander verglichen, Stoffkonzentrationen (insbesondere Max- und Min-Werte) als auch der Verlauf der ermittelten und gemessenen Ganglinien.

Abbildung 5 zeigt das Kalibrierungsergebnis am Pegel Letzter Heller für das Jahr 2007.

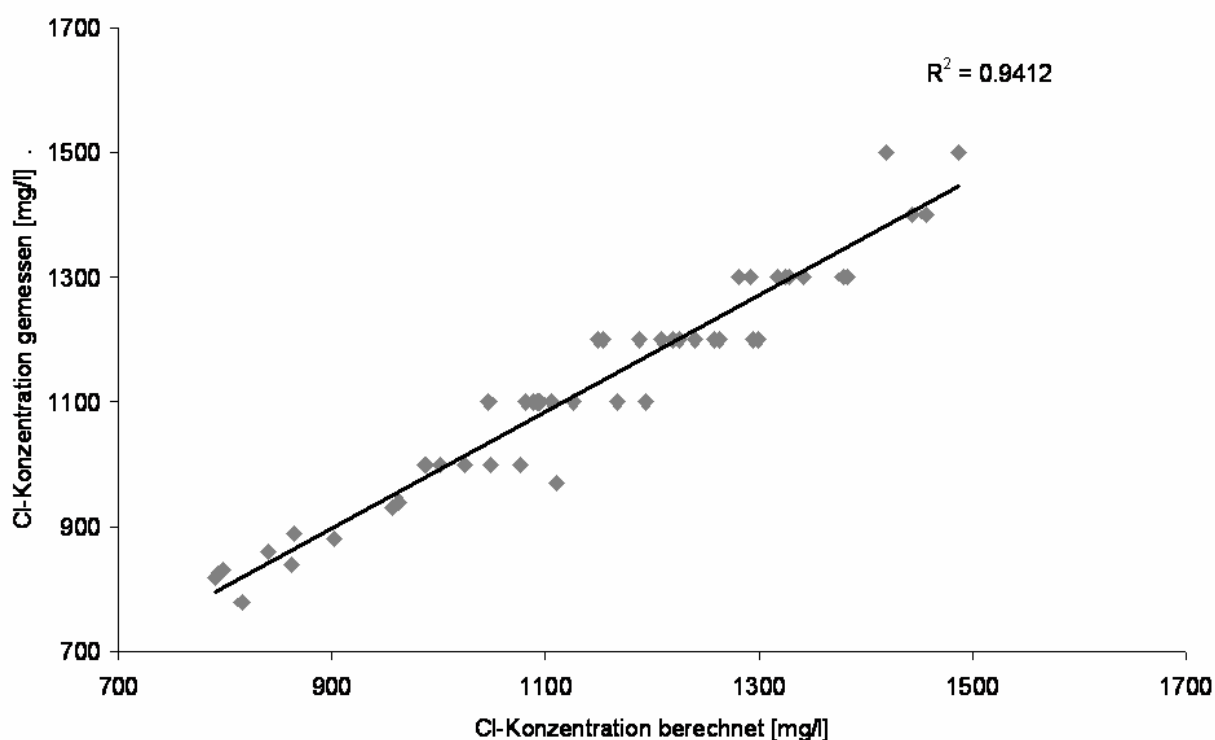


Abbildung 5: Vergleich der gemessenen und simulierten Chlorid-Konzentrationen am Pegel Letzter Heller für das Jahr 2007

4. Bewertungsgrundlage

Als Bewertungsgrundlage für die Modellergebnisse werden die Empfehlungen des *Runden Tisches Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion* herangezogen. Speziell für die Festlegung von biologischen Wirkschwellen wurden in einem von Experten durchgeführten Workshop die in Abbildung 6 aufgeführten Werte für Chlorid, Kalium und Magnesium vorgeschlagen.

Chlorid (mg/l)	Kalium (mg/l)	Magnesium (mg/l)
≤ 75	≤ 5	≤ 20
75-300	5-20	20-30
300-1.000	20-80	30-100
1.000-2.500	80-150	100-180
> 2.500	> 150	> 180

Abbildung 6: Wirkschwellen für Chlorid, Kalium und Magnesium; Quelle: Wissenschaftliche Begleitung des *Runden Tisches Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion*

Aus der Anwendung des Prognosemodells wird an ausgewählten Stellen eines Wasserkörpers jeweils eine Konzentrations-Ganglinie (Jahresganglinie) der betrachteten Stoffkenngroße ausgegeben. Die ermittelten Konzentrationswerte werden anschließend in aufsteigender Reihenfolge (Dauerlinie) sortiert (siehe Abbildung 7).

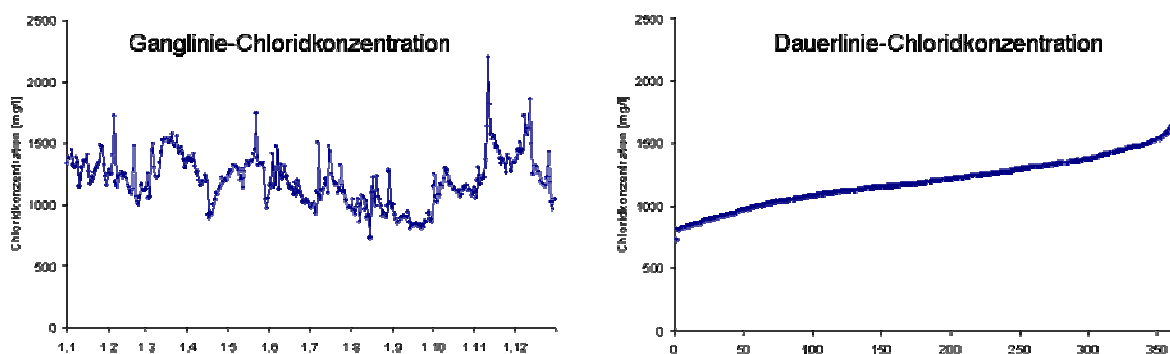


Abbildung 7: Beispielhafte Darstellung der Chloridkonzentration als Ganglinie und als Dauerlinie

Im Längsverlauf eines Wasserkörpers werden auf diese Weise die Dauerlinien an ausgewählten Punkten, an denen eine Änderung der Konzentration durch Einleitungen (punktförmig oder diffus) und Nebengewässer stattfindet, ermittelt.

Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Ermittlung der Konzentrations-Dauerlinien im Längsverlauf eines Wasserkörpers.

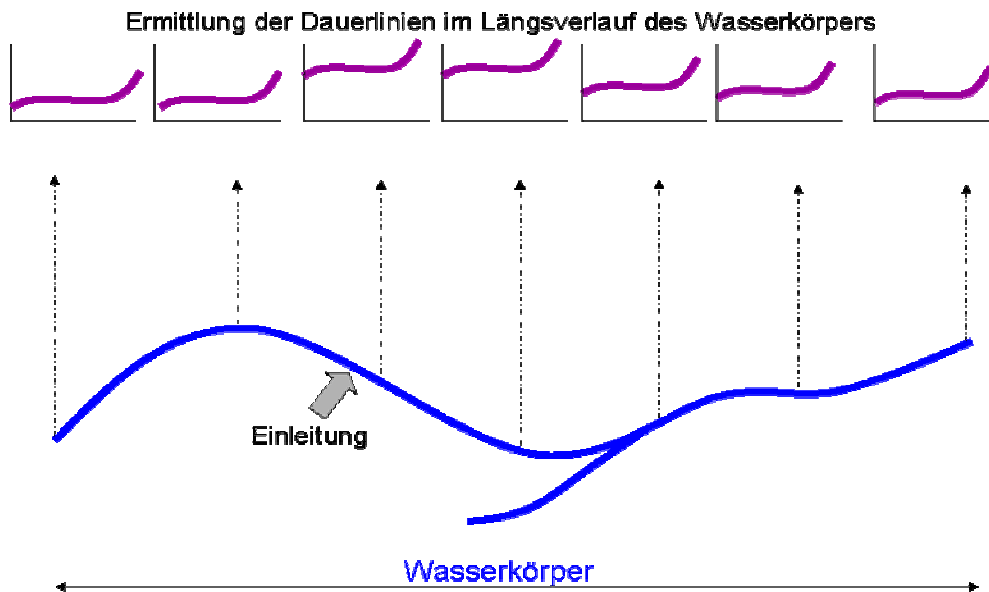


Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung der Ermittlung der Konzentrations-Dauerlinien im Längsverlauf eines Wasserkörpers (Aufteilung des Wasserkörpers in einzelne Kompartimente)

Maßgebend für die Bewertung eines Wasserkörpers ist der 90-Perzentilwert der Dauerlinie, die auf 70% der Fließlänge des betrachteten Wasserkörpers unterschritten wird. Der auf diese Weise ermittelte 90-Perzentilwert (Bewertungsgrundlage für den betrachteten Wasserkörper) wird der jeweiligen Wirkschwelle zugeordnet. Abbildung 9 zeigt die beispielhafte Ermittlung des maßgebenden Konzentrationswertes, der zur Bewertung des Wasserkörpers herangezogen wird.

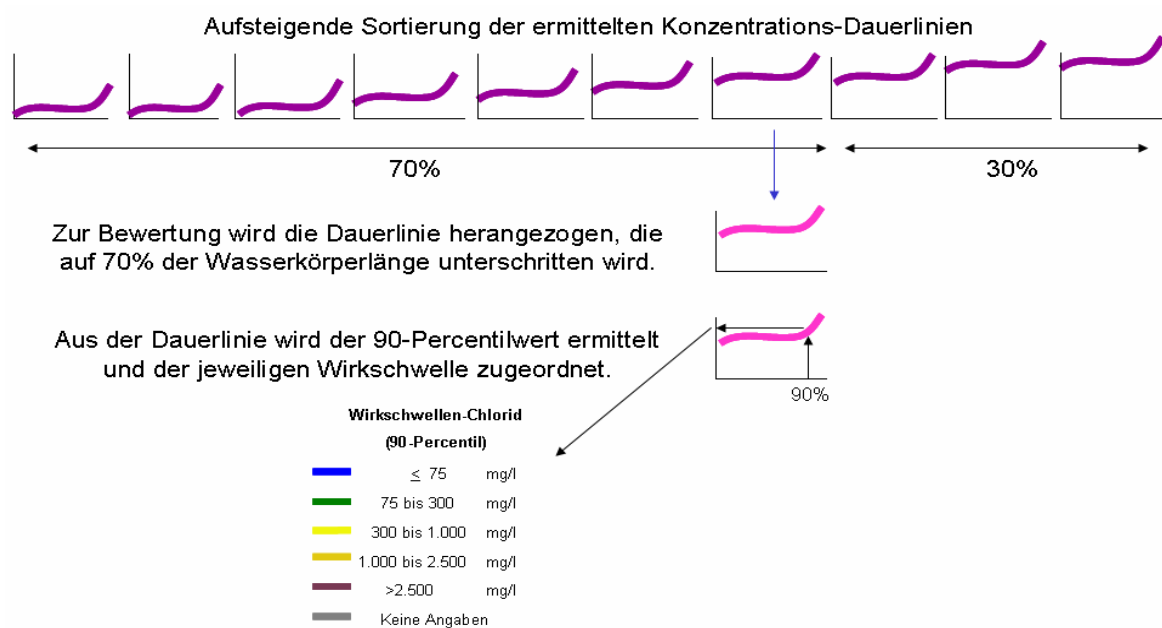


Abbildung 9: Beispielhafte Ermittlung des maßgebenden Konzentrationswertes zur Bewertung des Wasserkörpers

5. Szenarien

Abfluss

Die nachfolgend untersuchten Szenarien werden für charakteristische Abflüsse eines hydrologisch „mittleren“ Jahres und eines hydrologisch „trockenen“ Jahres berechnet. Die Abflussganglinie des „trockenen“ Jahres soll dadurch charakterisiert werden, dass die Jahresabflusssumme [m³/a] sehr gering ist und an möglichst vielen Tagen innerhalb eines Jahres ein geringer Abfluss vorliegt. Maßgebend für die Charakterisierung waren die Abflussganglinien am Pegel Gerstungen von 1947 bis 2007. In Abstimmung mit dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) wurden die Jahre 1991 als „trockenes“ und 1999 als „mittleres“ Jahr identifiziert. Erläuterungen zur Auswahl des „trockenen“ und „mittleren“ Jahres liefern die Abbildungen Abbildung A-9 bis Abbildung A-10 im Anhang. Abbildung 10 zeigt die Abflussganglinien der Jahre 1991 und 1999 am Pegel Gerstungen.

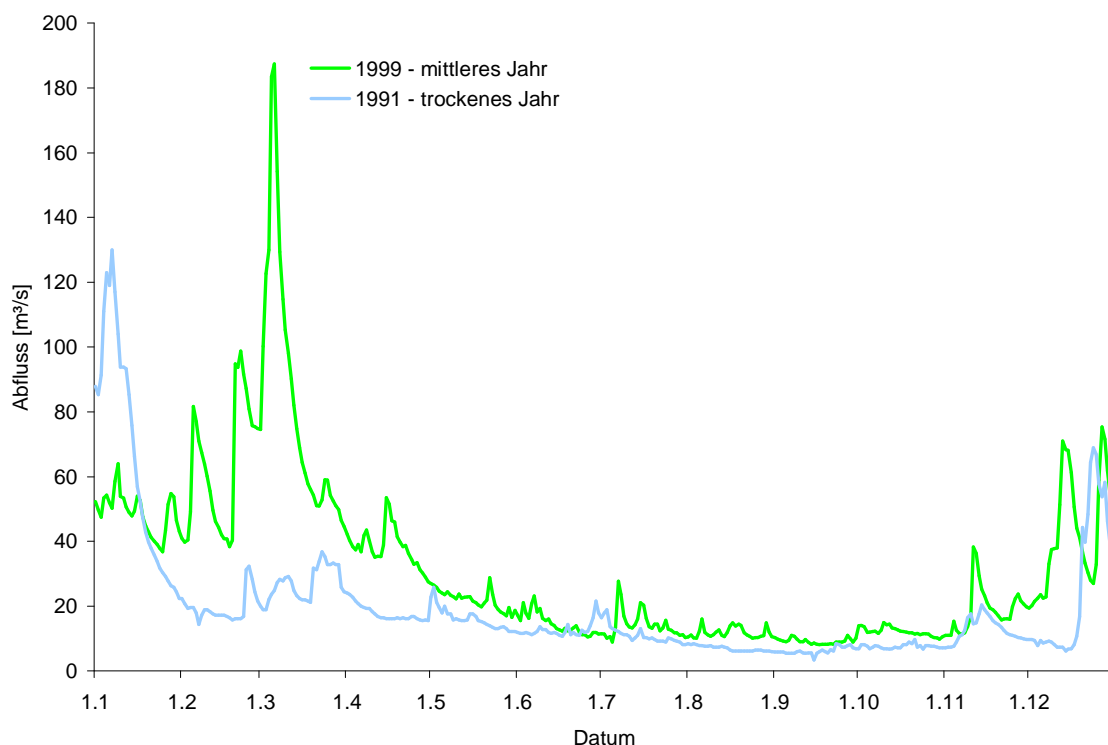


Abbildung 10: Abflussganglinien der Jahre 1991 und 1999 am Pegel Gerstungen

Diffuse Einträge

Die Entwicklung der diffusen Chlorideinträge in die Werra nach Beendigung der Versenkung wurde vom HLUG prognostiziert und in den entsprechenden Modellrechnungen berücksichtigt. Abbildung 11 zeigt die Konzentration-Abflussbeziehung für den Pegel Gerstungen.

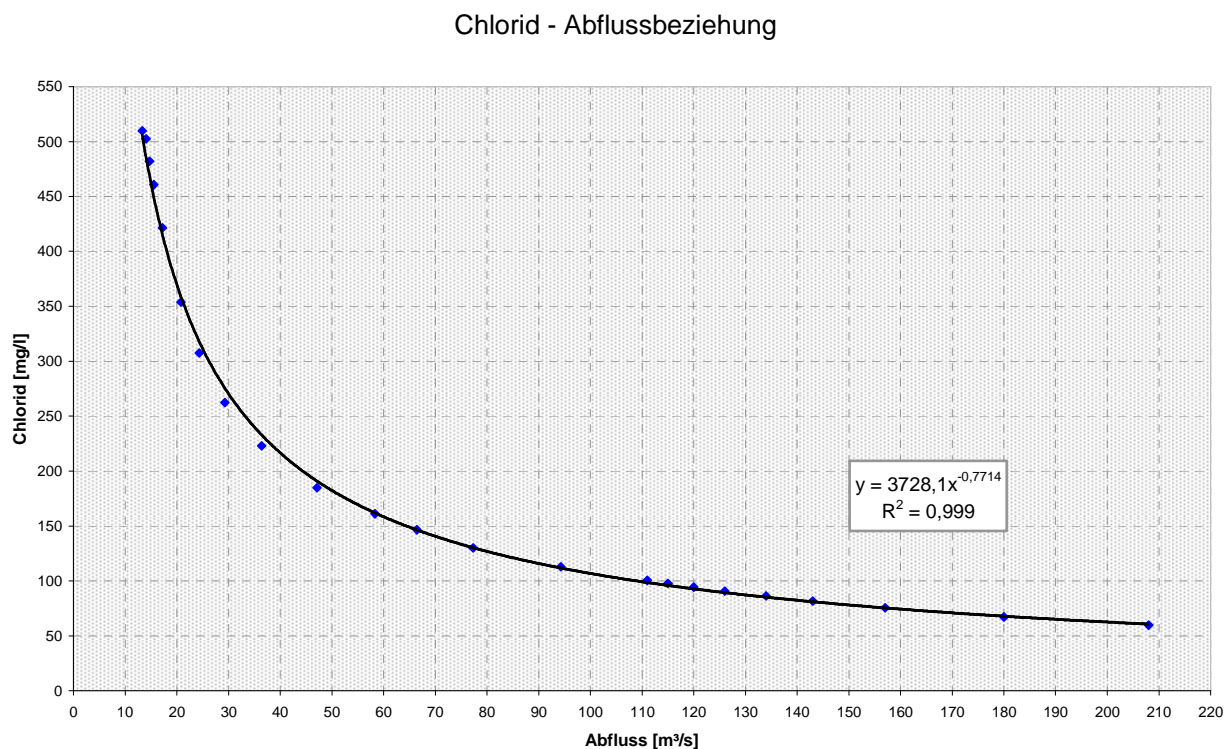


Abbildung 11: Prognostizierte Konzentration-Abflussbeziehung (Chlorid) am Pegel Gerstungen nach Einstellung der Versenkung; Quelle: (HLUG 2009)

Bewirtschaftungsszenarien

In Abstimmung mit dem *Runden Tisch* wurden nachfolgende Bewirtschaftungsszenarien für ein „mittleres Jahr“ untersucht:

SZENARIO I „Optimierung, Verminderung und Einleitung in die Werra“

Ia) mit NIS

Ib) ohne NIS, Versenkung bis 2015

Ic) ohne NIS, Versenkung bis 2011

SZENARIO II „Optimierung, Verminderung und Einleitung in die Weser“

mit NIS, Versenkung bis 2015

SZENARIO III „Optimierung, Verminderung und Einleitung in Richtung Nordsee“

IIIa) mit NIS bis 2020

IIIb) ohne NIS, Versenkung bis 2015

Die Szenarien II und III wurden ergänzend für ein „trockenes Jahr“ berechnet, im Szenario II wurden drei potenzielle Einleitstellen in der Weser betrachtet. Für ausgewählte Szenarien (Ia und II) wurde untersucht, welche Auswirkungen zu erwarten sind, wenn die in Tabelle 1 aufgeführten Stofftransporte um +10% bis -10% schwanken (Ergebnisse siehe Tabelle A-11 bis Tabelle A-13 im Anhang).

Im Bilanzierungsmodell wurden die Einleitungsfrachten aus Produktions- und Haldenabwässern an die jeweils aktuelle Gewässerkonzentration und den – abfluss (Pegel Gerstungen) gekoppelt, um eine optimierte Steuerung zu gewährleisten. Somit kann die Steuerung auf einen vorgegebenen Grenzwert abgestimmt werden, wie z.B. $Cl < 1.700 \text{ mg/l}$ am Pegel Gerstungen.

Emissionen

In Tabelle 1 sind die Transporte der Stoffkenngößen Chlorid, Kalium und Magnesium nach Umsetzung der Maßnahmen von K+S aufgelistet.

Tabelle 1: Stofftransport nach Umsetzung der Maßnahmen K+S

	Chlorid	Kalium	Magnesium
Stofftransport nach Umsetzung Maßnahmen (Strategiepapier)	34,17 [kg/s]	3,95 [kg/s]	4,13 [kg/s]

6. Darstellung der Modellergebnisse

Die Modellergebnisse werden nachfolgend dargestellt. Es folgt nacheinander die Bewertung der Stoffkenngößen Chlorid, Kalium und Magnesium. Für jede Stoffkenngöße werden die Bewertungen zunächst in einem „mittleren“ Jahr dargestellt. In den entsprechenden Abbildungen wird der Ist-Zustand verglichen mit den Auswirkungen

- nach Umsetzung der Maßnahmen K+S,
- einer Fernleitung mit einer Einleitung in die Weser
 - unterhalb der Diemelmündung,
 - unterhalb der Werremündung,
 - unterhalb der Allermündung und
- einer Fernleitung in die Nordsee.

Anschließend erfolgen die Bewertungen in einem „trockenen“ Jahr. Die Bewertungen der Auswirkungen der Varianten beziehen sich auf das Jahr 2027 (Fristverlängerung für Zielerreichung, Fortschreibung des Bewirtschaftungsplans nach EG-WRRL), da bis zu diesem Zeitpunkt die Maßnahmen zur Verringerung der punktförmigen Einleitungen umgesetzt und wirksam sind und ein Rückgang der diffusen Einleitungen nach Beendigung der Versenkung zu erwarten ist. Alle Modellergebnisse der untersuchten Bewirtschaftungsvarianten sind in Tabelle A-3 bis Tabelle A-5 und in Abbildung A-14 bis Abbildung A-31 im Anhang dokumentiert.

Bewertung Chlorid

Nach Umsetzung der Maßnahmen zur Verringerung der punktförmigen Einleitungen und unter der Annahme, dass die diffusen Einträge zurückgehen, verbessert sich der Gewässerzustand von Werra und Weser signifikant.

Im Vergleich zum Ist-Zustand erfolgt eine Verbesserung innerhalb der Wirkschwelle II auf einer Länge von 208 km. Im Ist-Zustand fallen lediglich 139 km (23 % der Fließlänge) in die Wirkschwellen I und II, nach Umsetzung der Maßnahmen sind es 347 km, dies entspricht einem Anteil von ca. 56 % der gesamten Fließlänge von Werra und Weser (ohne Tidebereich). Dementsprechend verringern sich auch die Fließgewässerlängen in den Wirkschwellen III und IV von 480 km (78 %) auf 272 km (44 %).

Bei Einleitung in die Weser unterhalb der Diemelmündung erfolgt hinsichtlich der Wirkstufen I und II nochmals eine Verbesserung des Gewässerzustandes von Werra und Weser auf einer zusätzlichen Länge 112 km, so dass ca. 74 % der Fließgewässerstrecke in die Wirkschwellen I und II fallen. Die Einleitungsvarianten „Werremündung“, „Allermündung“ und „Nordsee“ bewirken, dass 88 % der Fließgewässerstrecke einen Gewässerzustand der Wirkstufen I und II aufweist.

Bei allen Fernleitungsvarianten wird kein Wasserkörper schlechter als Wirkstufe III bewertet, im Ist-Zustand sind es immerhin 146 km, die in die Wirkstufe IV fallen und nach Umsetzung der Maßnahmen sind es noch 77 km.

Generell stellt sich der Gewässerzustand in Werra und Weser in einem „trockenen Jahr“ schlechter dar als in einem „mittleren Jahr“, aber die relativen Verbesserungen zwischen den betrachteten Szenarien bleiben erhalten.

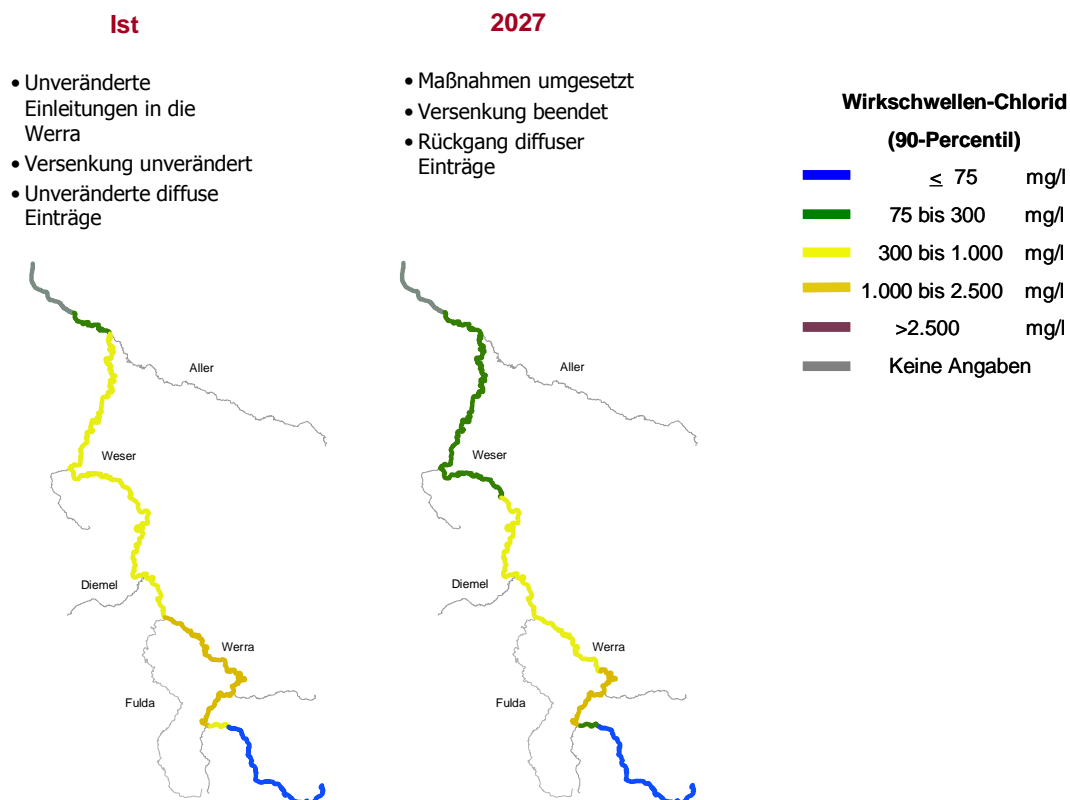


Abbildung 12: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser im Ist-Zustand und nach Umsetzung der Maßnahmen K+S in einem „mittleren“ Jahr

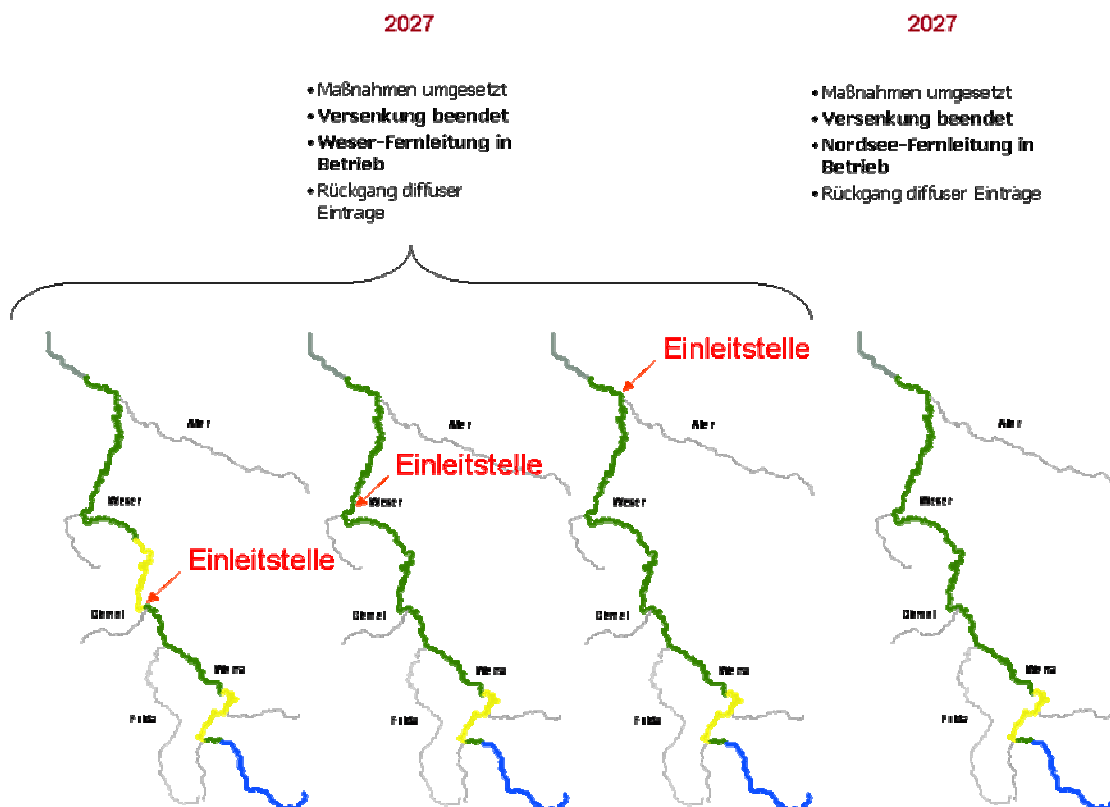


Abbildung 13: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr

Abbildung 14 zeigt den Anteil der Fließgewässerstrecken [km] in den jeweiligen Wirkschwellen für Chlorid in einem „mittleren“ Jahr.

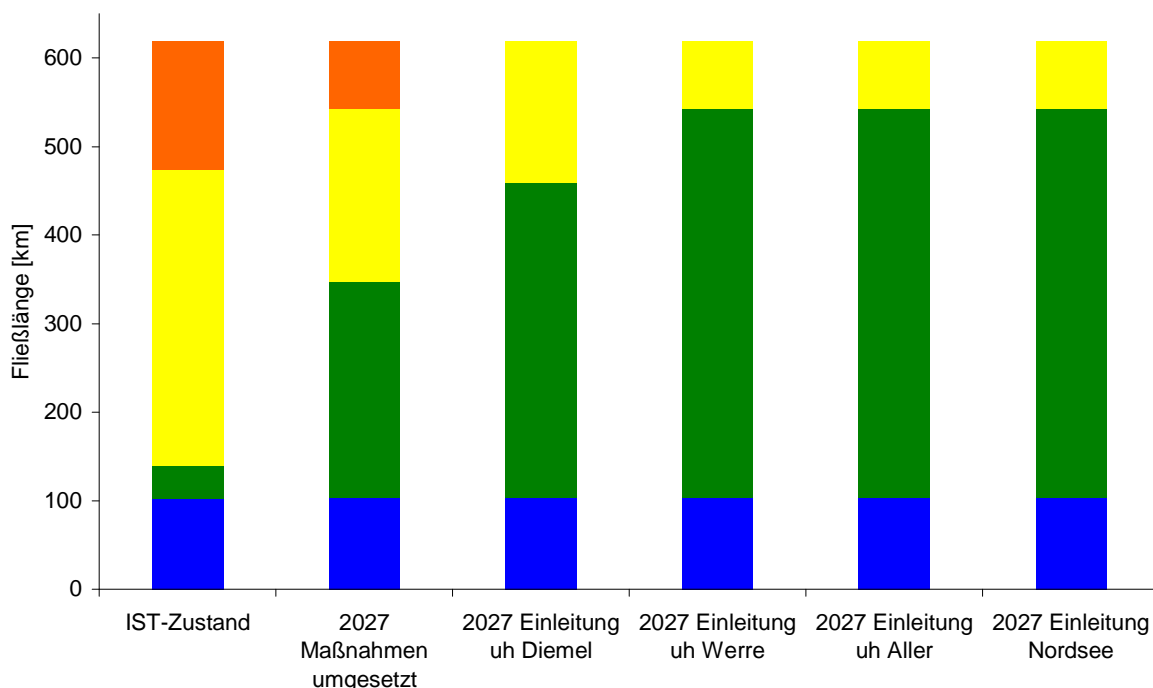


Abbildung 14: Anteil der Fließgewässerstrecken [km] in den Wirkschwellen für Chlorid in einem „mittleren“ Jahr

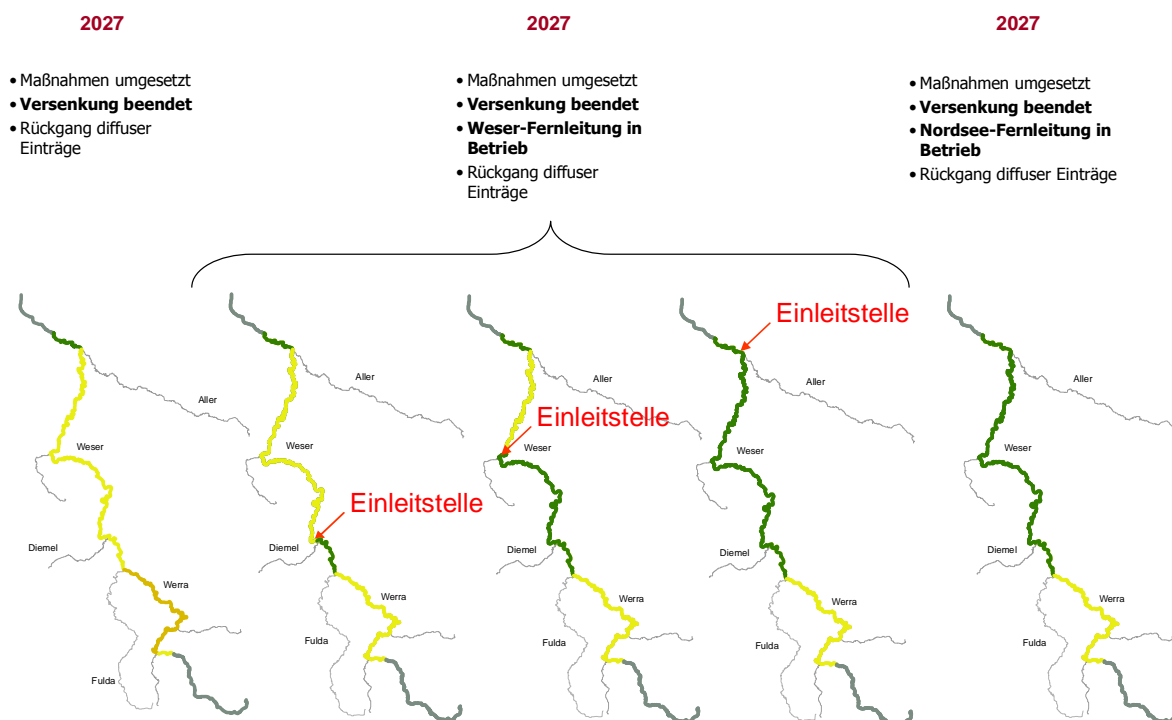


Abbildung 15: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an Werra, Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr

Abbildung 16 zeigt den Anteil der Fließgewässerstrecken [km] in den jeweiligen Wirkschwellen für Chlorid in einem „trockenen“ Jahr.

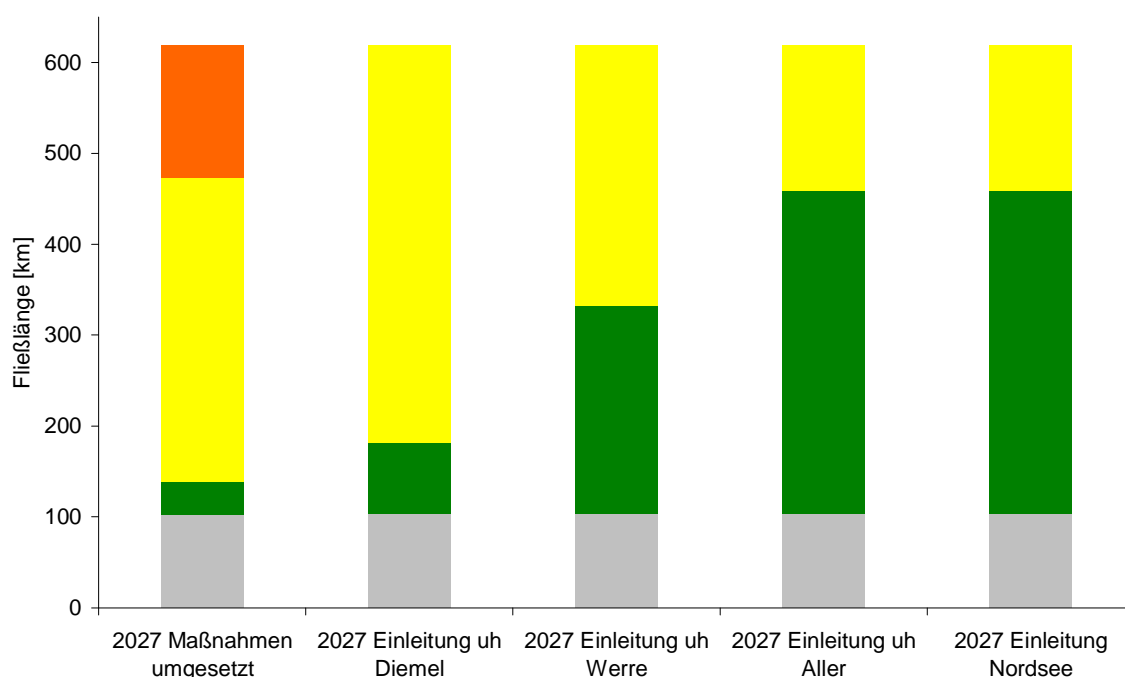


Abbildung 16: Anteil der Fließgewässerstrecken [km] in den Wirkschwellen für Chlorid in einem „trockenen Jahr“

Bewertung Kalium

Eine modellgestützte Bilanzierung des Oberlaufs der Werra war aufgrund der vorliegenden Datenlage nicht möglich. Erst ab Wasserkörper „Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha“ erfolgte eine Bilanzierung der Kaliumtransporte.

Nach Umsetzung der Maßnahmen zur Verringerung der punktförmigen Einleitungen und unter der Annahme, dass die diffusen Einträge zurückgehen, verbessert sich der Gewässerzustand der Werra im Vergleich zum Ist-Zustand auf 77 km (12 % der Fließlänge). Nach Umsetzung der Maßnahmen fallen 370 km (60 % der Fließlänge) in die Wirkschwelle III und 146 km in die Wirkschwelle IV (24 % der Fließlänge). In der Weser ist keine signifikante Verbesserung des Gewässerzustands zu erwarten.

Eine signifikante Verbesserung des Gewässerzustands in Werra und Weser ist bei der Betrachtung der Fernleitungsvarianten zu verzeichnen, da hier kein Wasserkörper schlechter als Wirkschwelle III bewertet wird. Bei einer Einleitung in

die Weser unterhalb der Diemelmündung fallen 43 km (7 % Fließlänge) in die Wirkschwelle II, unterhalb der Werremündung sind es 194 km (31 % der Fließlänge) und unterhalb der Allermündung bzw. in die Nordsee beträgt der Anteil 52 bzw. 58 % der Fließlänge.

Bei der Betrachtung eines „trockenen Jahres“ ist nach Umsetzung der Maßnahmen und den Fernleitungsvarianten eine signifikante Verbesserung des Gewässerzustandes von Werra und Weser nur bei den Einleitungsvarianten unterhalb der Allermündung und in die Nordsee zu verzeichnen. In diesen beiden Varianten beträgt der Anteil der Fließlänge in der Wirkschwelle II 20 bzw. 26 % (126 bzw. 162 km der Fließlänge).

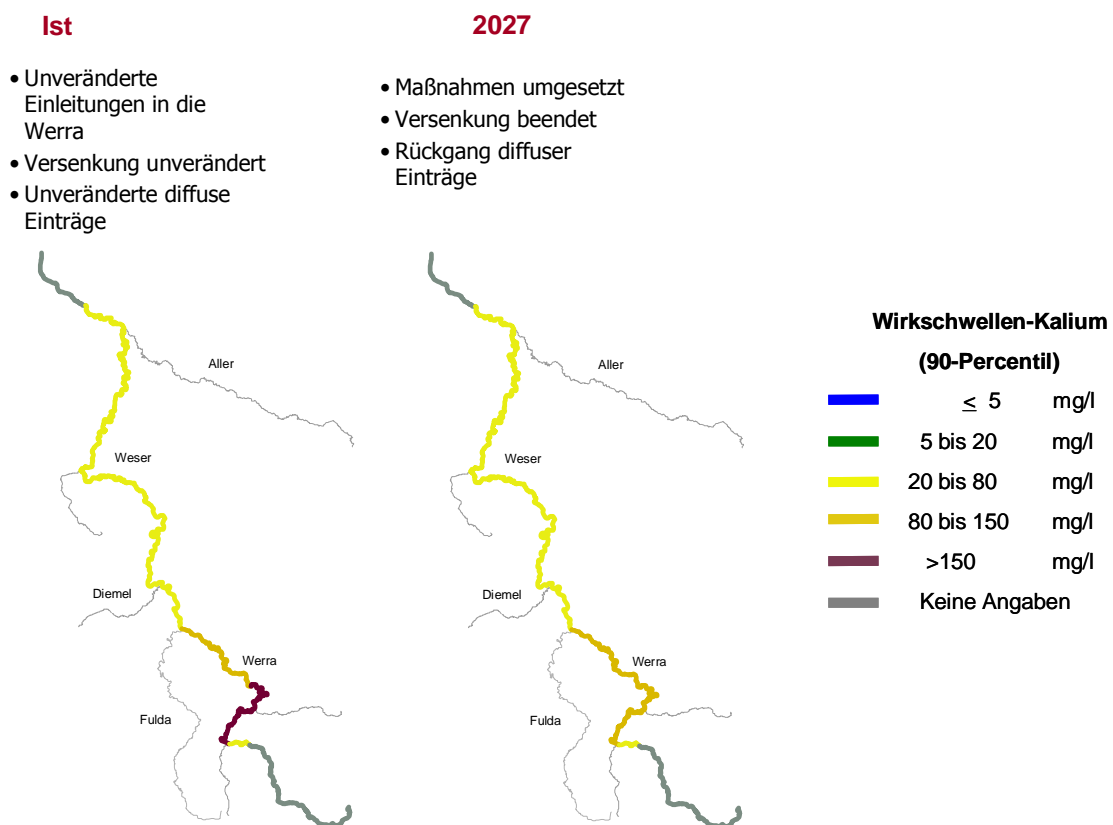


Abbildung 17: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser im Ist-Zustand und nach Umsetzung der Maßnahmen K+S (2027) in einem „mittleren“ Jahr

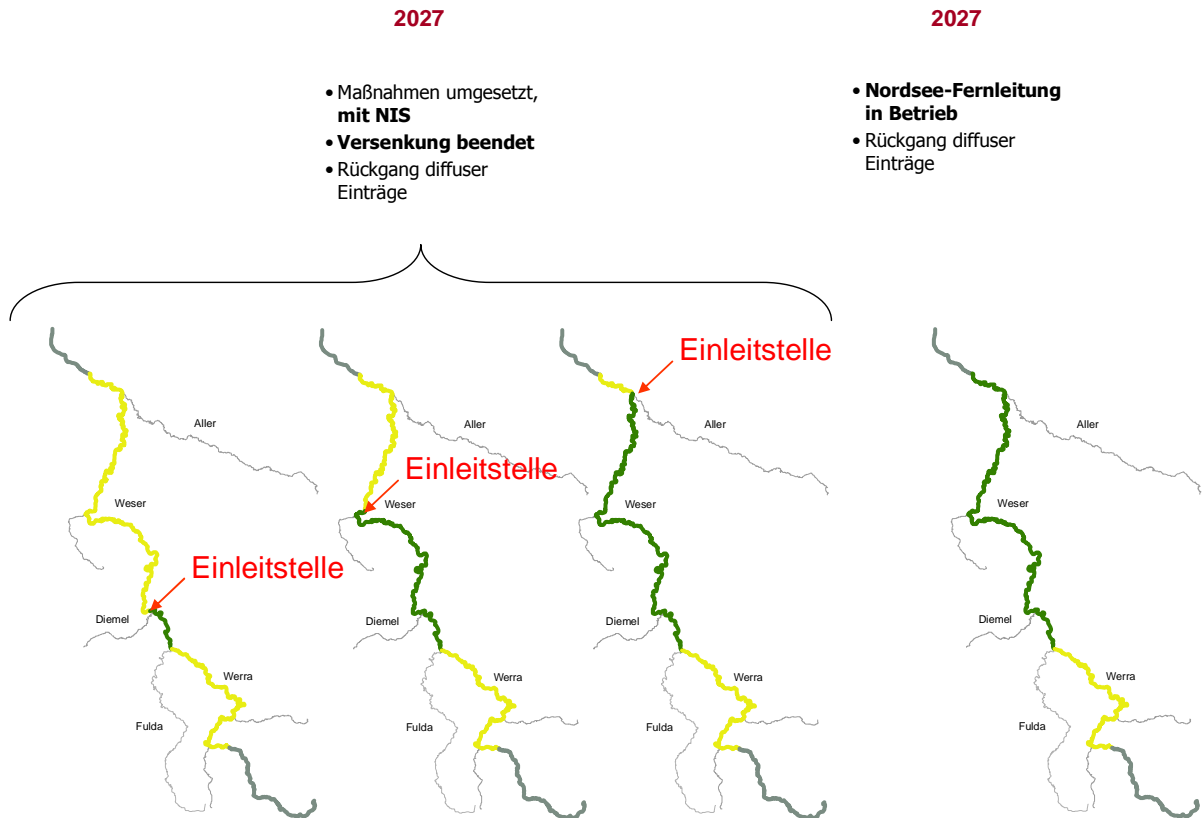


Abbildung 18: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr

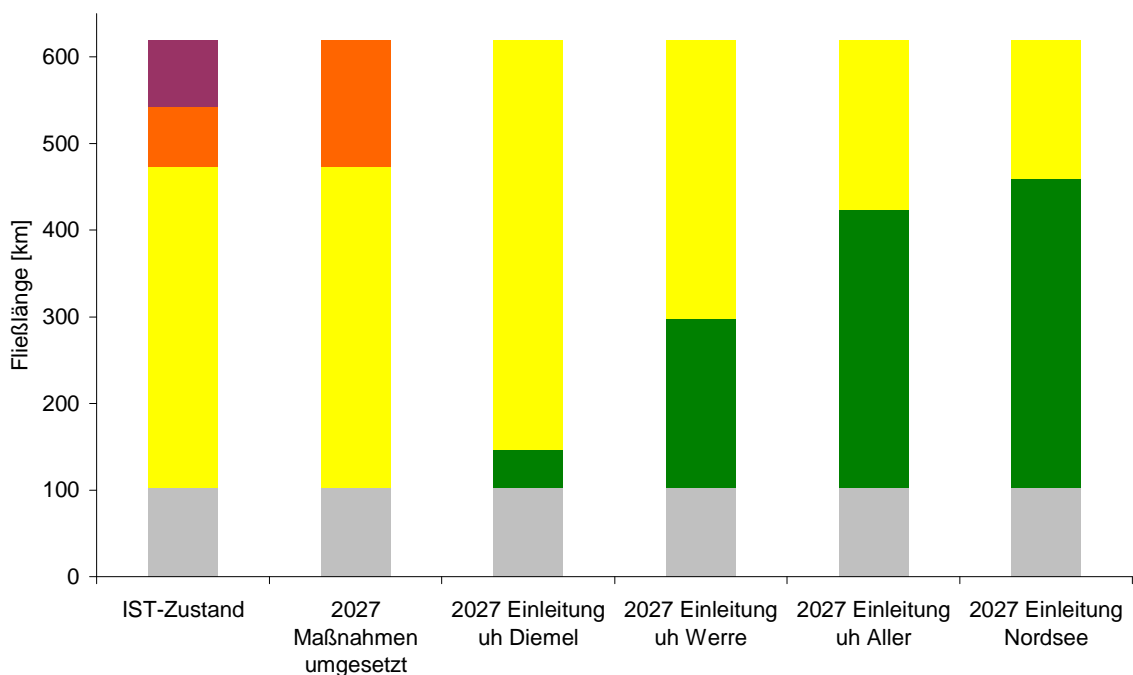


Abbildung 19: Anteil der Fließgewässerstrecken [km] in den Wirkschwellen für Kalium in einem „mittleren“ Jahr

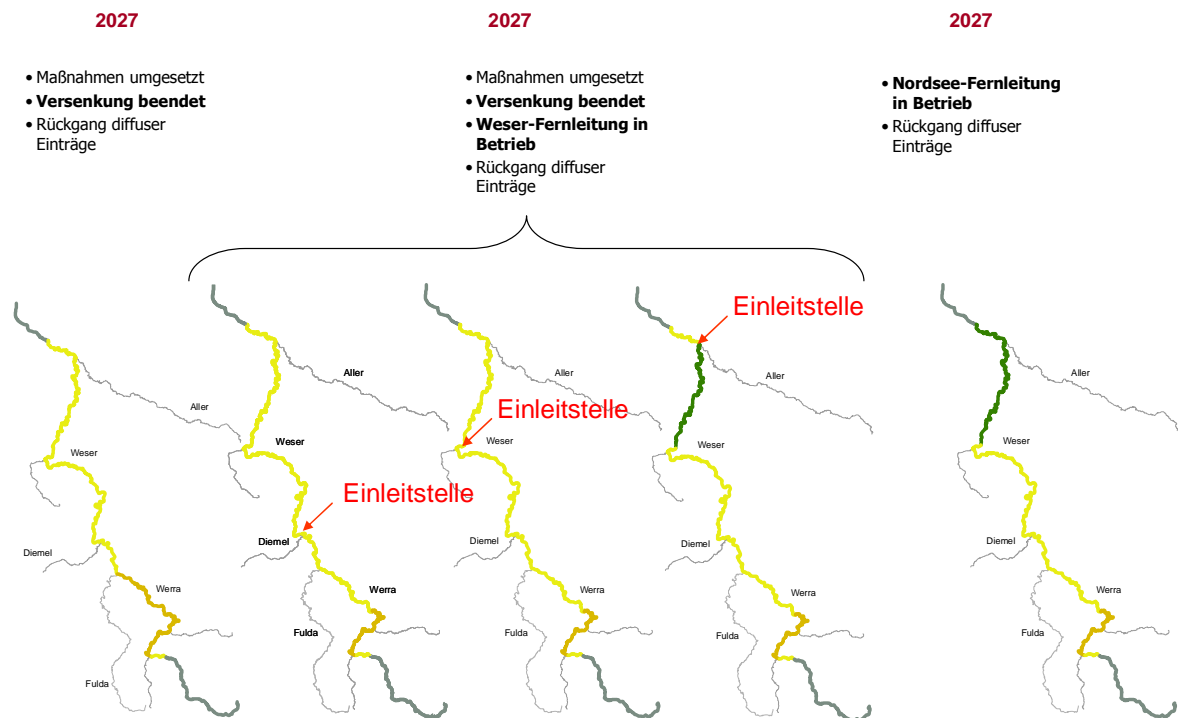


Abbildung 20: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr

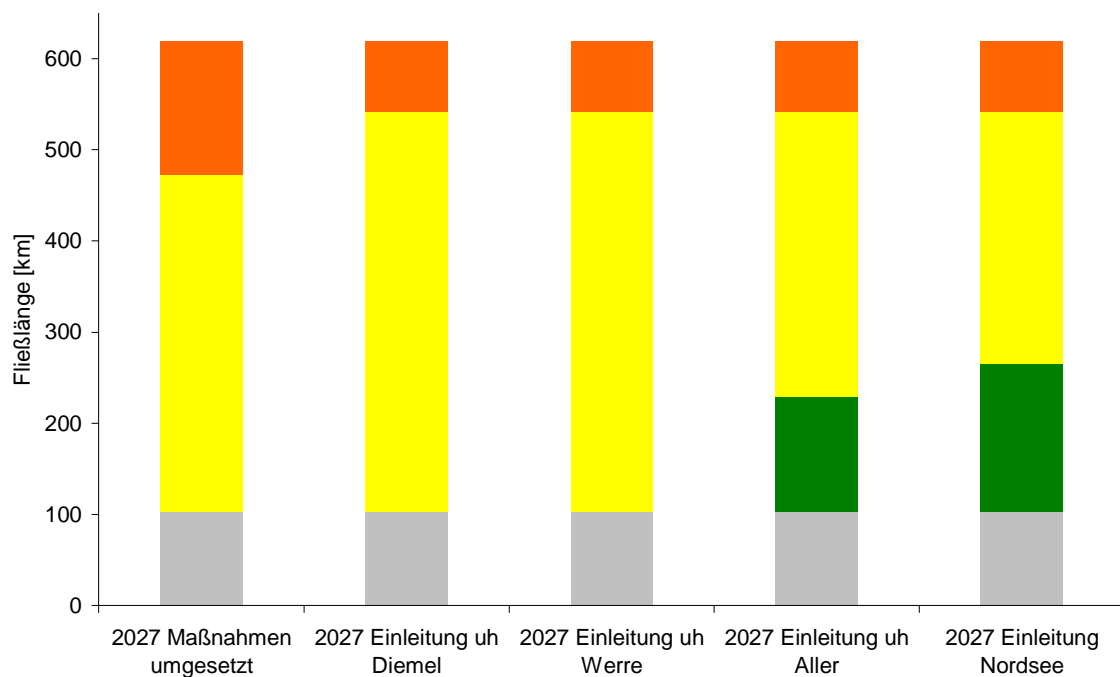


Abbildung 21: Anteil der Fließgewässerstrecken [km] in den Wirkschwellen für Kalium in einem „trockenen“ Jahr

Bewertung Magnesium

Eine modellgestützte Bilanzierung des Oberlaufs der Werra war aufgrund der vorliegenden Datenlage nicht möglich. Erst ab Wasserkörper „Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha“ erfolgte eine Bilanzierung der Magnesiumtransporte.

Nach Umsetzung der Maßnahmen zur Verringerung der punktförmigen Einleitungen und unter der Annahme, dass die diffusen Einträge zurückgehen, verbessert sich der Gewässerzustand in der mittleren und unteren Werra auf 146 km Fließlänge (24 % der Fließlänge) von Wirkschwelle V in die Wirkschwelle IV. In der Weser ist keine signifikante Verbesserung des Gewässerzustands zu erwarten.

Bei einer Einleitung unterhalb der Diemelmündung erfolgt eine geringe Verbesserung in der Weser, auf ca. 70 km wechselt der Zustand von Wirkschwelle IV in die Wirkschwelle III.

Fließgewässerabschnitte, die in die Wirkschwelle II fallen, sind erst bei den Fernleitungsvarianten unterhalb Werremündung, unterhalb Allermündung und in die Nordsee zu erwarten. Die Fließlängen in der Wirkschwelle II betragen bei der Variante unterhalb Werremündung 151 km (24 % der Fließlänge), unterhalb der Allermündung 277 km (45 % der Fließlänge) und in die Nordsee 313 km (51 % der Fließlänge).

Bei der Betrachtung eines hydrologisch „trockenen Jahres“ ist nach Umsetzung der Maßnahmen, Rückgang der diffusen Einträge und den drei Einleitungsvarianten in die Weser keine signifikante Verbesserung in Werra und Weser zu erwarten. Die Wirkschwelle II wird erst bei der Einleitung in die Nordsee auf eine Fließlänge von 36 km (6 % der Fließlänge) erreicht.

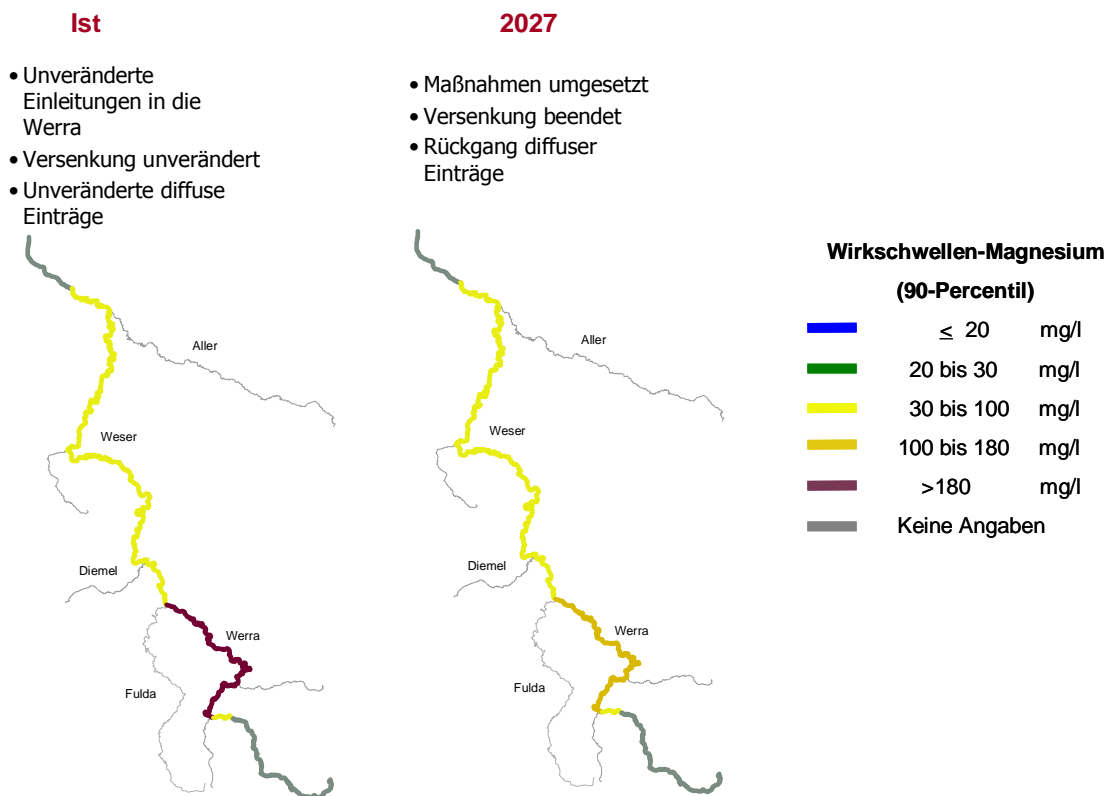


Abbildung 22: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser im Ist-Zustand und nach Umsetzung der Maßnahmen K+S (2027) in einem „mittleren“ Jahr

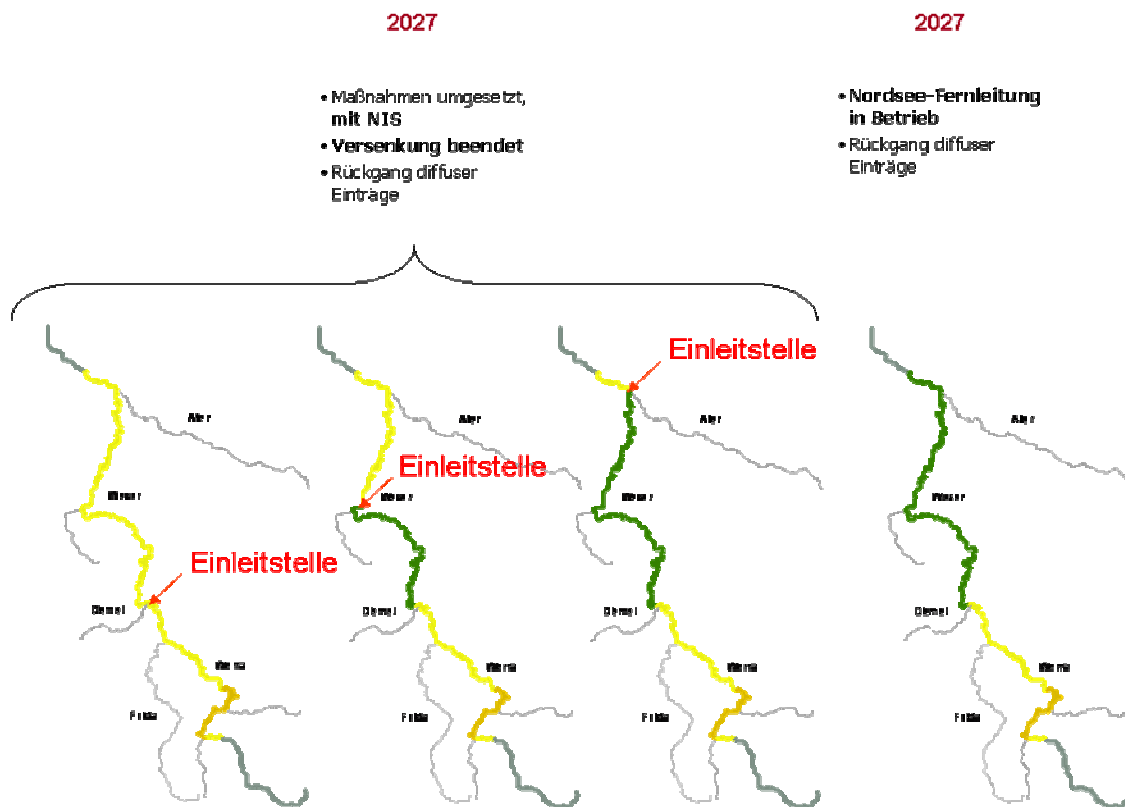


Abbildung 23: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr

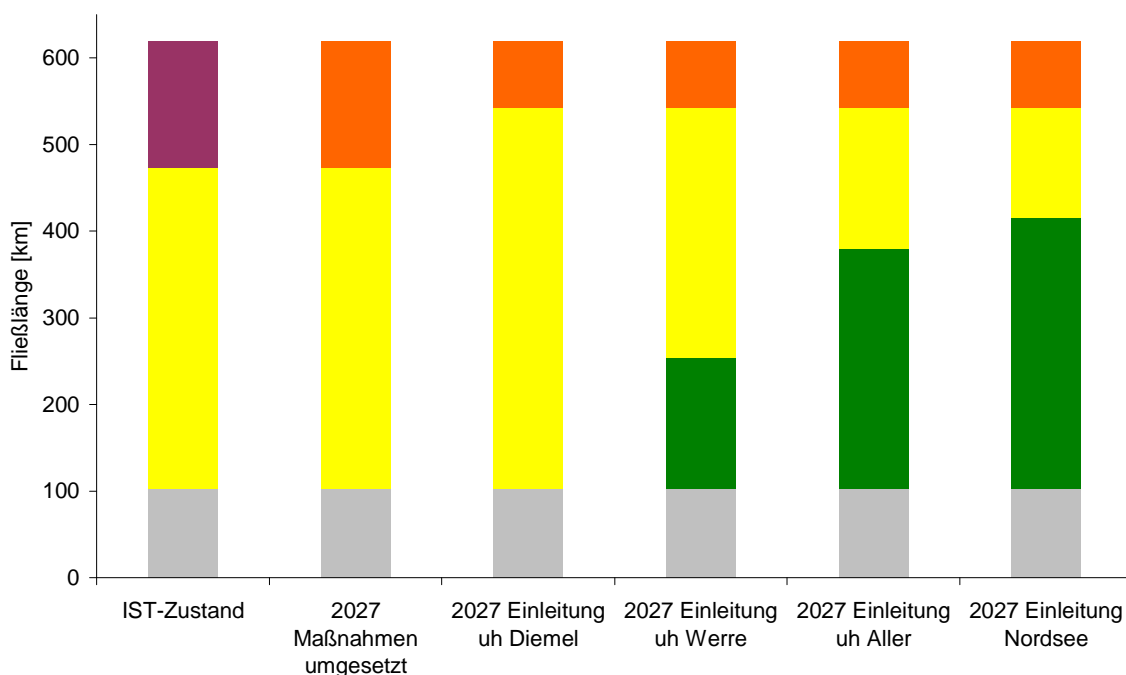


Abbildung 24: Anteil der Fließgewässerstrecken [km] in den Wirkschwellen für Magnesium in einem „mittleren Jahr“

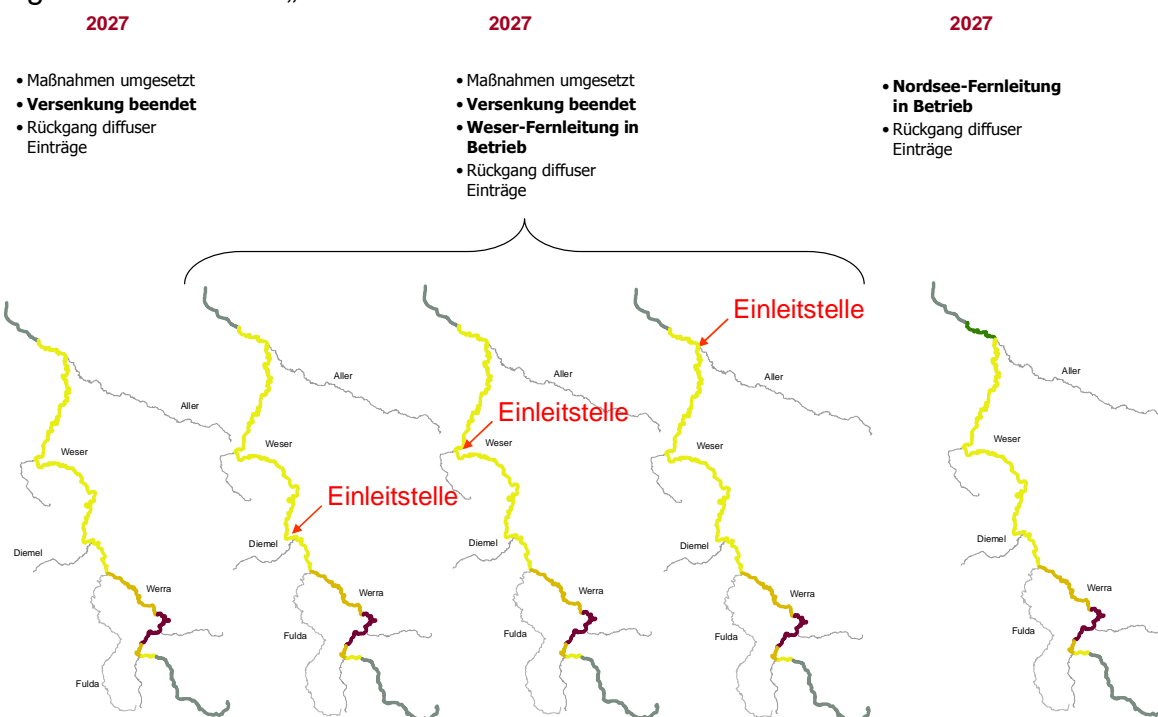


Abbildung 25: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an Werra, Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr

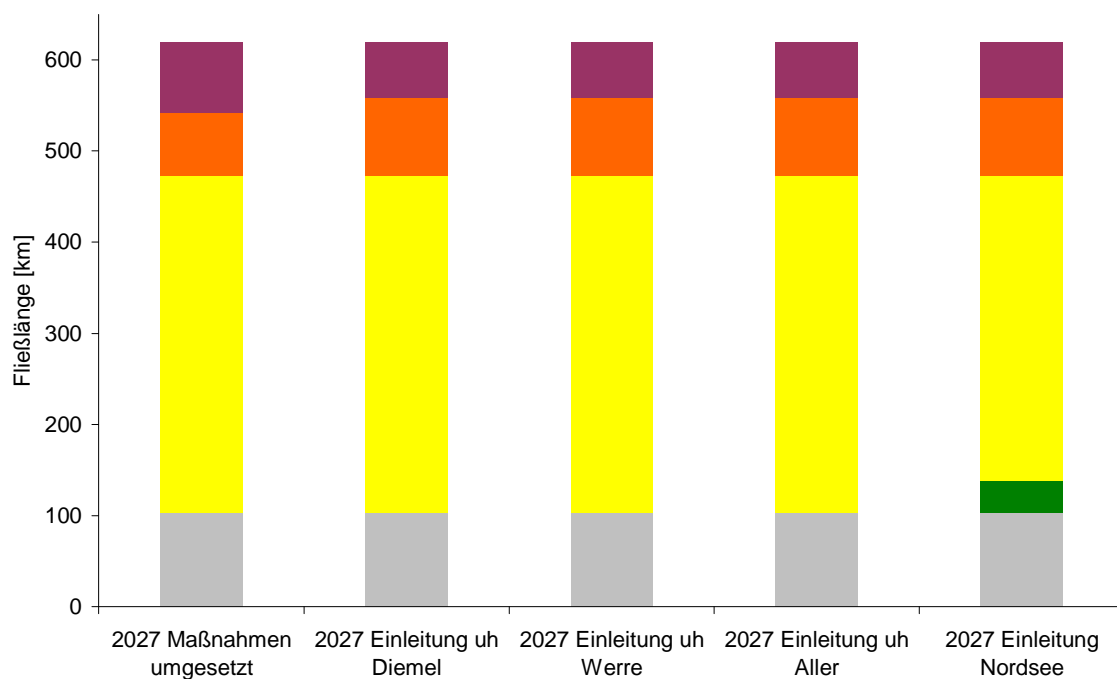


Abbildung 26: Anteil der Fließgewässerstrecken [km] in den Wirkschwellen für Magnesium in einem „trockenen Jahr“

7. Zusammenfassung

Die erzielten Ergebnisse der Kalibrierung und Verifizierung von Wassermenge und Stofftransport haben gezeigt, dass mit dem vorliegenden Bilanzierungs- und Prognosemodell Auswirkungen von potenziellen Gewässerschutzmaßnahmen unter veränderlichen Randbedingungen, wie Variabilität der Abflussbedingungen und der diffusen Stoffeinträge, beurteilt werden können. Mit Hilfe dieses Werkzeuges waren Szenarienrechnungen möglich, deren Auswertungen und Bewertungen in enger Abstimmung mit der Wissenschaftlichen Begleitung des *Runden Tisches Gewässerschutz Werra/Weser* und Kaliproduktion erfolgte. Die grafischen und tabellarischen Darstellungen der Modellergebnisse liefern die Grundlage für den *Runden Tisch* zur Beurteilung potenzieller Maßnahmen.

8. Ausblick

Das vorliegende Prognosemodell wurde nicht dafür konzipiert, Aussagen über die Größe eines potenziellen Speichervolumens zum Rückhalt der Produktions- und Haldenabwässer zu machen. Es kann hierfür verwendet werden, bedarf dann aber noch der Implementierung von Betriebsregeln. Die Betriebsregeln sollen Handlungsanweisungen definieren, wie in Abhängigkeit der Zustände im Gewässer eine auf lange Sicht bestmögliche Minimierung der Salzbelastung bei gleichzeitiger Maximierung der Einleitung (=Minimierung des erforderlichen Speichervolumens) erfolgen kann. Die Optimierung erfolgt über die Analyse der Historie und anhand generierter hydrologischer Situationen.

Als Eingangsdaten für die Dimensionierung eines Speichervolumens stehen Zeitreihen von 1949 bis 2007 (Pegel Gerstungen) zur Verfügung. Um eine hohe Aussagesicherheit zu erreichen, sollte – wie in der Wasserwirtschaft üblich – der beobachtete Zeitraum stochastisch verlängert werden. Die verlängerten Belastungen weisen die gleichen statistischen Merkmale auf wie der tatsächlich beobachtete Zeitraum. Sie enthalten nur neue und auch extremere Bedingungen, wie sie nicht in den Beobachtungsreihen enthalten sind, aber genauso wahrscheinlich hätten auftreten können. Über den verlängerten Zeitraum lassen sich über die Simulation des Speichers statistische Aussagen zu dessen Wirkung

ableiten, die allein aus einer 60 Jahre langen Beobachtungsreihe nicht möglich sind.

Über die Optimierung der Steuerstrategie hinsichtlich Befüllung und Entleerung im Zusammenspiel der Stapelbecken und der Situation im Gewässer ergibt sich eine Optimierung/Minimierung des benötigten Speichervolumens bei Einhaltung aller Randbedingungen und Zielkriterien. Der Speicher sollte z.B. für ein 100 jähriges Ereignis ausgelegt sein, d.h. eine Überschreitung der Maximalkonzentration im Gewässer erfolgt dann, wenn sich hydrologische Bedingungen einstellen, denen eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $\geq 100a$ zugewiesen werden kann.

Anhang

Abbildung A-1: Übersicht des Gewässersystems Werra/Weser	35
Abbildung A-2: Abgrenzung der Wasserkörper in Werra und Weser	36
Abbildung A-3: Name und Länge der Wasserkörper in Werra und Weser	37
Abbildung A-4: Lage der ausgewerteten Pegel	38
Abbildung A-5: Lage der ausgewerteten Güte-Messstellen	39
Tabelle A-1: Zusammenstellung der zur Verfügung stehenden Messstellen und deren Messfrequenz	40
Tabelle A-2: Zusammenstellung der zur Verfügung gestellten Emissionen aus der Kaliproduktion	41
Abbildung A-6: Darstellung des wasserwirtschaftlichen Systems der Werra und des Oberlaufs der Weser (TALSIM)	42
Abbildung A-7: Vergleich der gemessenen und simulierten Abflussganglinie am Pegel Höxter für das Jahr 2007	43
Abbildung A-8: Systemdarstellung im Mittellauf der Werra	44
Abbildung A-9: Jahresabflusssummen am Pegel Gerstungen von 1947 bis 2007	45
Abbildung A-10: Abflussdauerlinien am Pegel Gerstungen für die Jahre 1970 bis 2007	46
Abbildung A-11: Vergleich der mittleren Abfluss-Dauerlinie (1970-2007) und der Abfluss-Dauerlinie 1999 „mittleres Jahr“	47
Abbildung A-12: Abfluss-Dauerlinie des Jahres 1991 – „trockenes Jahr“	48
Abbildung A-13: Einordnung des „trockenen Jahres“ 1991 und des „mittleren Jahres“ 1999	49
Tabelle A-3: Zusammenfassende Bewertung der Szenarien – Chlorid, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	50
Tabelle A-4: Zusammenfassende Bewertung der Szenarien – Kalium, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	51
Tabelle A-5: Zusammenfassende Bewertung der Szenarien – Magnesium, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	52
Abbildung A-14: Bewertung Szenario Ia – Chlorid, „mittleres Jahr“	53
Abbildung A-15: Bewertung Szenario Ia – Kalium, „mittleres Jahr“	54
Abbildung A-16: Bewertung Szenario Ia – Magnesium, „mittleres Jahr“	55
Abbildung A-17: Bewertung Szenario Ib – Chlorid, „mittleres Jahr“	56
Abbildung A-18: Bewertung Szenario Ib – Kalium, „mittleres Jahr“	57
Abbildung A-19: Bewertung Szenario Ib – Magnesium, „mittleres Jahr“	58
Abbildung A 20: Bewertung Szenario Ic – Chlorid, „mittleres Jahr“	59
Abbildung A 21: Bewertung Szenario Ic – Kalium, „mittleres Jahr“	60
Abbildung A-22: Bewertung Szenario Ic – Magnesium, „mittleres Jahr“	61
Abbildung A-23: Bewertung Szenario II – Chlorid, „mittleres Jahr“	62
Abbildung A-24: Bewertung Szenario II – Kalium, „mittleres Jahr“	63
Abbildung A-25: Bewertung Szenario II – Magnesium, „mittleres Jahr“	64
Abbildung A-26: Bewertung Szenario IIIa – Chlorid, „mittleres Jahr“	65
Abbildung A-27: Bewertung Szenario IIIa – Kalium, „mittleres Jahr“	66
Abbildung A-28: Bewertung Szenario IIIa – Magnesium, „mittleres Jahr“	67
Abbildung A-29: Bewertung Szenario IIIb – Chlorid, „mittleres Jahr“	68

Abbildung A-30: Bewertung Szenario IIIb – Kalium, „mittleres Jahr“	69
Abbildung A-31: Bewertung Szenario IIIb – Magnesium, „mittleres Jahr“	70
Tabelle A-6: Zusammenfassende Bewertung: Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 im Vergleich Ist-Zustand und 2015 Maßnahmen umgesetzt in einem „mittleren Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	71
Abbildung A- 32: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser im Ist- Zustand und im Jahr 2015 in einem „mittleren“ Jahr	72
Abbildung A-33: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr.....	73
Abbildung A-34: Zusammenfassende Bewertung: Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 im Vergleich Ist-Zustand und 2015 Maßnahmen umgesetzt in einem „mittleren Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	74
Abbildung A- 35: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser im Ist- Zustand und im Jahr 2015 in einem „mittleren“ Jahr	75
Abbildung A-36: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr.....	76
Tabelle A-7: Zusammenfassende Bewertung: Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 im Vergleich Ist-Zustand und 2015 Maßnahmen umgesetzt in einem „mittleren Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	77
Abbildung A- 37: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser im Ist-Zustand und im Jahr 2015 in einem „mittleren“ Jahr	78
Abbildung A-38: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr.....	79
Tabelle A-8: Zusammenfassende Bewertung: Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90- Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	80
Abbildung A-39: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr	81
Tabelle A-9: Zusammenfassende Bewertung: Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90- Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	82
Abbildung A-40: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr	83

Tabelle A-10: Zusammenfassende Bewertung: Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde	84
Abbildung A-41: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr	85
Tabelle A-11: Auswertung ausgewählter Szenarien bei erhöhten (+10%) und verringerten (-10%) Emissionen, Chlorid, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentiwert, der für die Bewertung des Wasserkörpers ermittelt wurde.	86
Tabelle A-12: Auswertung ausgewählter Szenarien bei erhöhten (+10%) und verringerten (-10%) Emissionen, Kalium, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentiwert, der für die Bewertung des Wasserkörpers ermittelt wurde.	87
Tabelle A-13: Auswertung ausgewählter Szenarien bei erhöhten (+10%) und verringerten (-10%) Emissionen, Kalium, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentiwert, der für die Bewertung des Wasserkörpers ermittelt wurde.	88

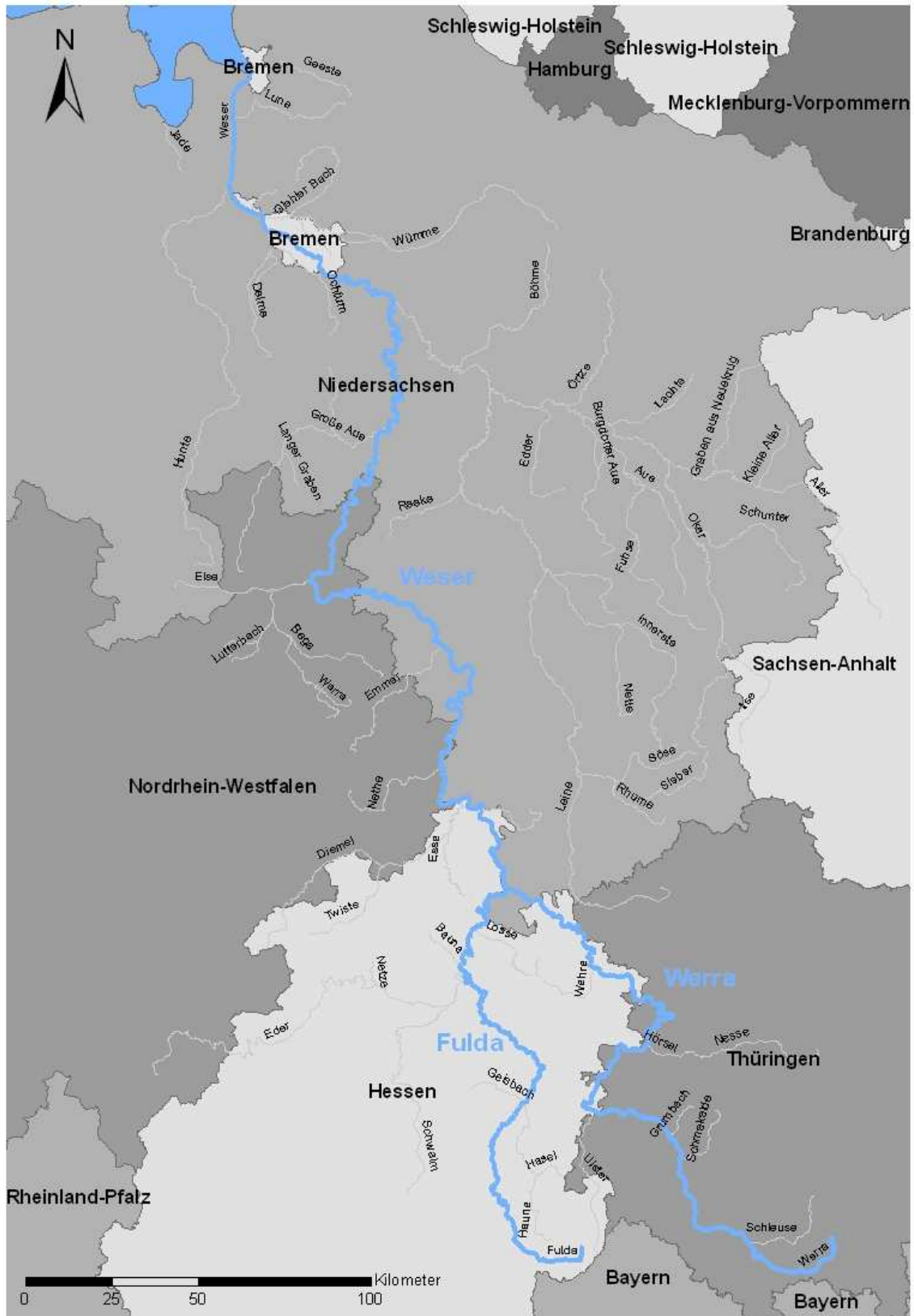


Abbildung A-1: Übersicht des Gewässersystems Werra/Weser

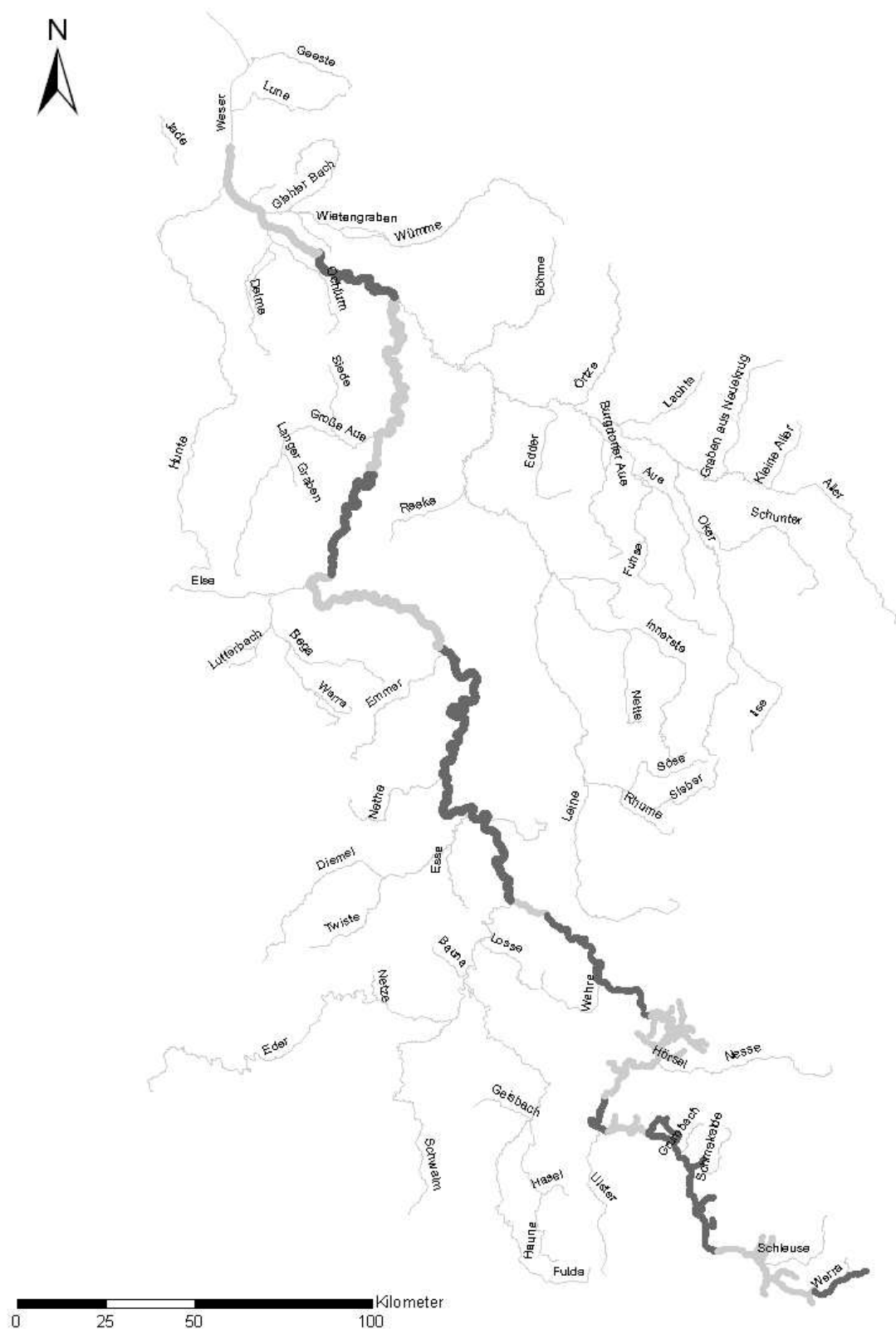


Abbildung A-2: Abgrenzung der Wasserkörper in Werra und Weser

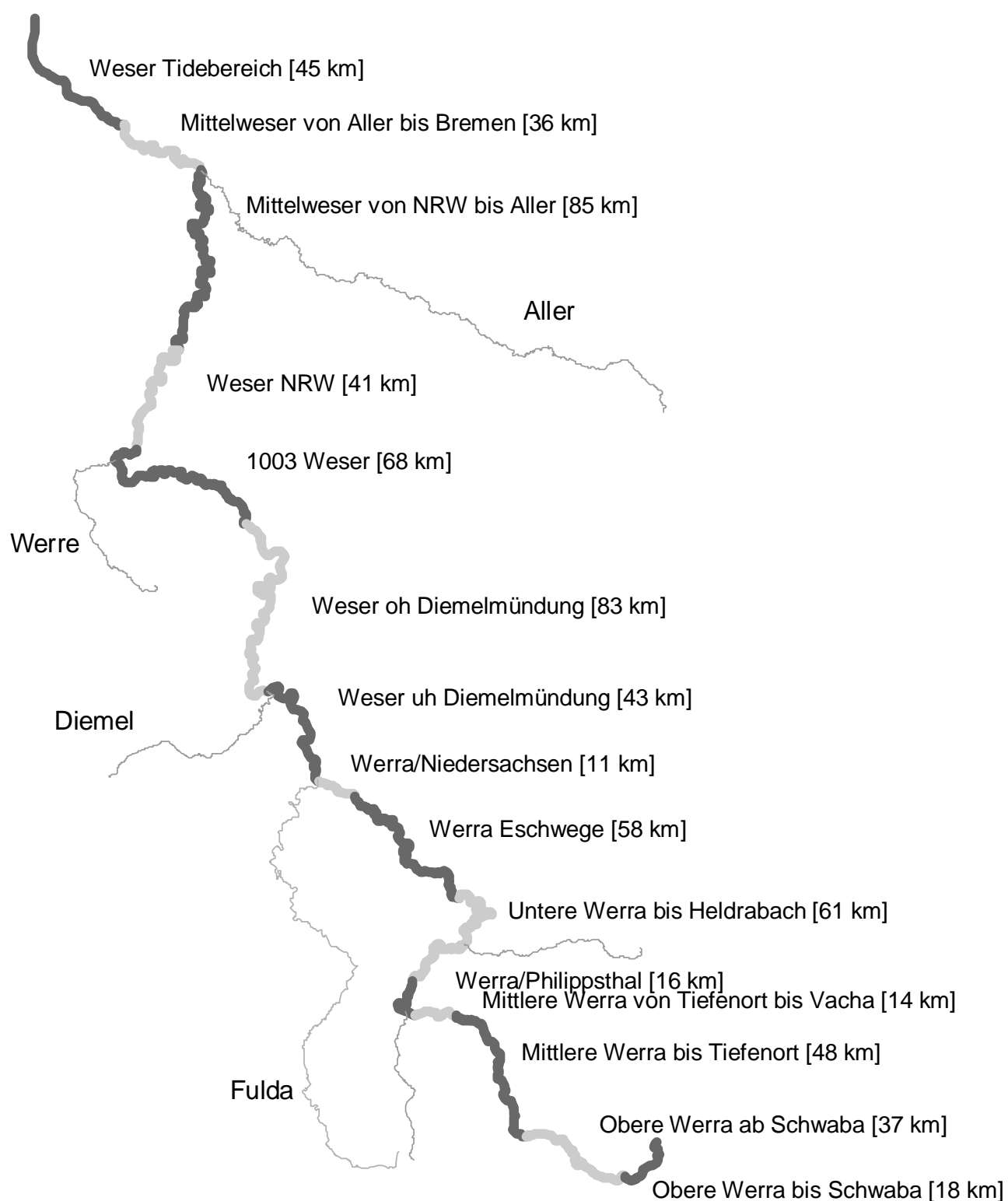


Abbildung A-3: Name und Länge der Wasserkörper in Werra und Weser

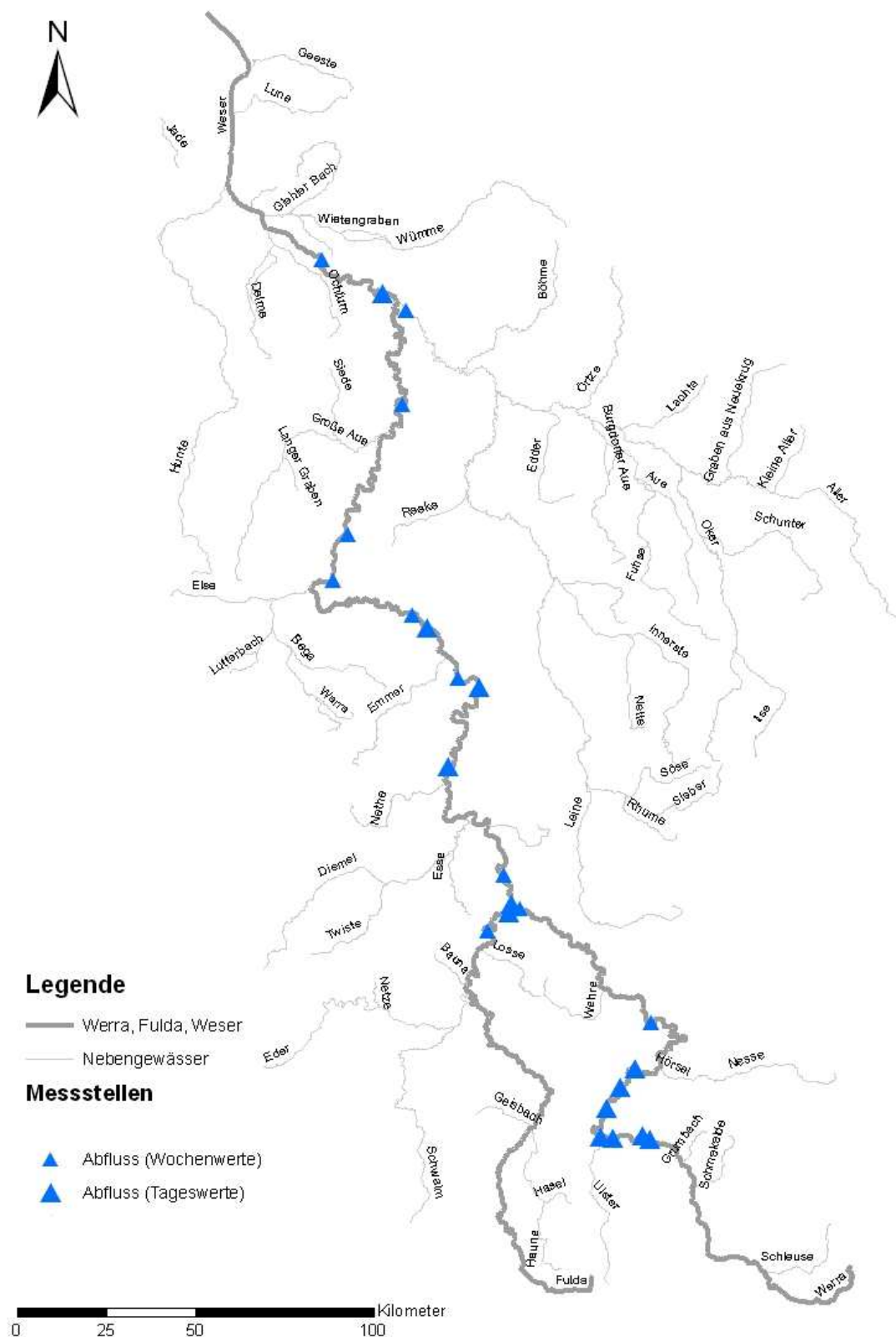


Abbildung A-4: Lage der ausgewerteten Pegel

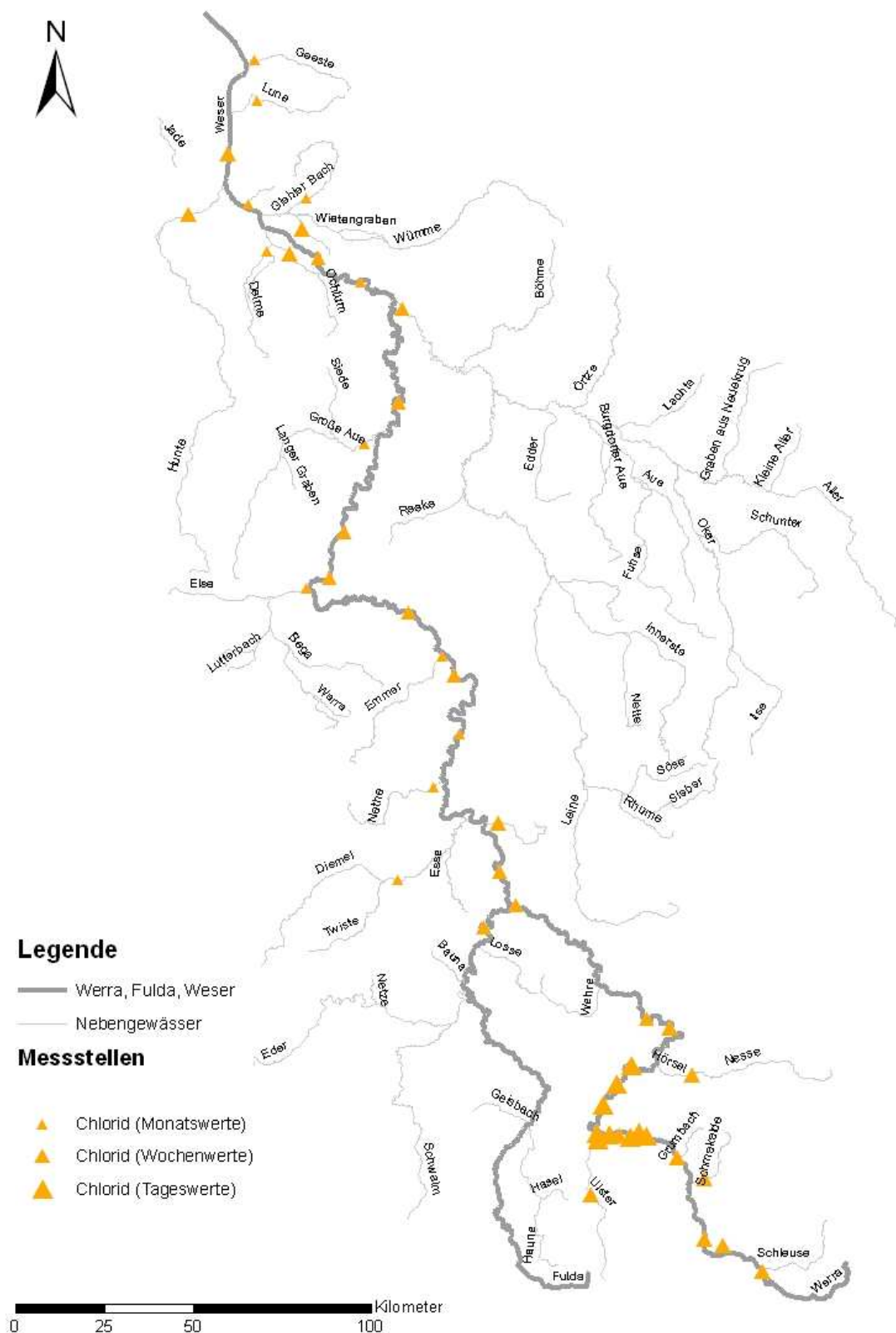


Abbildung A-5: Lage der ausgewerteten Güte-Messstellen

Tabelle A-1: Zusammenstellung der zur Verfügung stehenden Messstellen und deren Messfrequenz

Messstelle	Abfluss und Chlorid			Abfluss			Chlorid			Chlorid			Quelle
	von	bis	Frequenz	von	bis	Frequenz	von	bis	Frequenz	von	bis	Frequenz	
Grimmelshausen							01.1990	12.2006	1-4 Wochen				FGG Weser
Ellingshausen							01.1990	12.2007	1-4 Wochen				FGG Weser
Meiningen							01.1990	12.2007	1-4 Wochen				FGG Weser
Mittelschmalkalden							01.1990	12.2006	1-4 Wochen				FGG Weser
Breitungen							01.1990	12.2006	1-4 Wochen				FGG Weser
Unterrohn	01.1955	07.2008	Tage										FGG Weser/ RP Kassel
Tiefenort	01.1955	08.2008	Tage										FGG Weser/ RP Kassel
Merkers							01.2005	06.2008	Tage				RP Kassel
Dorndorf							01.1990	01.2007	1-4 Wochen				FGG Weser
Vacha	01.1948	08.2008	Tage										FGG Weser/ RP Kassel
Motzlar							01.1990	12.2006	1-4 Wochen				FGG Weser
Unterbreizbach							01.1990	12.2005	1-4 Wochen	01.2005	06.2008	Tage	FGG Weser
Phillipstal	01.1948	07.2008	Tage										FGG Weser/ RP Kassel
Widdershausen	01.1948	12.2001	Tage				01.2002	08.2008	Tageswerte				RP Kassel
Gerstungen	01.1947	07.2008	Tage										FGG Weser/ RP Kassel
Wommen	01.1990	08.2003	Tage										FGG Weser/ RP Kassel
Nessemühle							02.1990	12.2006	1-4 Wochen				FGG Weser
Frankenroda							02.1990	12.2006	1-4 Wochen				FGG Weser
Heldra	01.1990	12.1998	14 Tage										FGG Weser
Letzter Heller	01.1979	12.2002	14 Tage										FGG Weser
Witzenhausen	12.2002	12.2007	14 Tage										FGG Weser
Wahnhausen	01.1979	12.2007	14 Tage										FGG Weser
Bonaforth				01.1977	03.2008	Tage							FGG Weser
Hann. Münden				01.1970	03.2008	Tage							FGG Weser
Hemeln	01.1979	03.2008	14 Tage										FGG Weser
Vernawahlshausen							01.1990	12.2007	1-4 Wochen				FGG Weser
Warburg							10.1990	07.2003	12 Monate	02.2005	12.2007	Monat	FGG Weser
Amelunxen							09.1990	09.2003	12 Monate	02.2005	12.2007	Monat	FGG Weser
Höxter				11.1976	03.2008	Tage							FGG Weser
Holzminde							01.1990	10.2004	6 Monate				FGG Weser
Bodenwerder				01.1970	03.2008	Tage							FGG Weser
Hajen	01.1979	12.1997	14 Tage										FGG Weser
Emmern							01.1990	12.2007	12 Monate				FGG Weser
Hameln				11.1974	03.2008	Tage							FGG Weser
Hess. Oldendorf	01.1979	12.2007	14 Tage										FGG Weser
Bad Oyenhausen							01.1990	12.2007	12 Monate				FGG Weser
Porta	01.1979	12.2007	14 Tage	01.1970	03.2008	Tage							FGG Weser
Petershagen	01.1979	05.2008	14 Tage										FGG Weser
Steyenberg							01.1990	12.2007	12 Monate				FGG Weser
Drakenburg	01.1979	09.2008	14 Tage	11.1978	09.2008	Tage							FGG Weser
Verden	01.1990	09.2008	14 Tage										FGG Weser
Intschede	01.1979	12.1989	14 Tage	01.1949	08.2008	Tage							FGG Weser
Uesen							07.1992	12.2007	12 Monate				FGG Weser
Hemelingen	01.1979	08.2008	14 Tage										FGG Weser
Hasbergen							01.1990	12.2007	12 Monate				FGG Weser
Ochtum							07.1994	12.2005	2-4 Wochen				FGG Weser
Kleine Wülme							12.1992	12.2007	2-4 Wochen				FGG Weser
Tietjens Hütte							01.1990	12.2007	Monat				FGG Weser
Blumenthaler Aue							01.1994	12.2007	Monat				FGG Weser
Reithörne							01.1990	12.2007	1-4 Wochen				FGG Weser
Brake							01.1979	03.2008	14 Tage				FGG Weser
Stotel							01.1990	12.2007	Monat				FGG Weser
Geeste							02.1990	11.2003	3 Monate	01.2005	12.2005	Monat	FGG Weser

Tabelle A-2: Zusammenstellung der zur Verfügung gestellten Emissionen aus der Kaliproduktion

Werk	Einleitmenge und Chloridtransport		
	von	bis	Frequenz
Untereibach	01.01.2005	30.09.2008	Tage
Hattorf	01.01.2005	30.09.2008	Tage
Wintershall	01.01.2005	30.09.2008	Tage



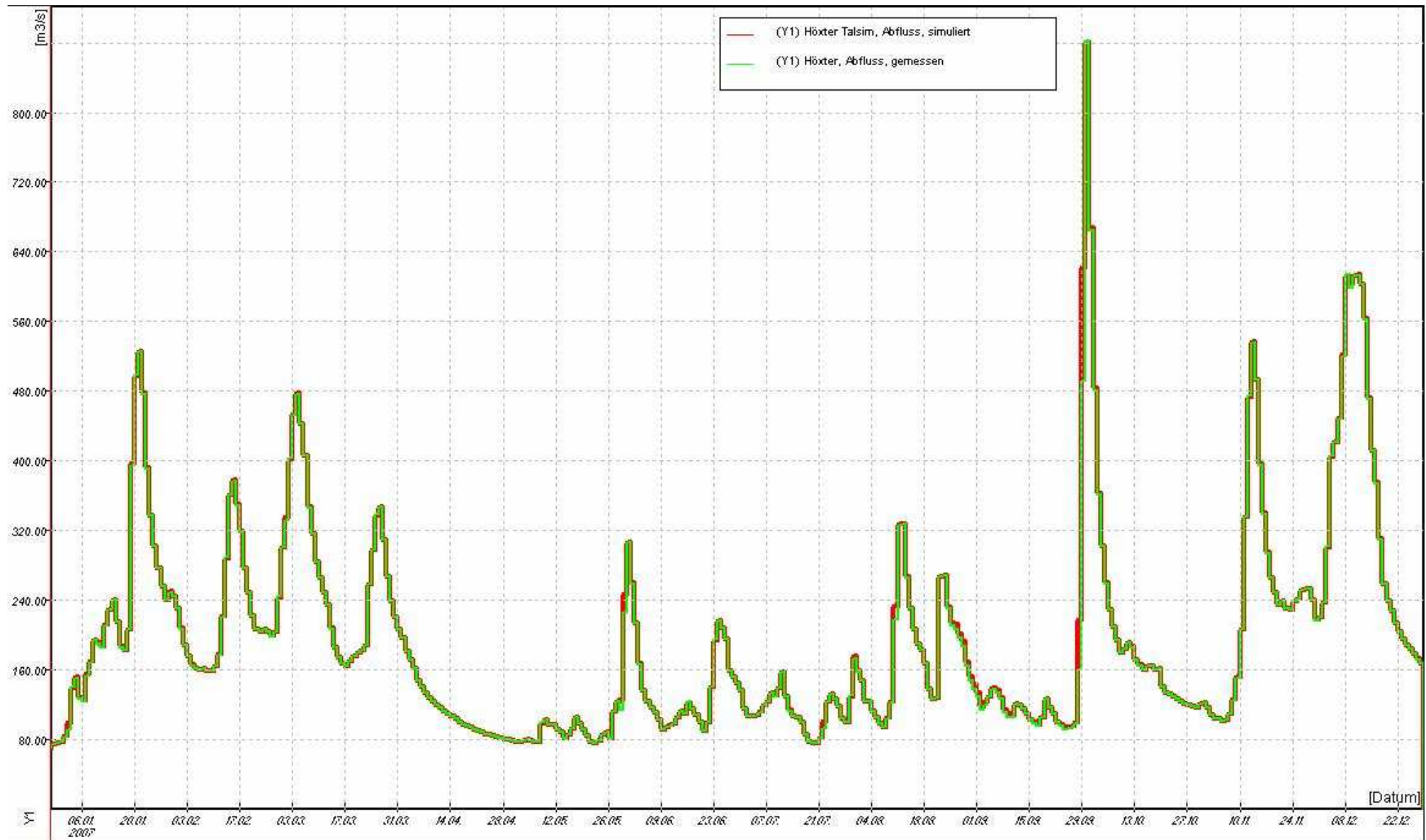


Abbildung A-7: Vergleich der gemessenen und simulierten Abflussganglinie am Pegel Höxter für das Jahr 2007

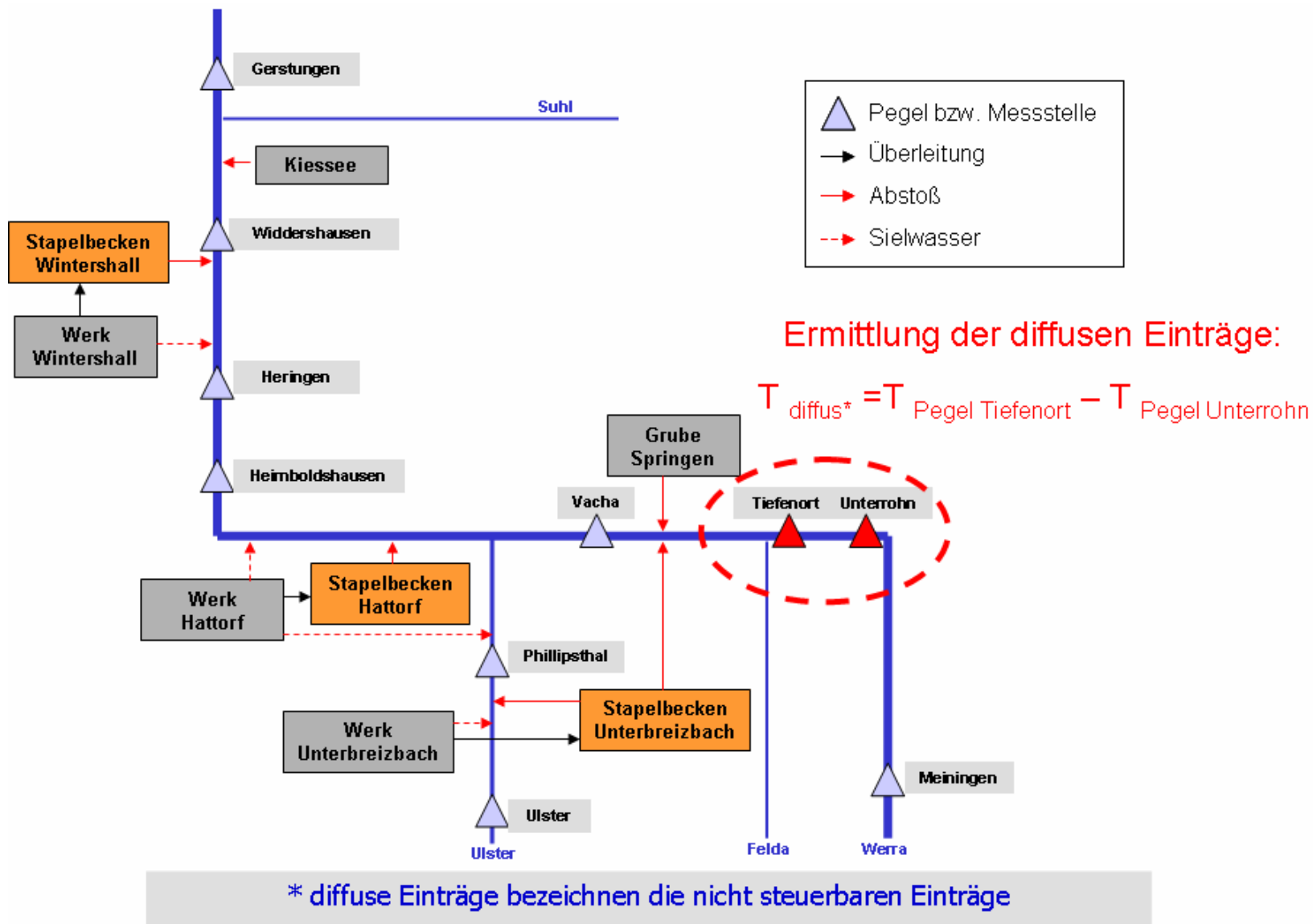


Abbildung A-8: Systemdarstellung im Mittellauf der Werra

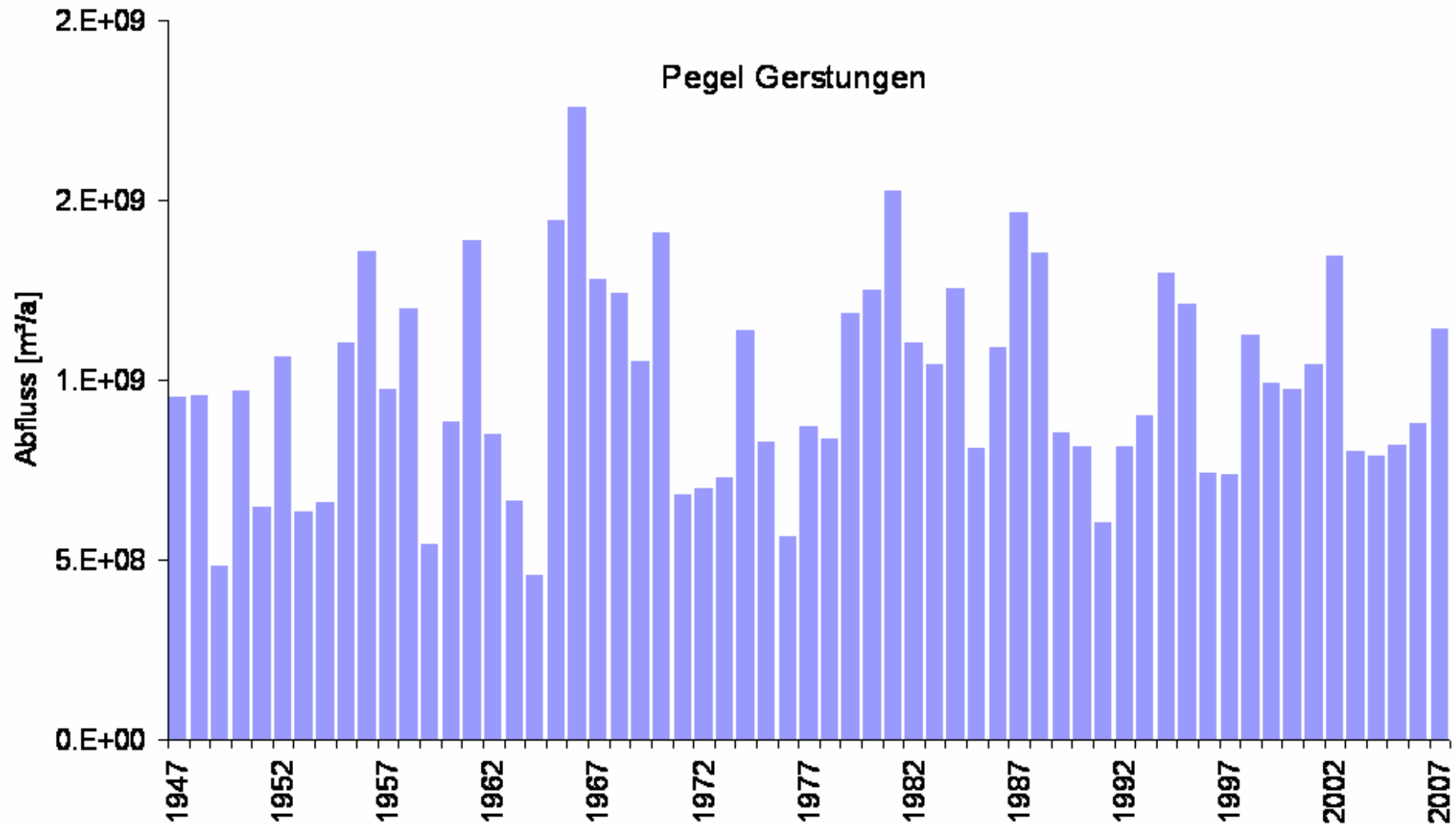


Abbildung A-9: Jahresabflusssummen am Pegel Gerstungen von 1947 bis 2007

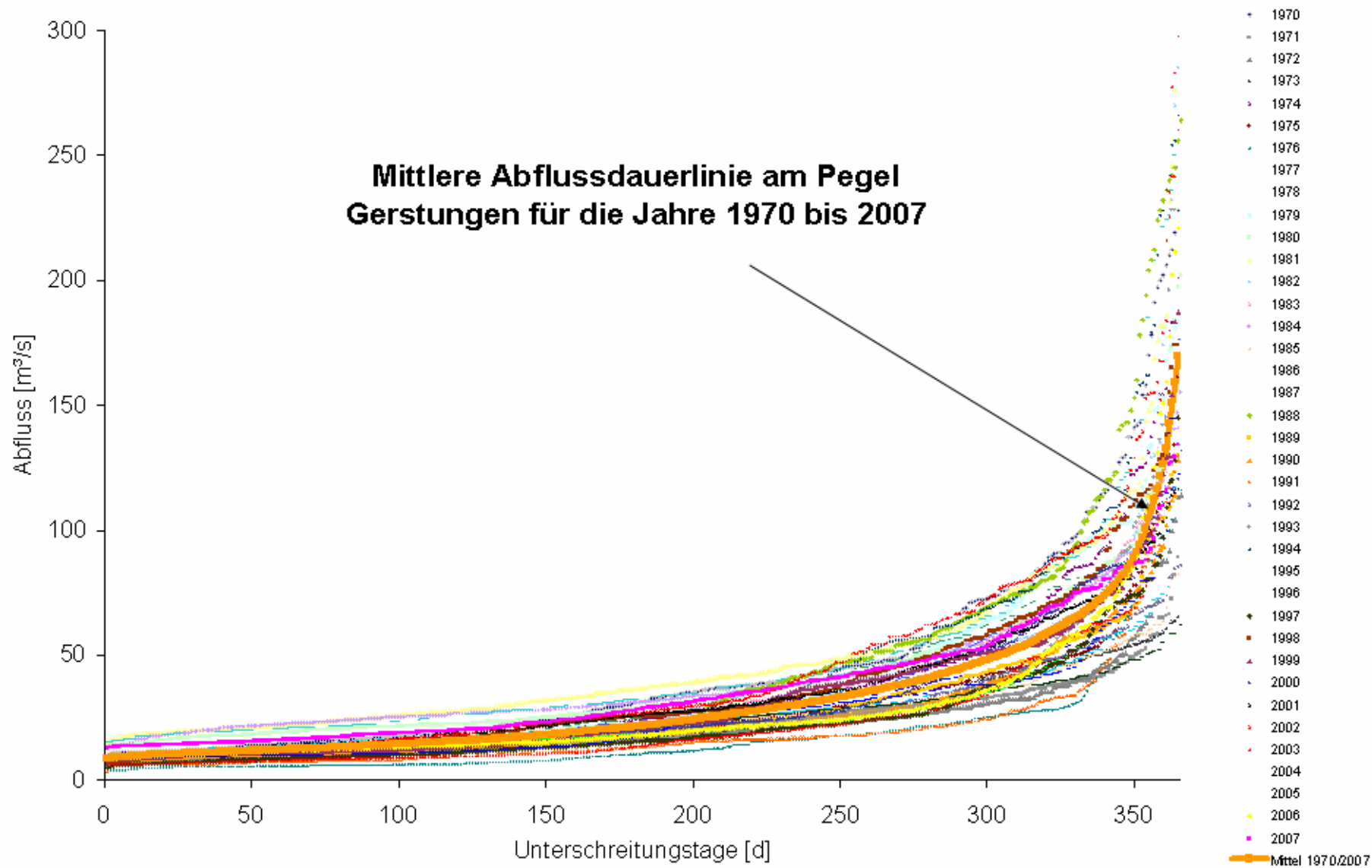


Abbildung A-10: Abflussdauerlinien am Pegel Gerstungen für die Jahre 1970 bis 2007

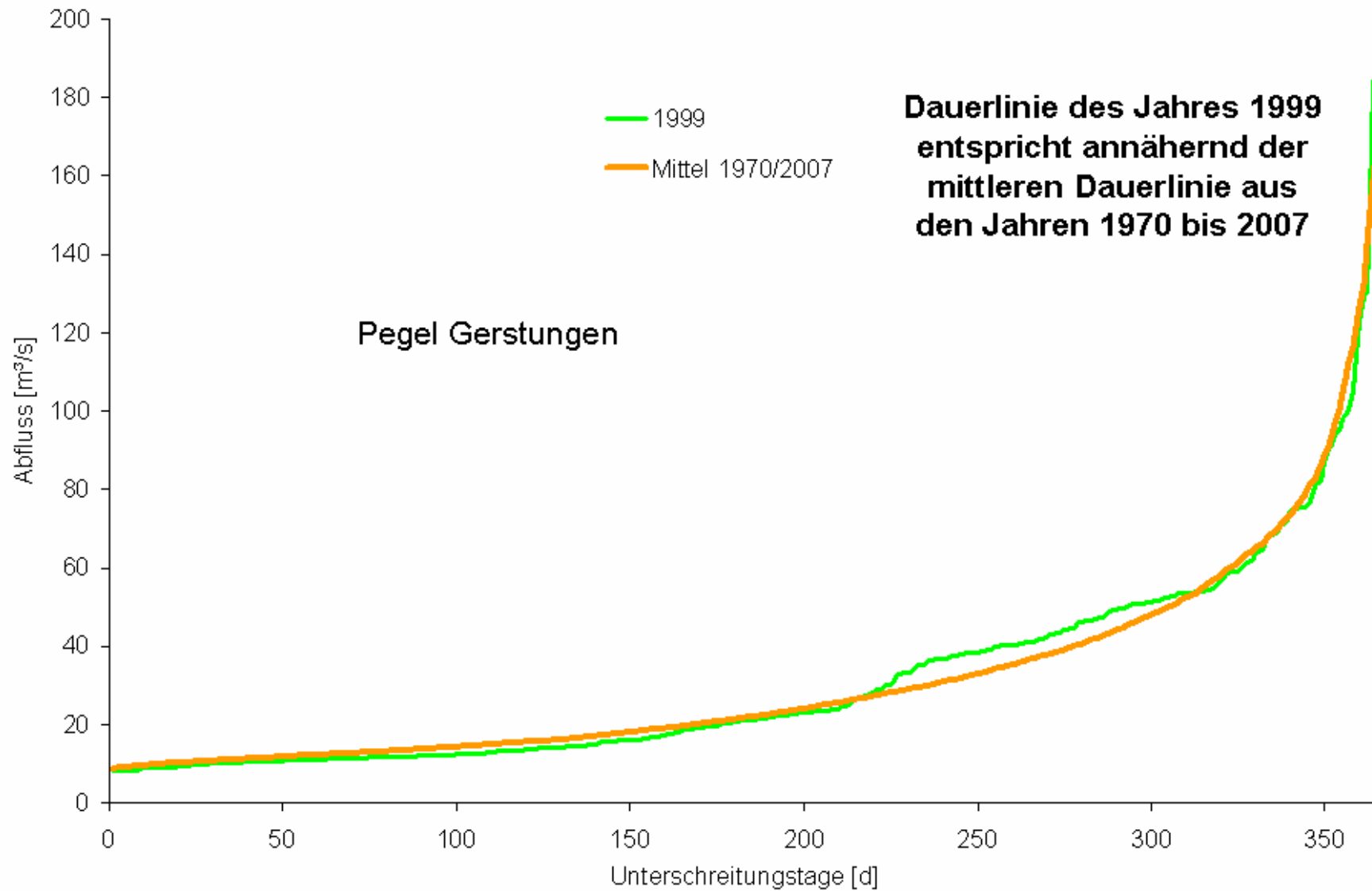


Abbildung A-11: Vergleich der mittleren Abfluss-Dauerlinie (1970-2007) und der Abfluss-Dauerlinie 1999 „mittleres Jahr“

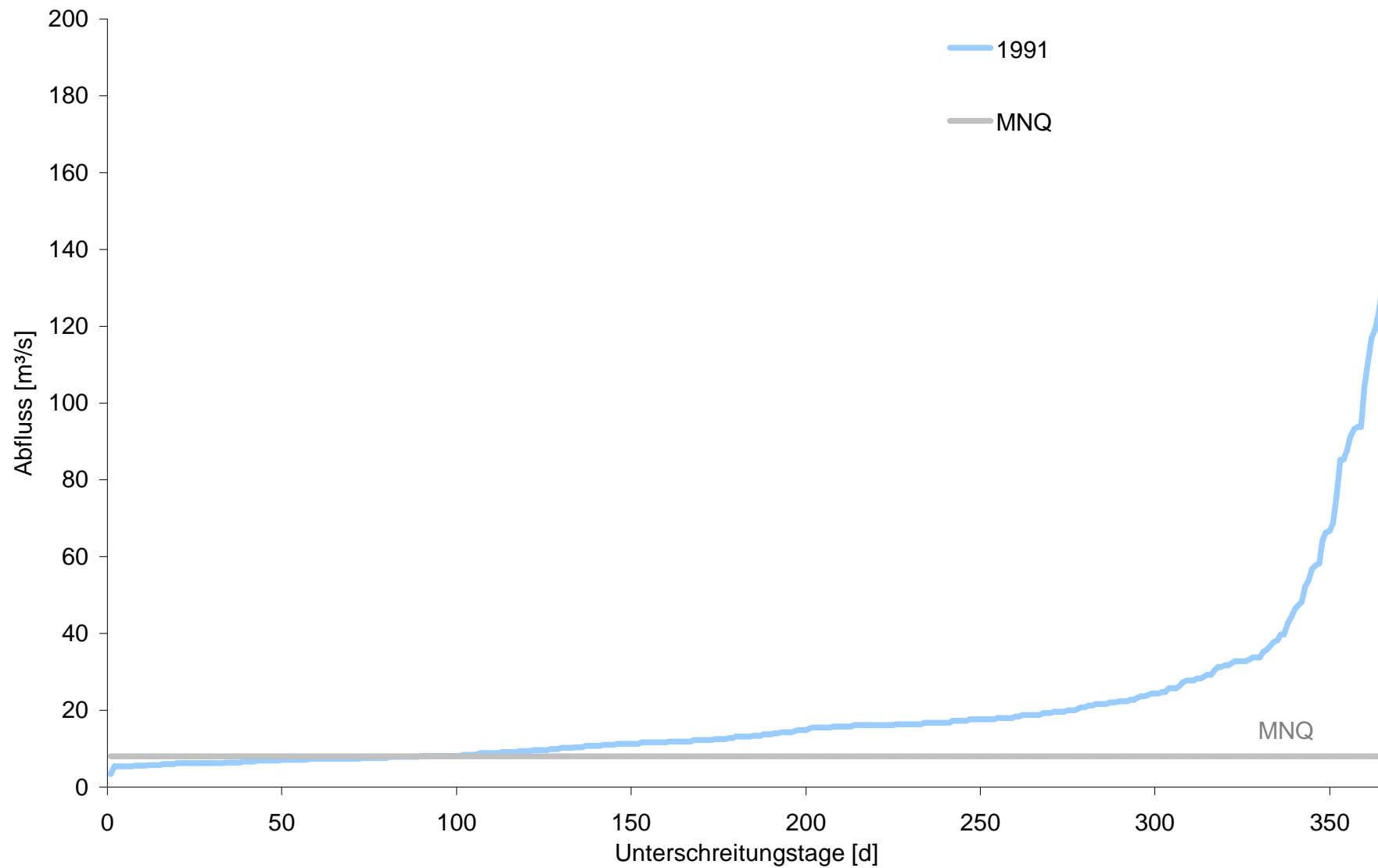


Abbildung A-12: Abfluss-Dauerlinie des Jahres 1991 – „trockenes Jahr“

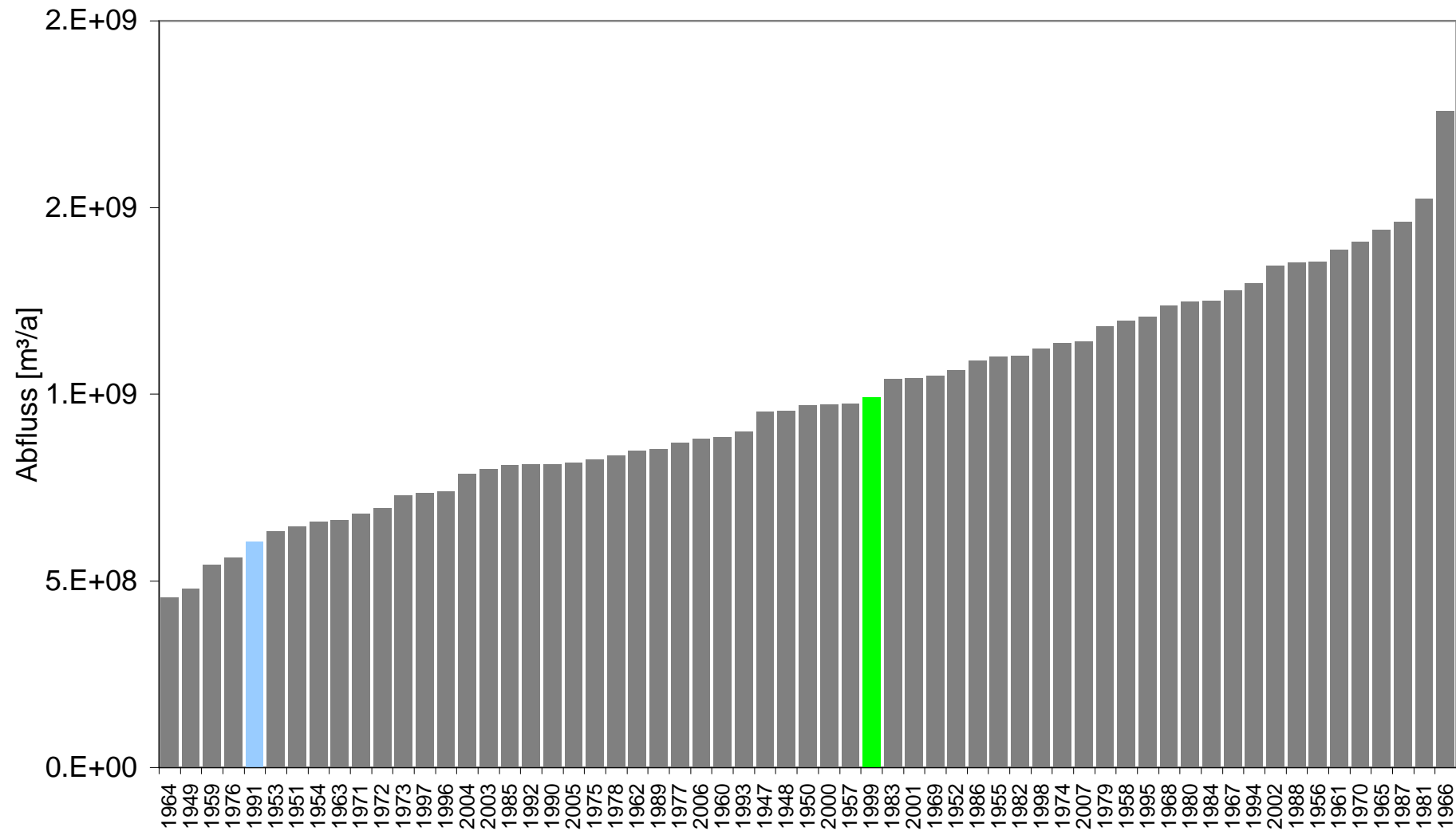


Abbildung A-13: Einordnung des „trockenen Jahres“ 1991 und des „mittleren Jahres“ 1999

Tabelle A-3: Zusammenfassende Bewertung der Szenarien – Chlorid, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Jahr	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabad	Werra/Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemelündung	Weser unterhalb Diemelündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
IST-Zustand	2009	<75	<75	<75	590	1696	1896	1451	1412	645	543	443	406	397	294	-
Ia	2015	<75	<75	<75	418	1308	1469	1080	1051	487	411	336	308	301	233	-
	2027	<75	<75	<75	269	1107	1293	949	925	433	366	299	272	267	212	-
Ib	2015	<75	<75	<75	418	1308	1469	1080	1051	487	411	336	308	301	233	-
	2020	<75	<75	<75	418	1308	1469	1080	1051	487	411	336	308	301	233	-
	2027	<75	<75	<75	269	1107	1293	949	925	433	366	299	272	267	212	-
Ic	2011	<75	<75	<75	689	2037	2398	2123	2071	932	789	644	576	553	398	-
	2015	<75	<75	<75	418	1308	1469	1080	1051	487	411	336	308	301	233	-
	2020	<75	<75	<75	269	1107	1293	949	925	433	366	299	272	267	212	-
	2027	<75	<75	<75	269	1107	1293	949	925	433	366	299	272	267	212	-
II	2015	<75	<75	<75	418	1090	1105	591	561	273	411	336	308	301	233	-
	2020	<75	<75	<75	418	1090	1105	591	561	273	411	336	308	301	233	-
	2027	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	366	299	272	267	212	-
IIIa	2015	<75	<75	<75	418	1308	1469	1080	1051	487	411	336	308	301	233	-
	2020	<75	<75	<75	418	1090	1105	591	561	273	220	197	182	177	169	-
	2027	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	119	105	97	95	92	-
IIIb	2015	<75	<75	<75	418	1308	1469	1080	1051	487	411	336	308	301	233	-
	2020	<75	<75	<75	418	1090	1105	591	561	273	220	197	182	177	169	-
	2027	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	119	105	97	95	92	-

Tabelle A-4: Zusammenfassende Bewertung der Szenarien – Kalium, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Jahr	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabad	Werra/Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemelündung	Weser unterhalb Diemelündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
IST-Zustand	2009	-	-	-	55	162	183	144	140	66	55	45	41	40	30	-
Ia	2015	-	-	-	38	129	149	117	114	54	46	37	33	32	25	-
	2027	-	-	-	23	119	144	111	109	51	44	35	32	31	24	-
Ib	2015	-	-	-	38	175	208	160	155	72	62	50	44	42	31	-
	2020	-	-	-	38	175	208	160	155	72	62	50	44	42	31	-
	2027	-	-	-	23	153	188	145	142	66	56	46	41	39	30	-
Ic	2011	-	-	-	69	247	299	267	260	117	100	79	71	67	45	-
	2015	-	-	-	38	175	208	160	155	72	62	50	44	42	31	-
	2020	-	-	-	23	153	188	145	142	66	56	46	41	39	30	-
	2027	-	-	-	23	153	188	145	142	66	56	46	41	39	30	-
II	2015	-	-	-	38	102	104	56	53	28	46	37	33	32	25	-
	2020	-	-	-	38	102	104	56	53	28	46	37	33	32	25	-
	2027	-	-	-	23	61	62	33	32	18	44	35	32	31	24	-
IIIa	2015	-	-	-	38	129	149	117	114	54	46	37	33	32	25	-
	2020	-	-	-	38	102	104	56	53	28	22	20	18	18	18	-
	2027	-	-	-	23	61	62	33	32	18	15	13	12	12	14	-
IIIb	2015	-	-	-	38	175	208	160	155	72	62	50	44	42	31	-
	2020	-	-	-	38	102	104	56	53	28	22	20	18	18	18	-
	2027	-	-	-	23	61	62	33	32	18	15	13	12	12	14	-

Tabelle A-5: Zusammenfassende Bewertung der Szenarien – Magnesium, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Jahr	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabad	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Werra oberhalb Diemelündung	Werra unterhalb Diemelündung	10003 Weser	Werra NRW	Mittelwerra von NRW bis Aller	Mittelwerra von Aller bis Bremen	Werra Tiefebereich
IST-Zustand	2009	-	-	-	93	262	286	203	198	96	82	68	62	61	44	-
Ia	2015	-	-	-	72	185	203	153	149	75	64	53	48	47	34	-
	2027	-	-	-	45	162	174	130	127	65	56	46	42	41	31	-
Ib	2015	-	-	-	72	269	313	241	235	111	96	78	69	66	46	-
	2020	-	-	-	72	269	313	241	235	111	96	78	69	66	46	-
	2027	-	-	-	45	227	274	213	208	100	86	70	62	60	43	-
Ic	2011	-	-	-	113	394	476	424	413	188	163	129	116	109	70	-
	2015	-	-	-	72	269	313	241	235	111	96	78	69	66	46	-
	2020	-	-	-	45	227	274	213	208	100	86	70	62	60	43	-
	2027	-	-	-	45	227	274	213	208	100	86	70	62	60	43	-
II	2015	-	-	-	72	189	192	103	97	53	64	53	48	47	34	-
	2020	-	-	-	72	189	192	103	97	53	64	53	48	47	34	-
	2027	-	-	-	45	113	115	62	58	36	56	46	42	41	31	-
IIIa	2015	-	-	-	72	185	203	153	149	75	64	53	48	47	34	-
	2020	-	-	-	72	189	192	103	97	53	44	39	36	35	29	-
	2027	-	-	-	45	113	115	62	58	36	30	27	25	25	22	-
IIIb	2015	-	-	-	72	269	313	241	235	111	96	78	69	66	46	-
	2020	-	-	-	72	189	192	103	97	53	44	39	36	35	29	-
	2027	-	-	-	45	113	115	62	58	36	30	27	25	25	22	-

Szenario Ia: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2015, mit NIS

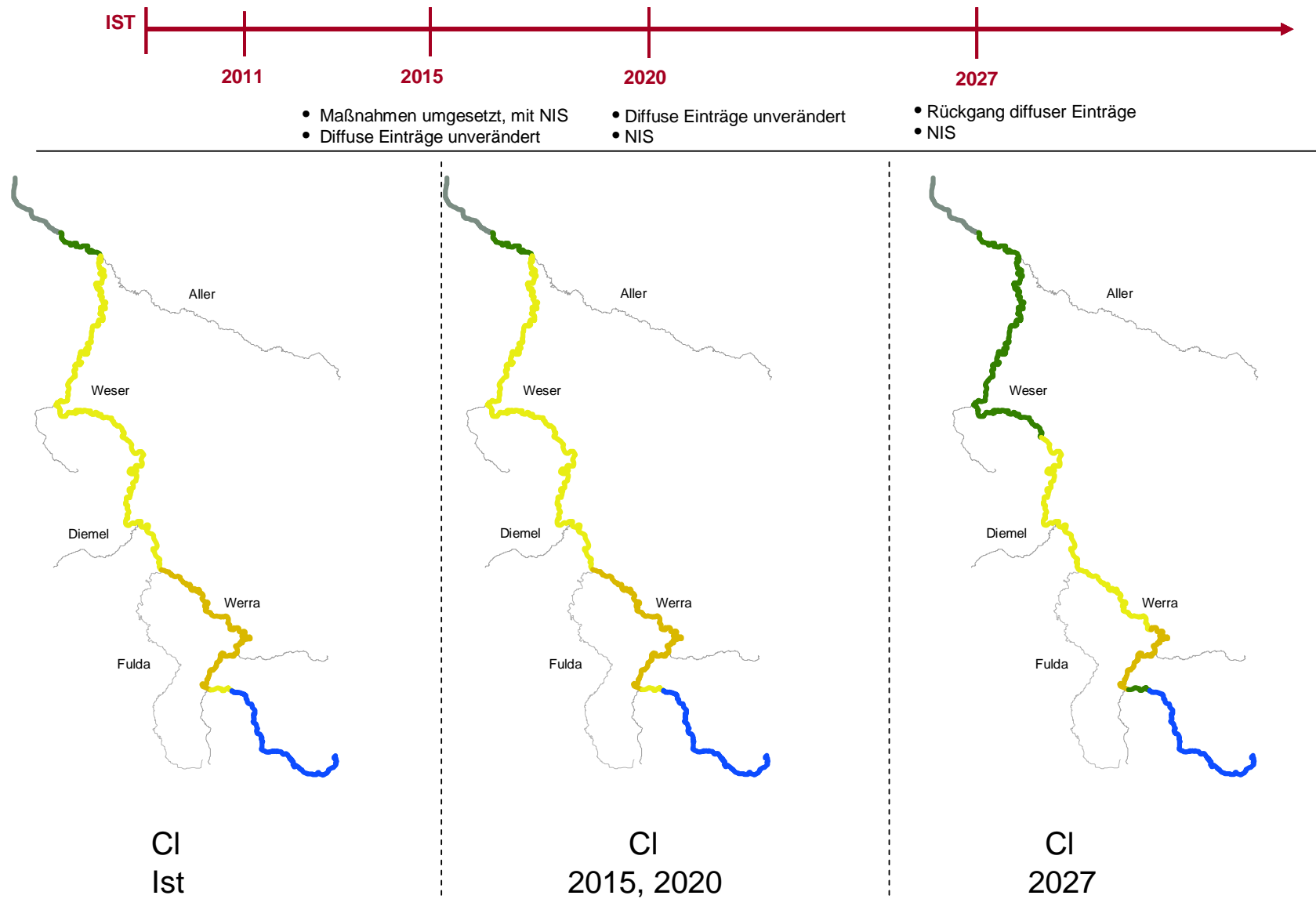


Abbildung A-14: Bewertung Szenario Ia – Chlorid, „mittleres Jahr“

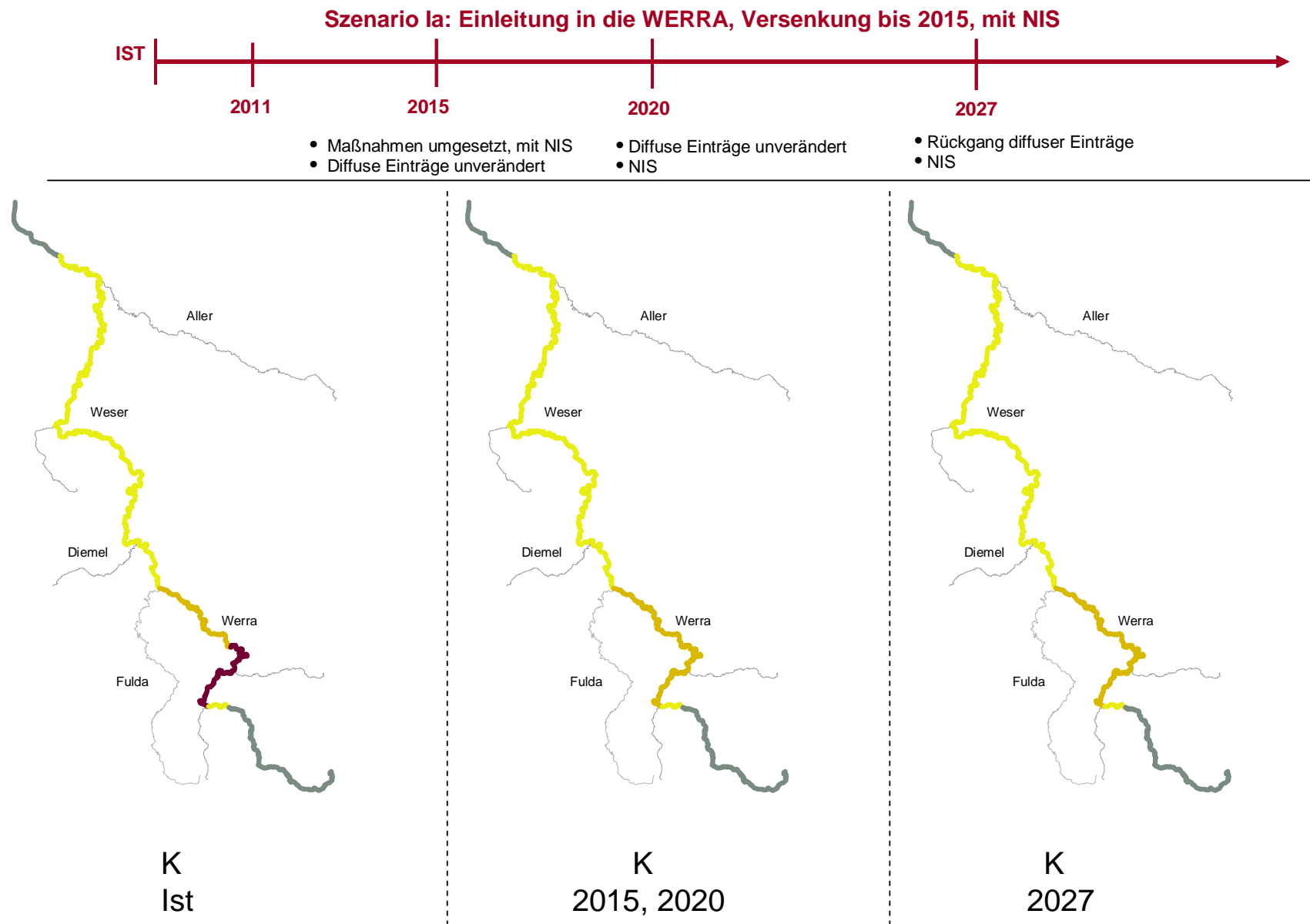


Abbildung A-15: Bewertung Szenario Ia – Kalium, „mittleres Jahr“

Szenario Ia: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2015, mit NIS

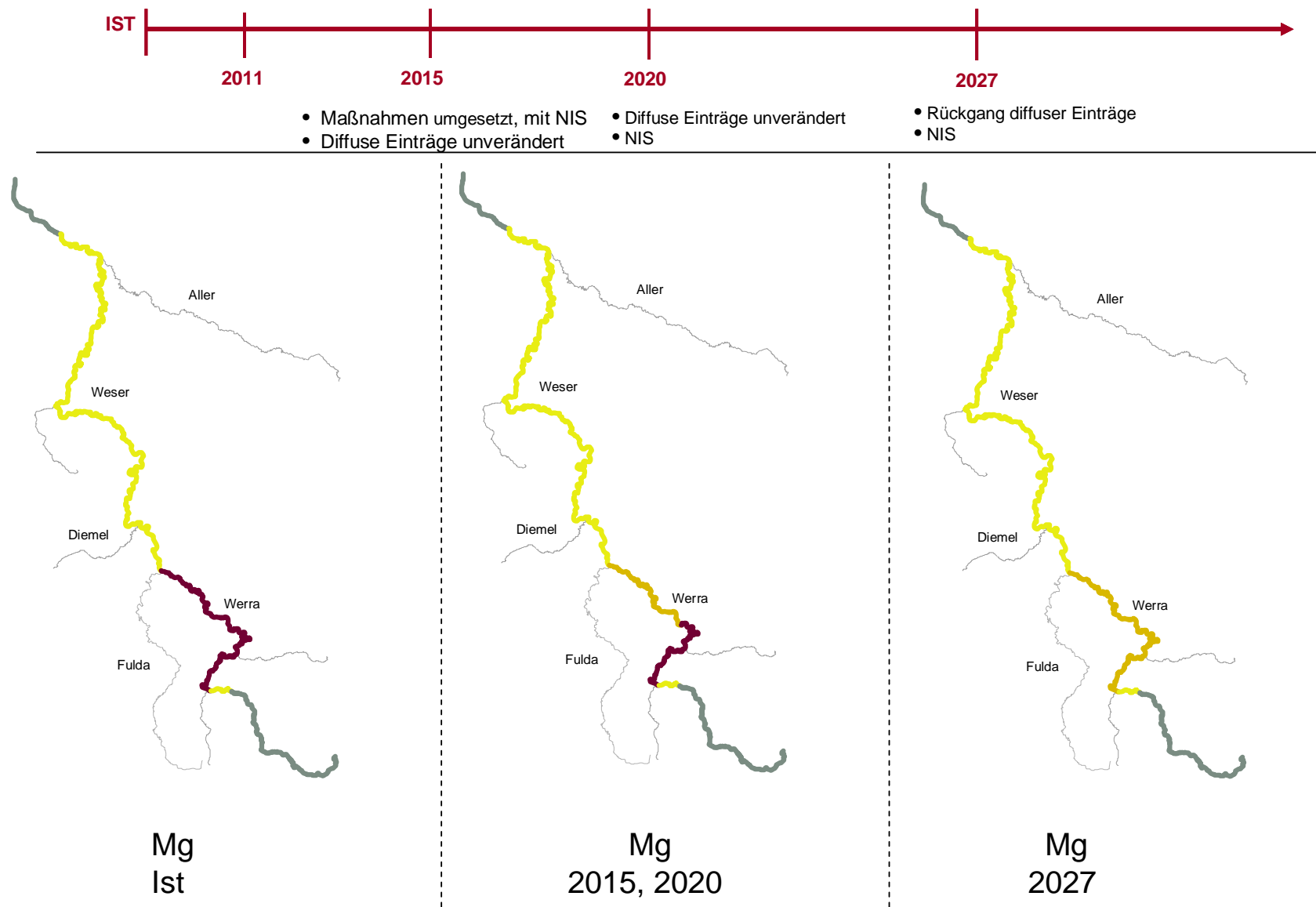


Abbildung A-16: Bewertung Szenario Ia – Magnesium, „mittleres Jahr“

Szenario Ib: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2015, ohne NIS

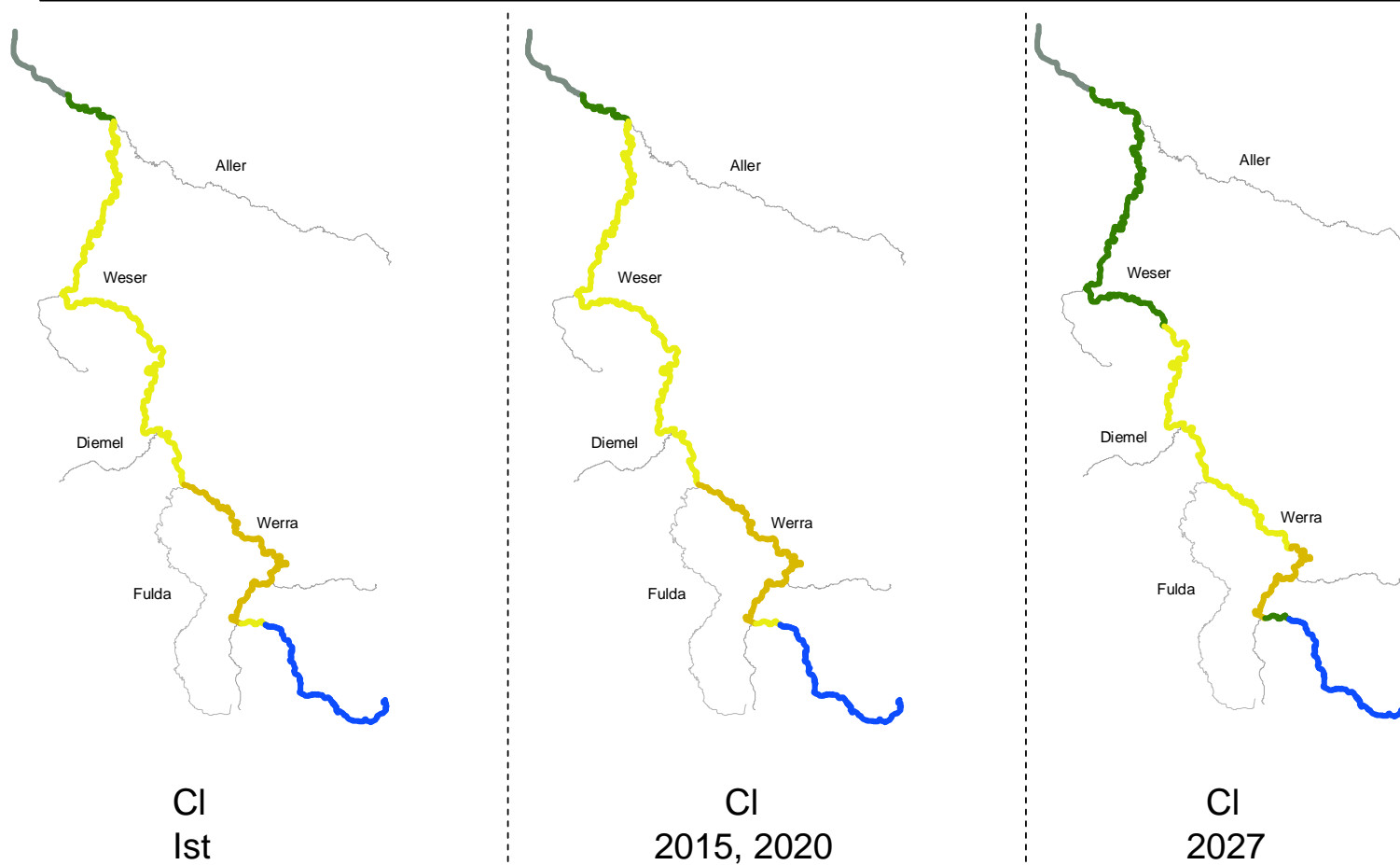


Abbildung A-17: Bewertung Szenario Ib – Chlorid, „mittleres Jahr“

Szenario Ib: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2015, ohne NIS



- Maßnahmen umgesetzt, ohne NIS
- Versenkung beendet
- Diffuse Einträge unverändert
- Diffuse Einträge unverändert
- Rückgang diffuser Einträge

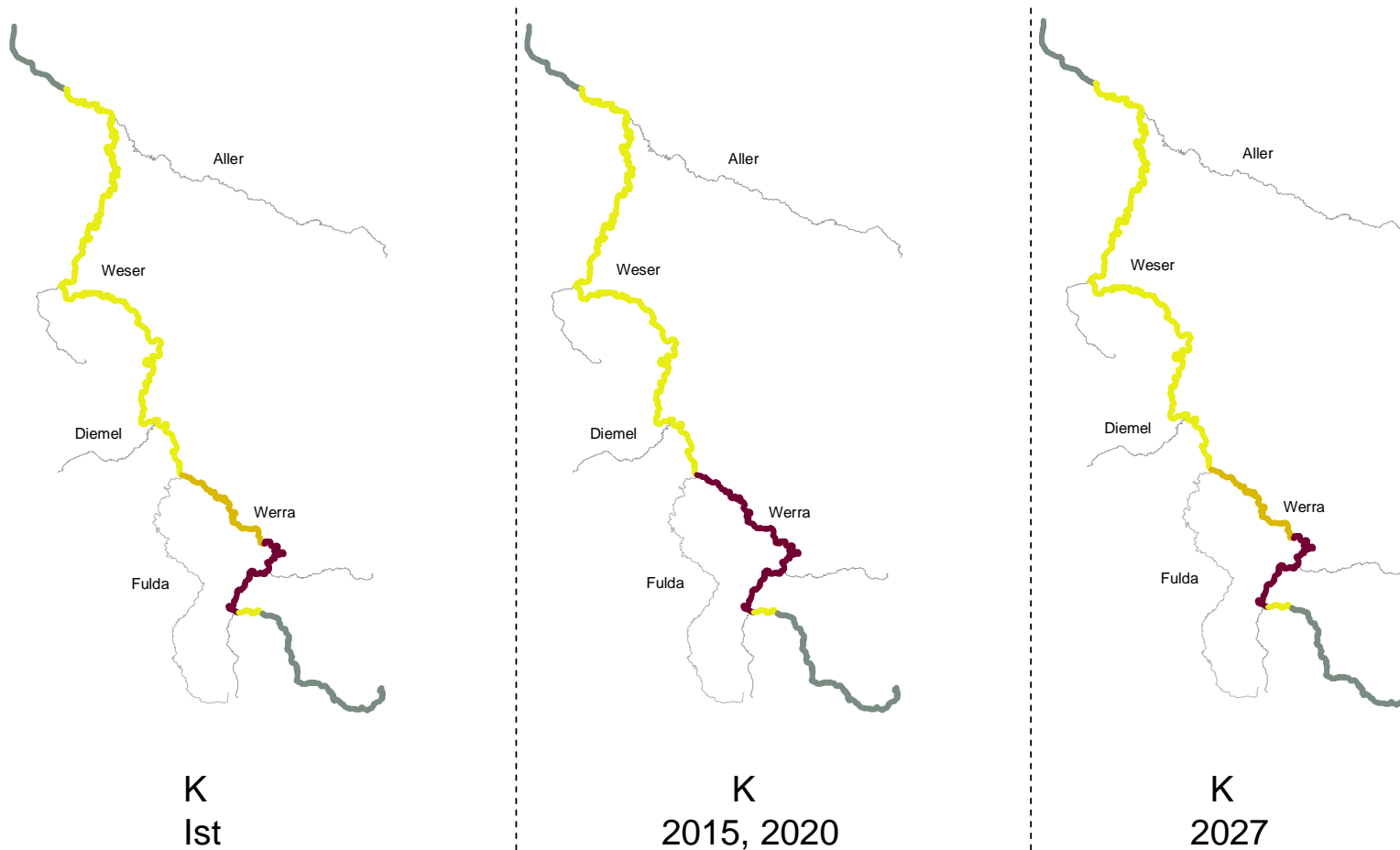


Abbildung A-18: Bewertung Szenario Ib – Kalium, „mittleres Jahr“

Szenario Ib: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2015, ohne NIS

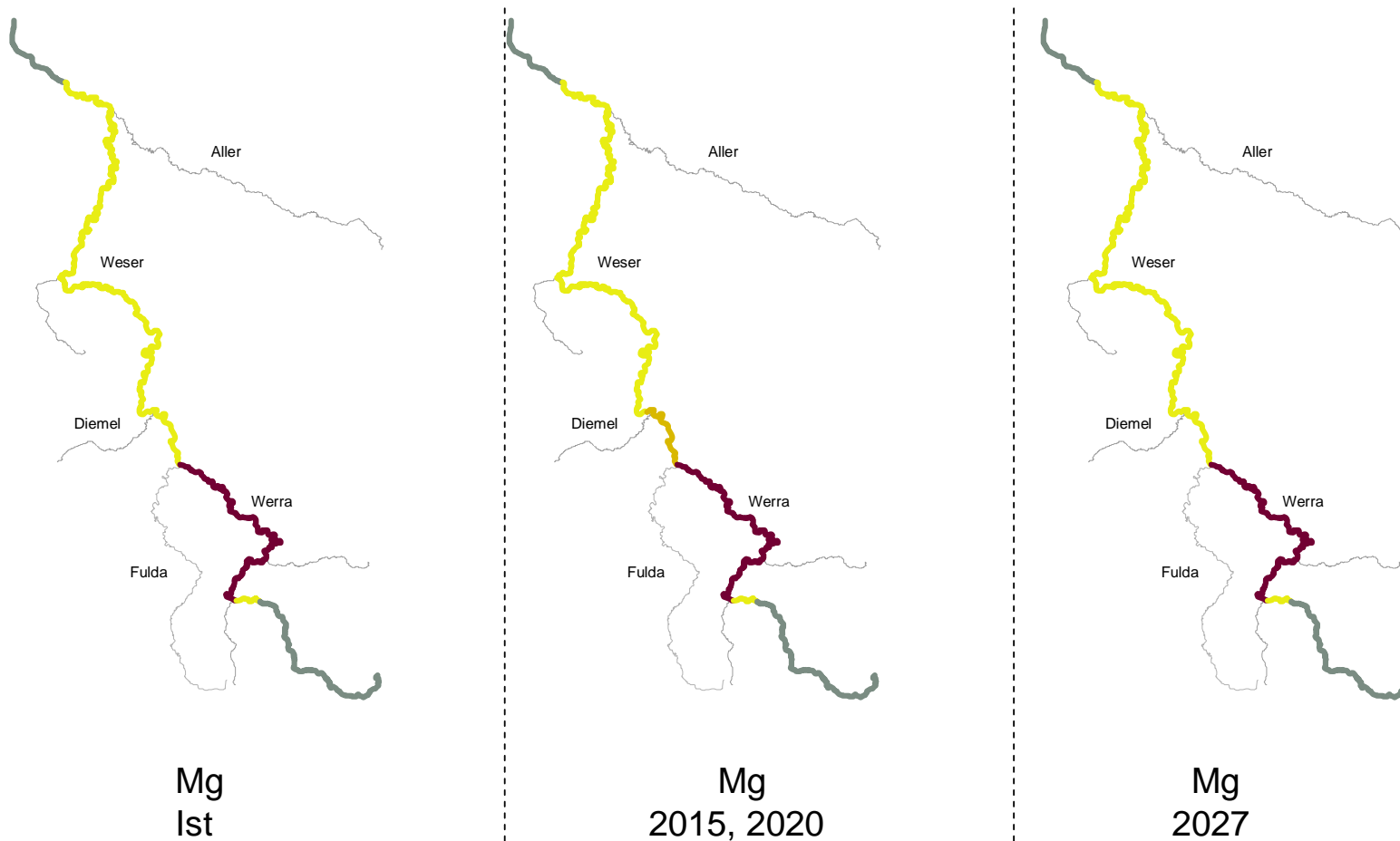


Abbildung A-19: Bewertung Szenario Ib – Magnesium, „mittleres Jahr“

Szenario Ic: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2011, ohne NIS

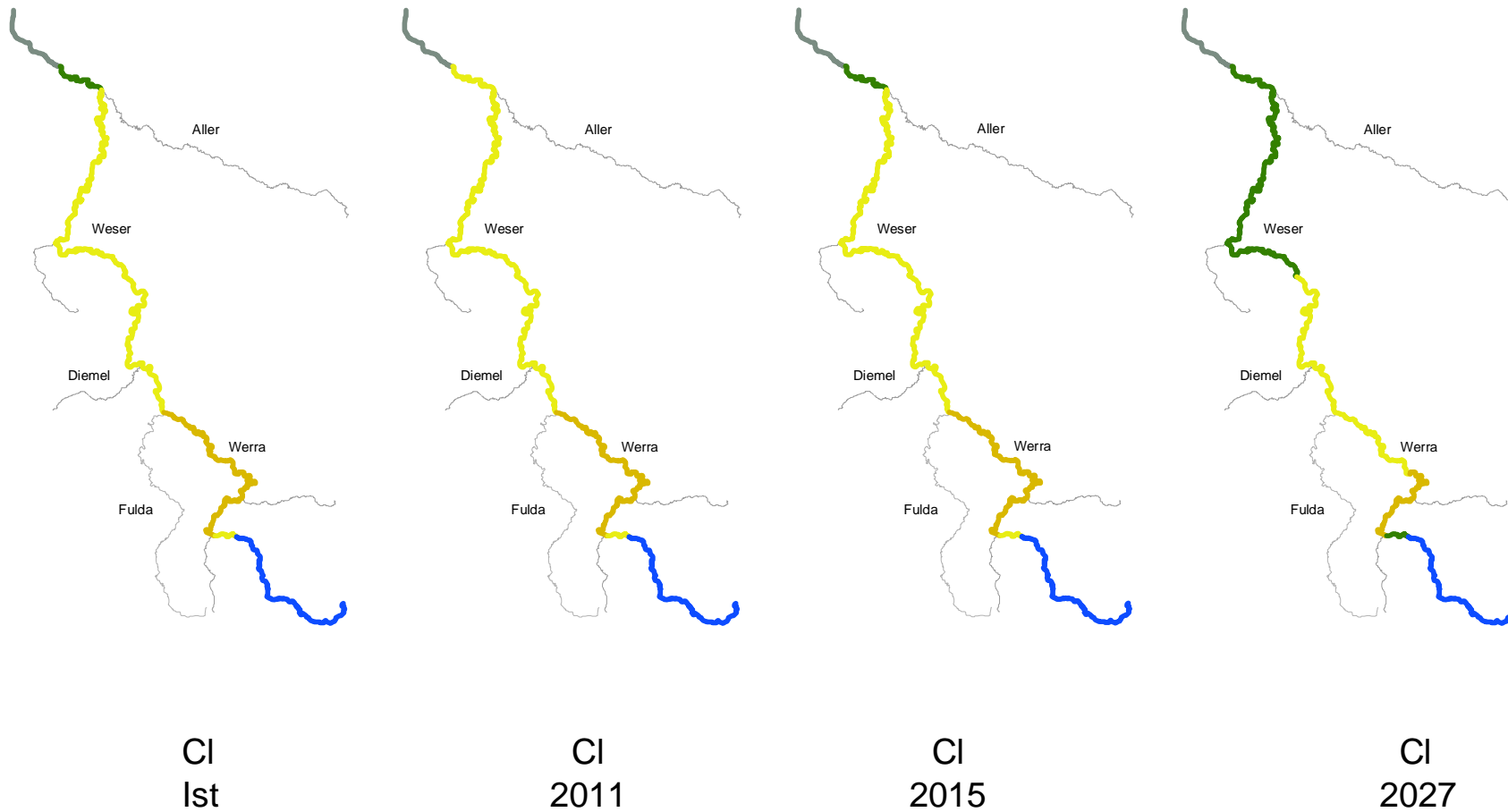
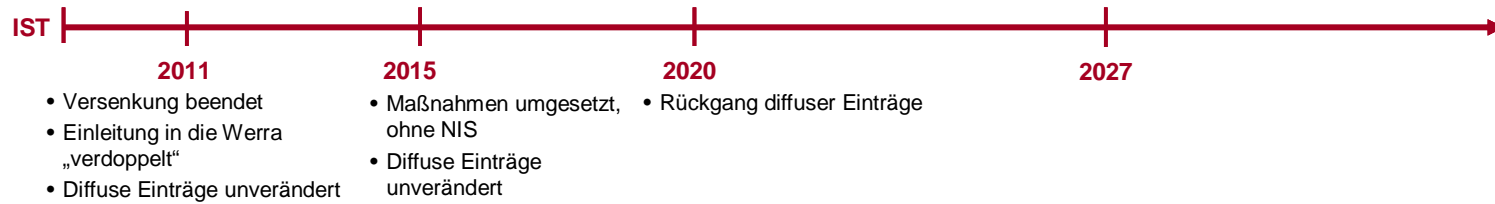


Abbildung A 20: Bewertung Szenario Ic – Chlorid, „mittleres Jahr“

Szenario Ic: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2011, ohne NIS

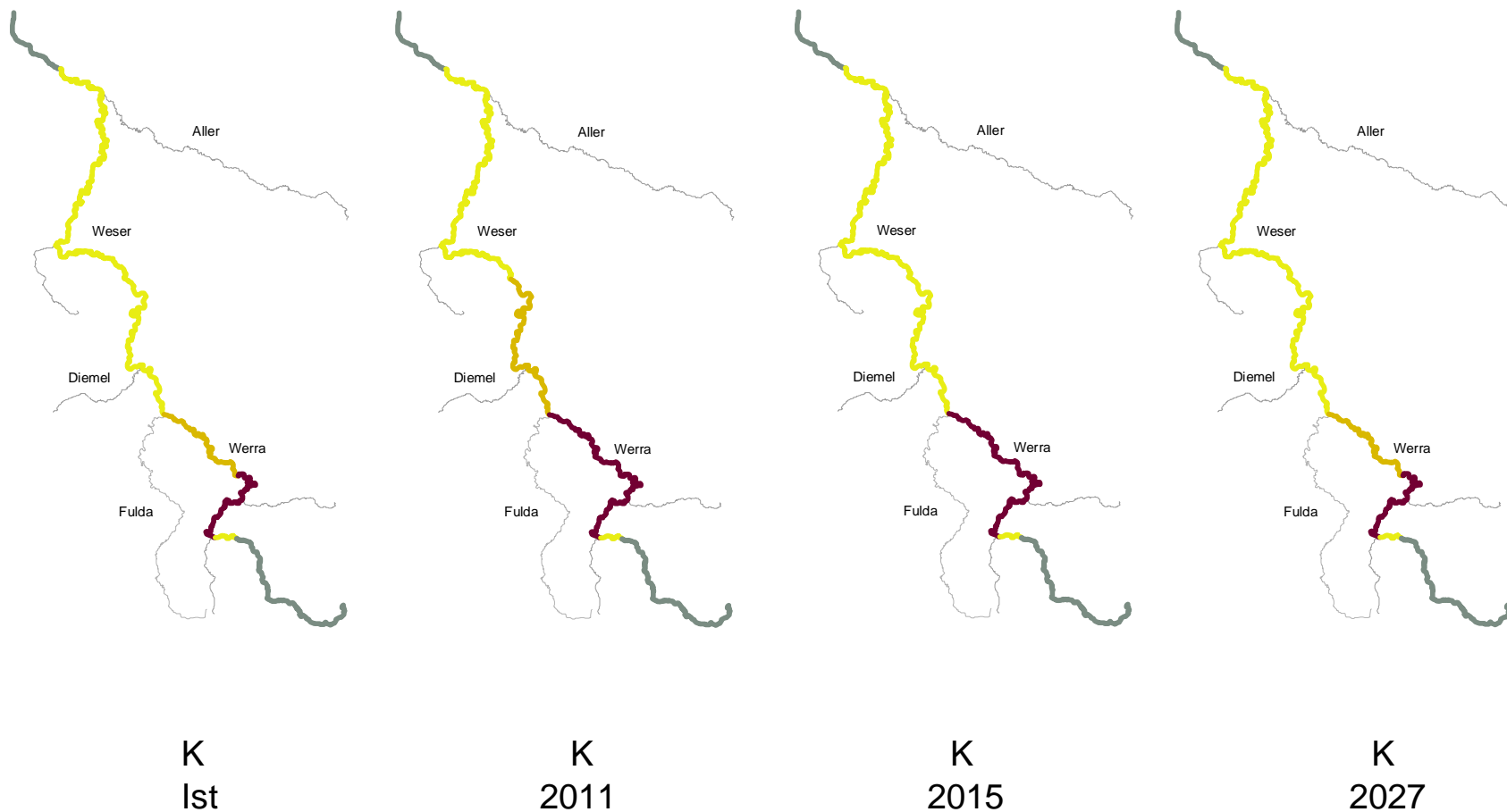
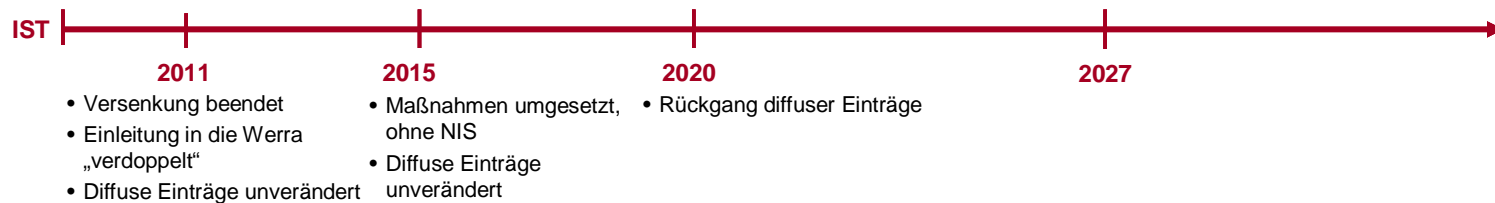


Abbildung A 21: Bewertung Szenario Ic – Kalium, „mittleres Jahr“

Szenario Ic: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2011, ohne NIS

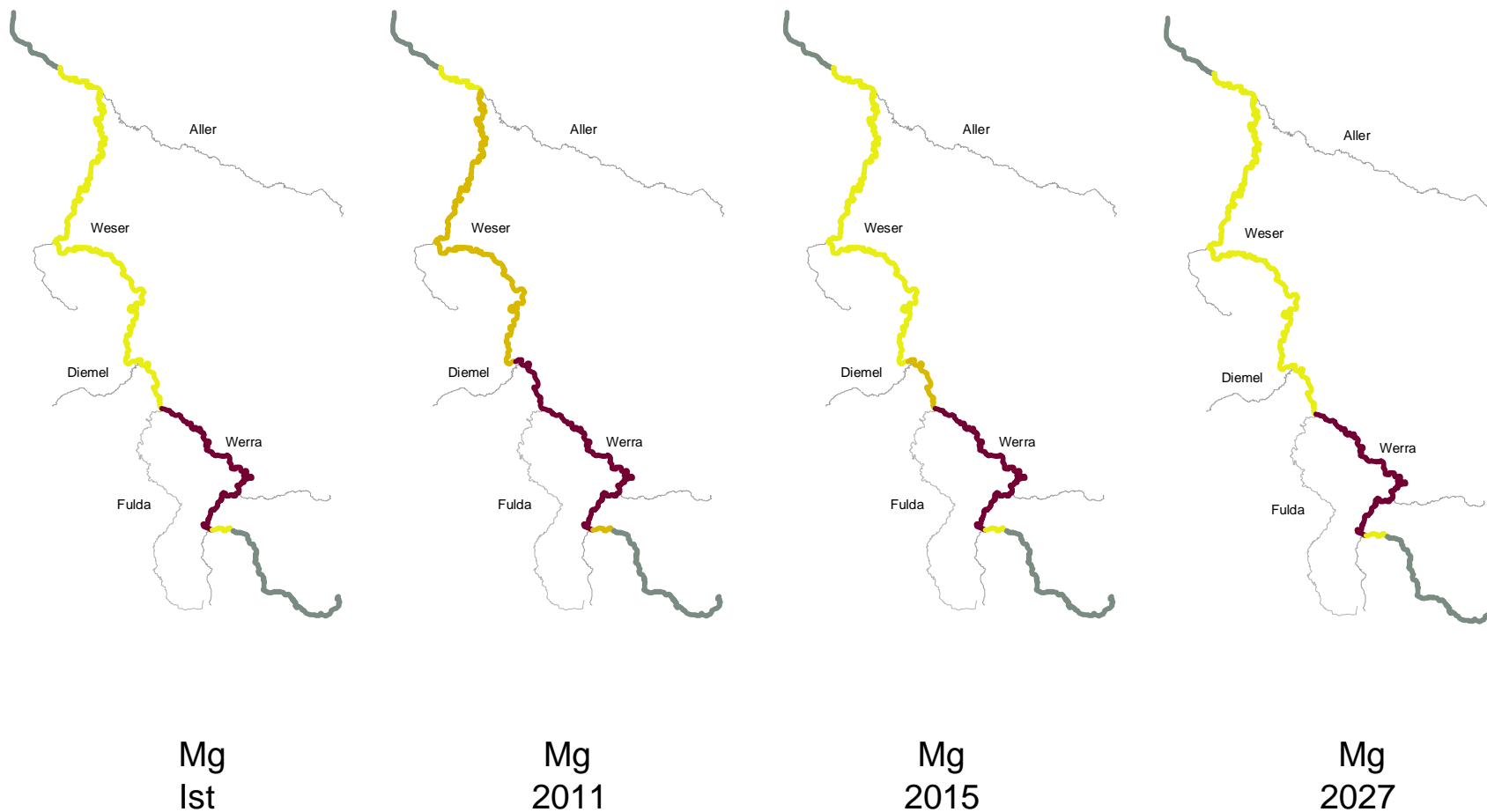
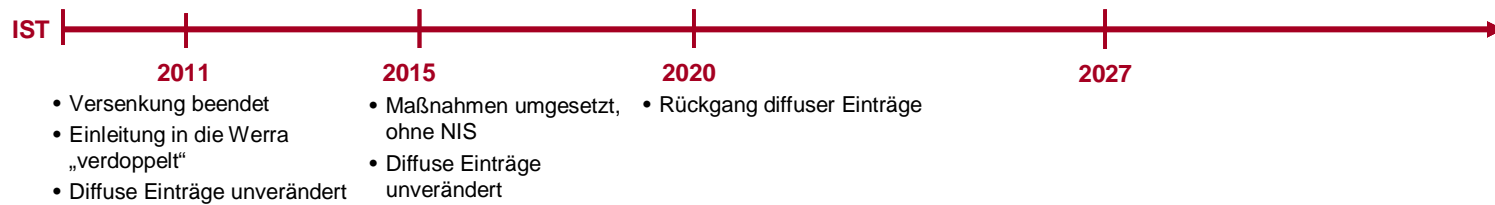


Abbildung A-22: Bewertung Szenario Ic – Magnesium, „mittleres Jahr“

Szenario Ic: Einleitung in die WERRA, Versenkung bis 2011, ohne NIS

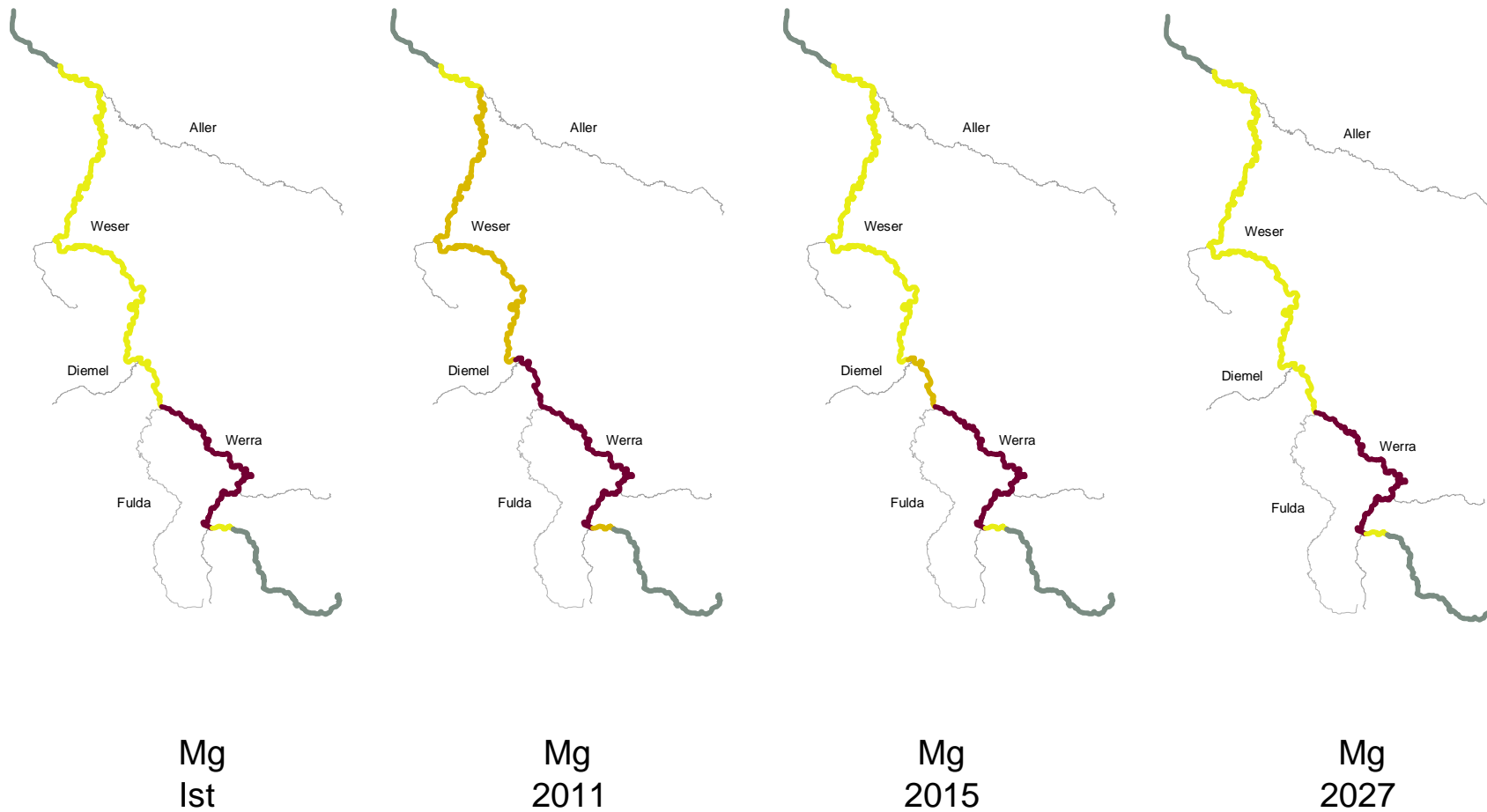
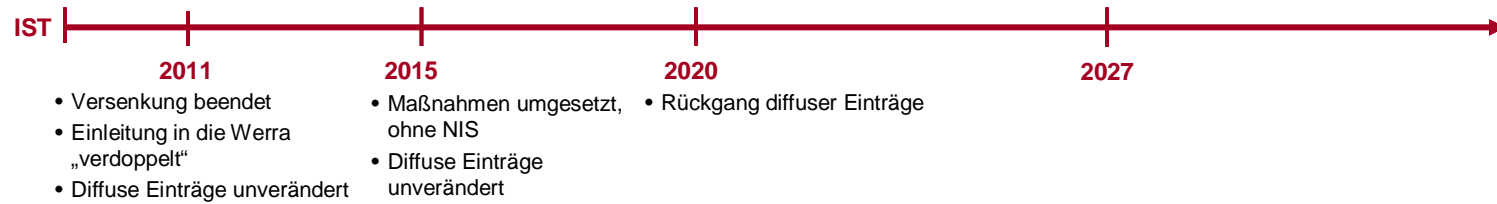


Abbildung A-23: Bewertung Szenario II – Chlorid, „mittleres Jahr“

Szenario II: Einleitung in die WESER, Versenkung bis 2015, mit NIS



- Maßnahmen umgesetzt, mit NIS
- Weser-Fernleitung in Betrieb
- Diffuse Einträge unverändert
- Diffuse Einträge unverändert
- NIS
- Rückgang diffuser Einträge
- NIS

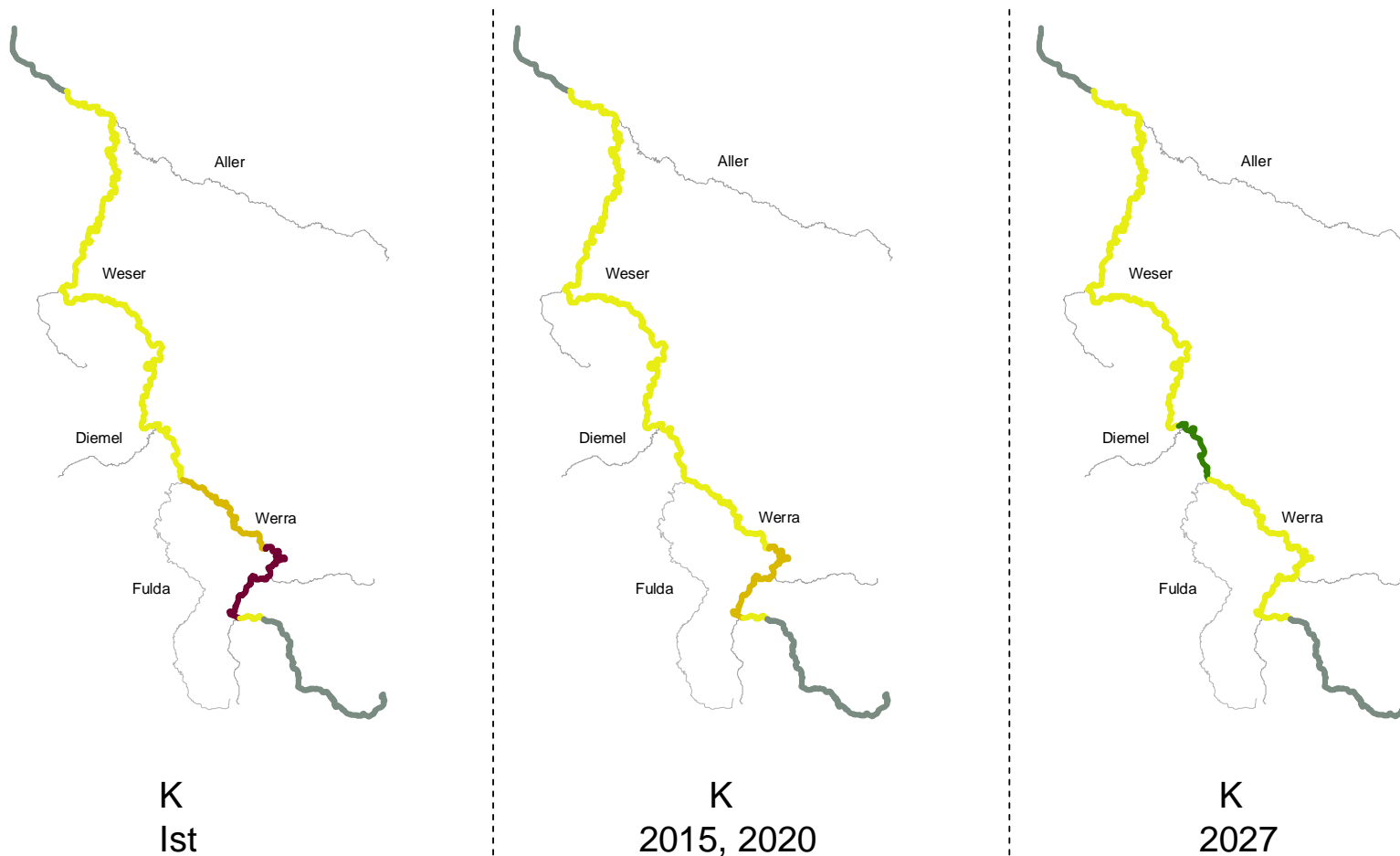


Abbildung A-24: Bewertung Szenario II – Kalium, „mittleres Jahr“

Szenario II: Einleitung in die WESER, Versenkung bis 2015, mit NIS

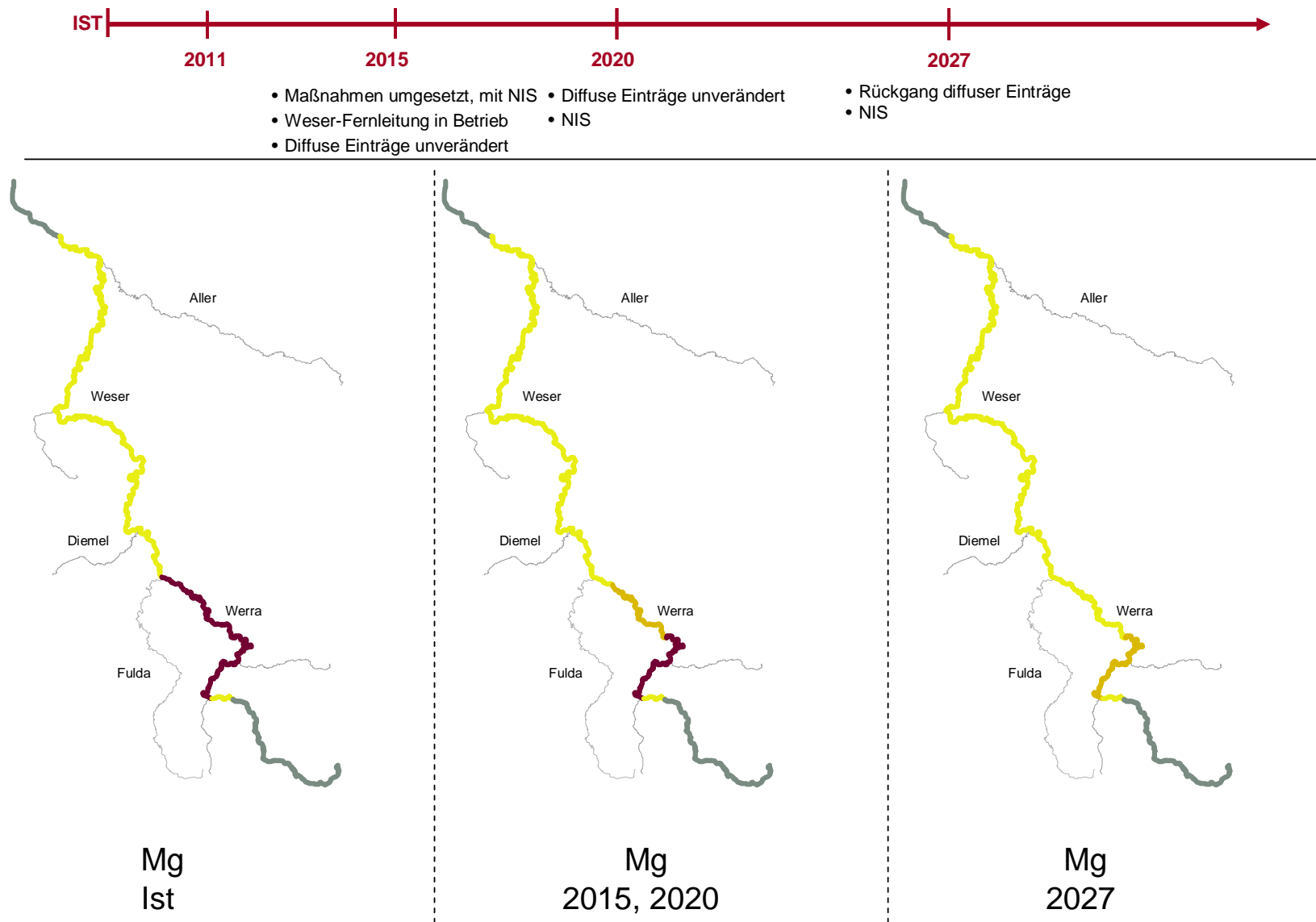


Abbildung A-25: Bewertung Szenario II – Magnesium, „mittleres Jahr“

Szenario IIIa: Fernleitung zur NORDSEE, Versenkung bis 2015, mit NIS bis 2020

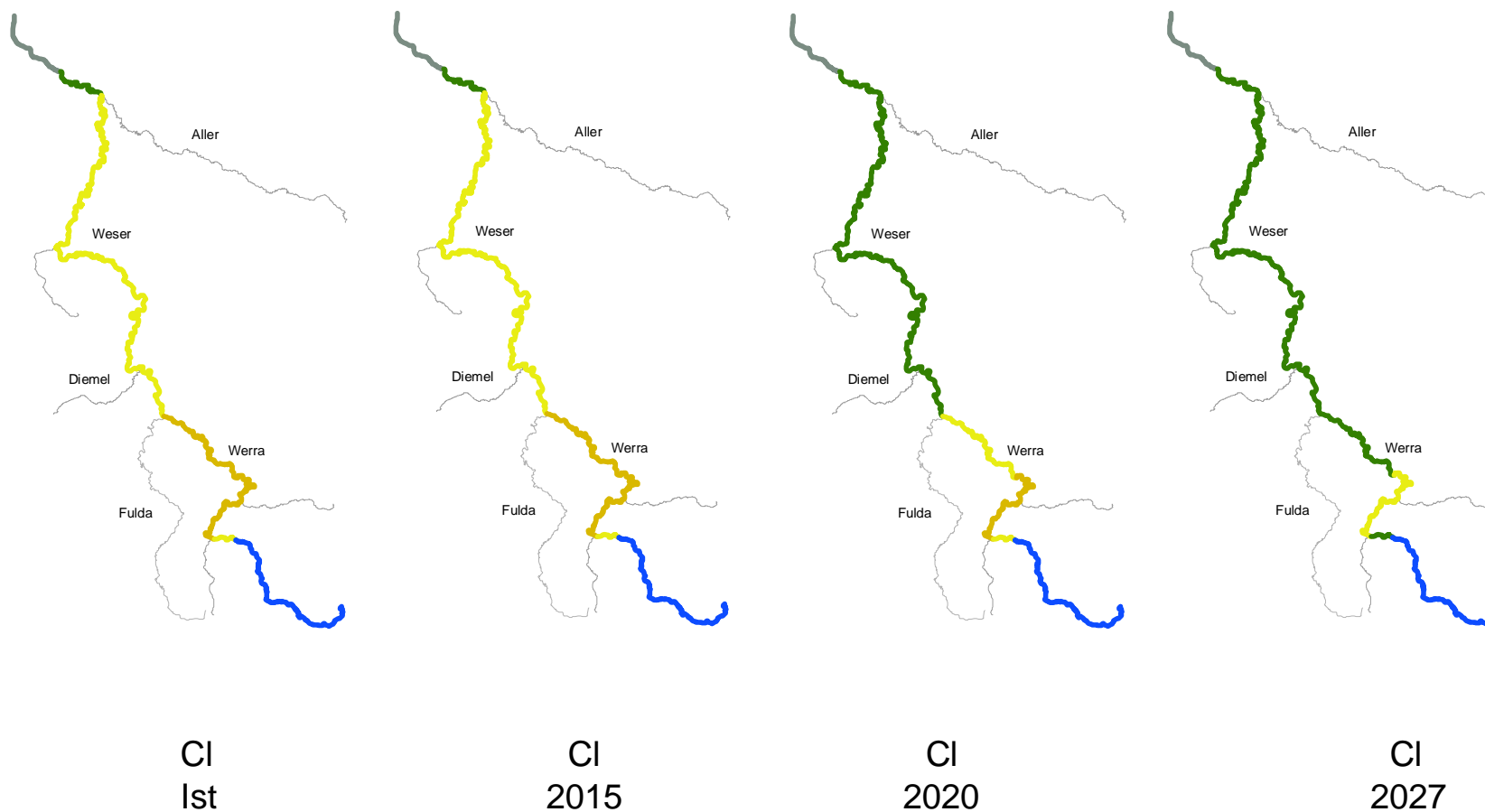


Abbildung A-26: Bewertung Szenario IIIa – Chlorid, „mittleres Jahr“

Szenario IIIa: Fernleitung zur NORDSEE, Versenkung bis 2015, mit NIS bis 2020

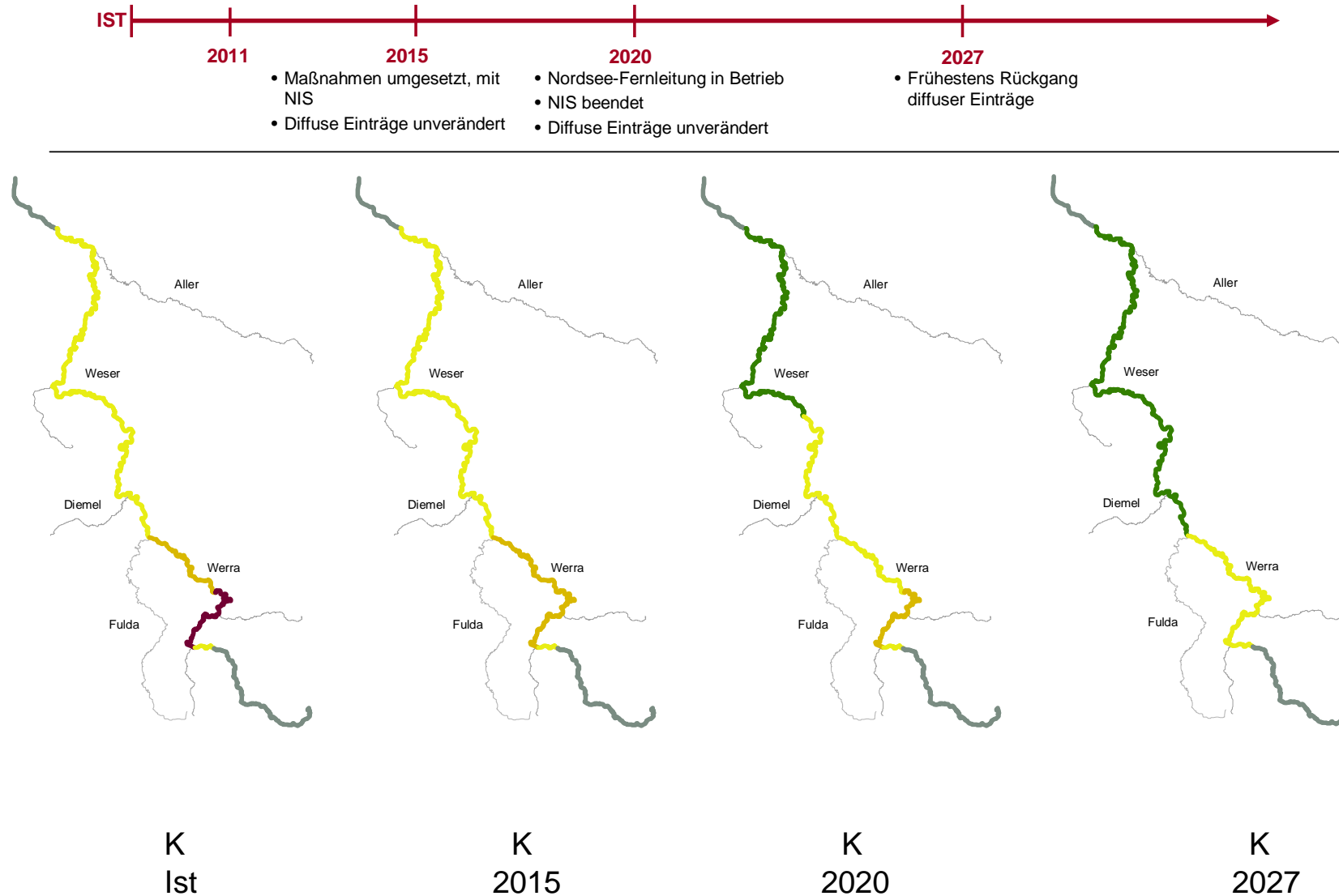


Abbildung A-27: Bewertung Szenario IIIa – Kalium, „mittleres Jahr“

Szenario IIIa: Fernleitung zur NORDSEE, Versenkung bis 2015, mit NIS bis 2020

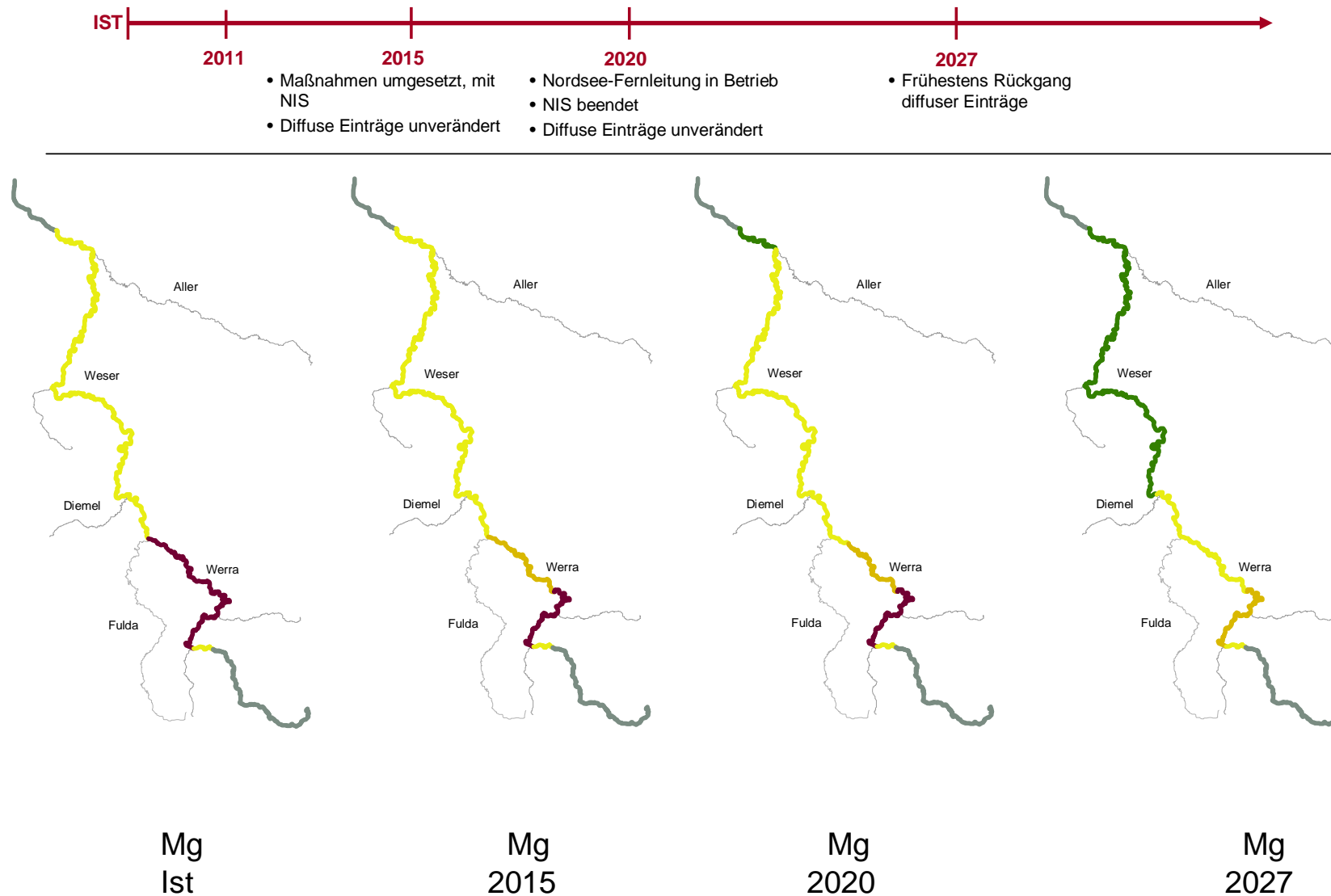


Abbildung A-28: Bewertung Szenario IIIa – Magnesium, „mittleres Jahr“

Szenario IIIb: Fernleitung zur NORDSEE, Versenkung bis 2015, ohne NIS

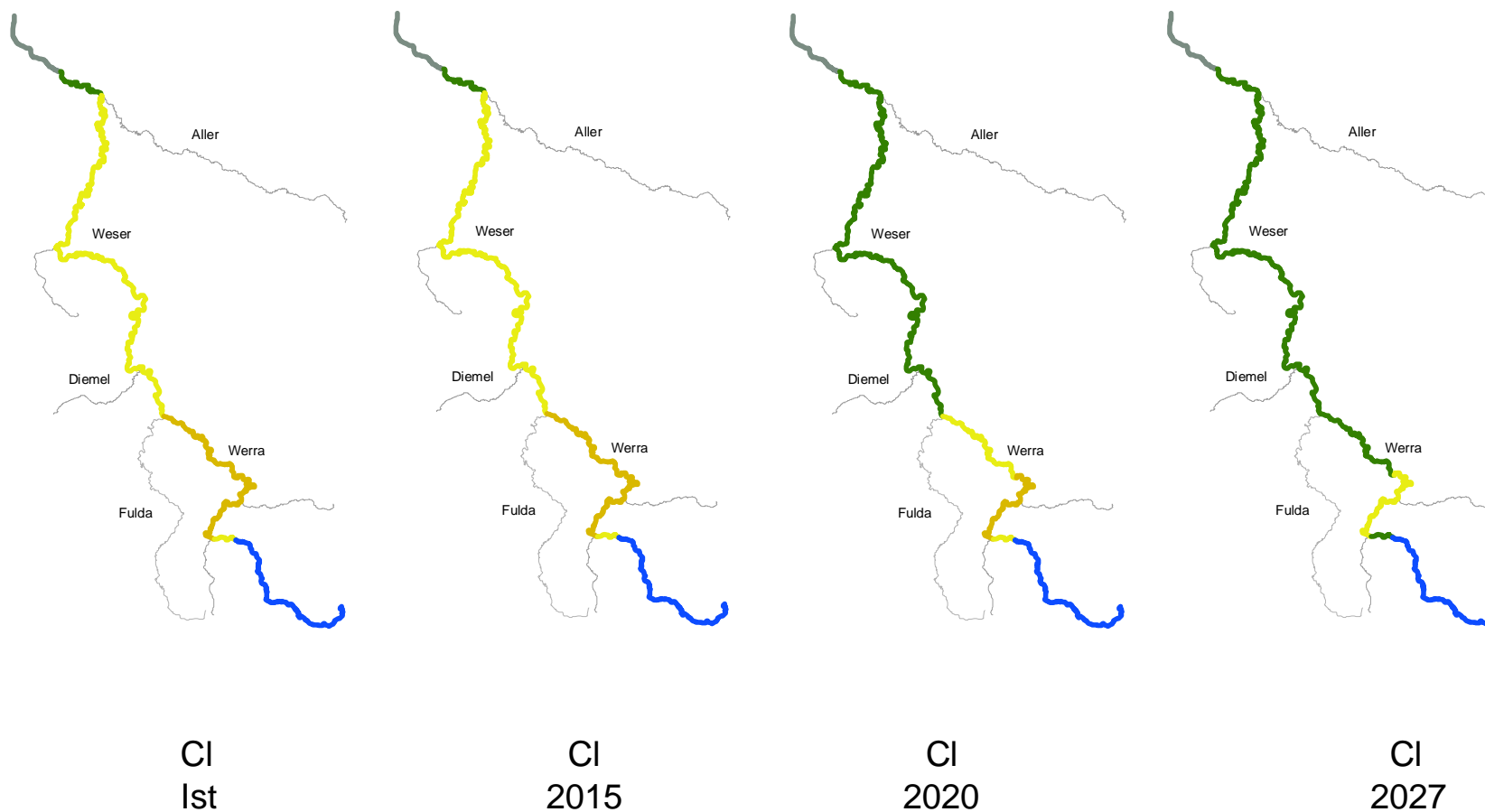
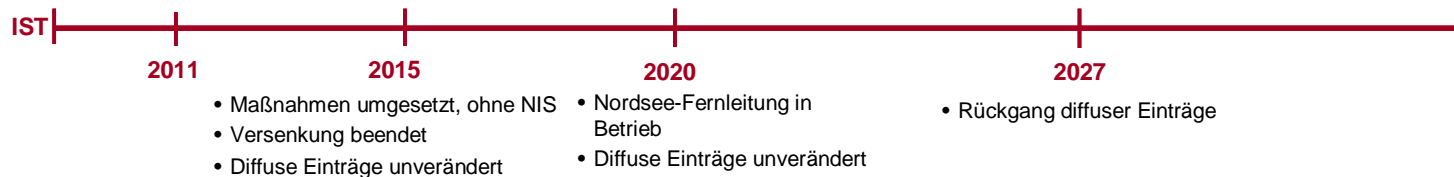


Abbildung A-29: Bewertung Szenario IIIb – Chlorid, „mittleres Jahr“

Szenario IIIb: Fernleitung zur NORDSEE, Versenkung bis 2015, ohne NIS

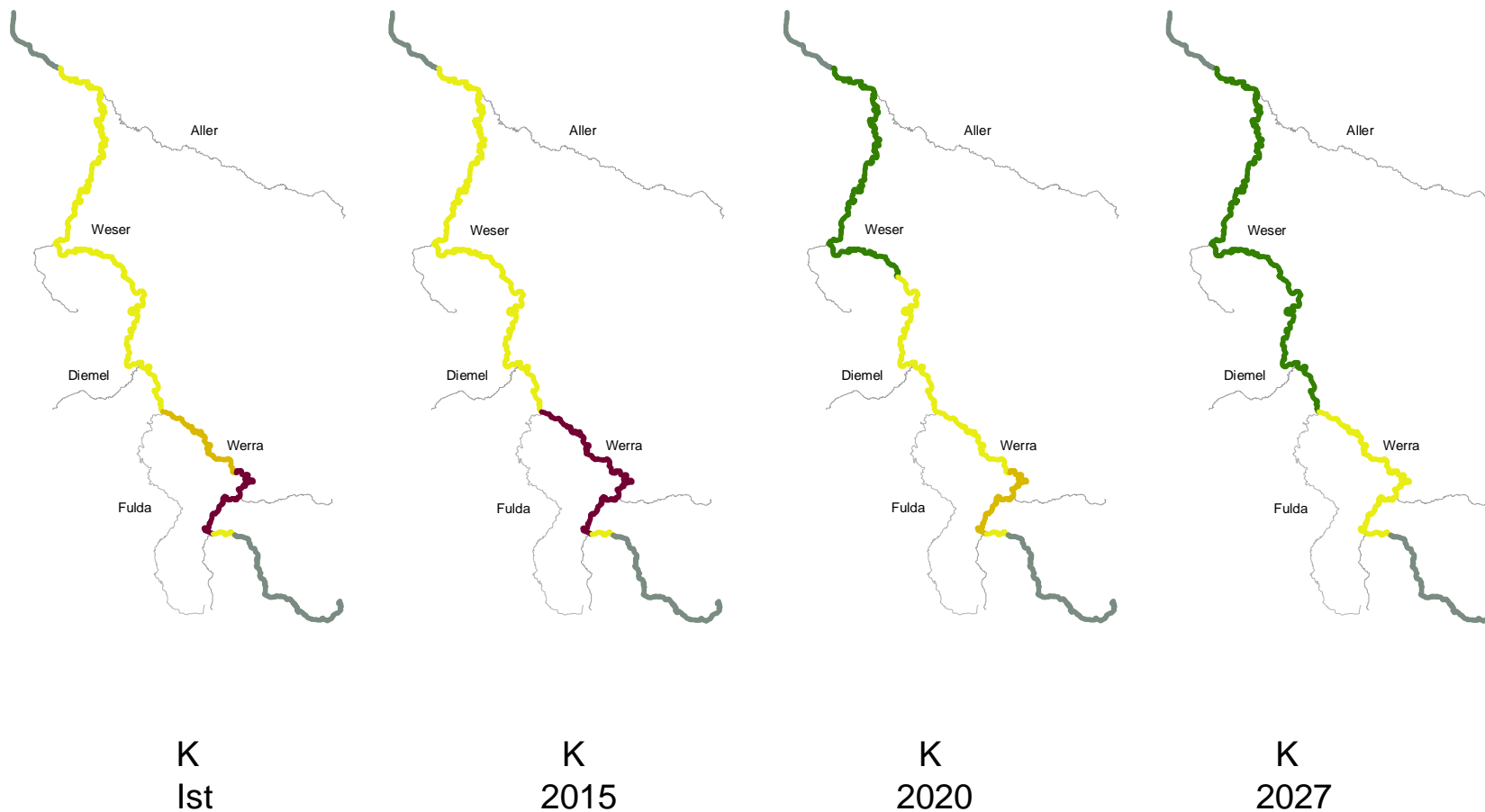


Abbildung A-30: Bewertung Szenario IIIb – Kalium, „mittleres Jahr“

Szenario IIIb: Fernleitung zur NORDSEE, Versenkung bis 2015, ohne NIS

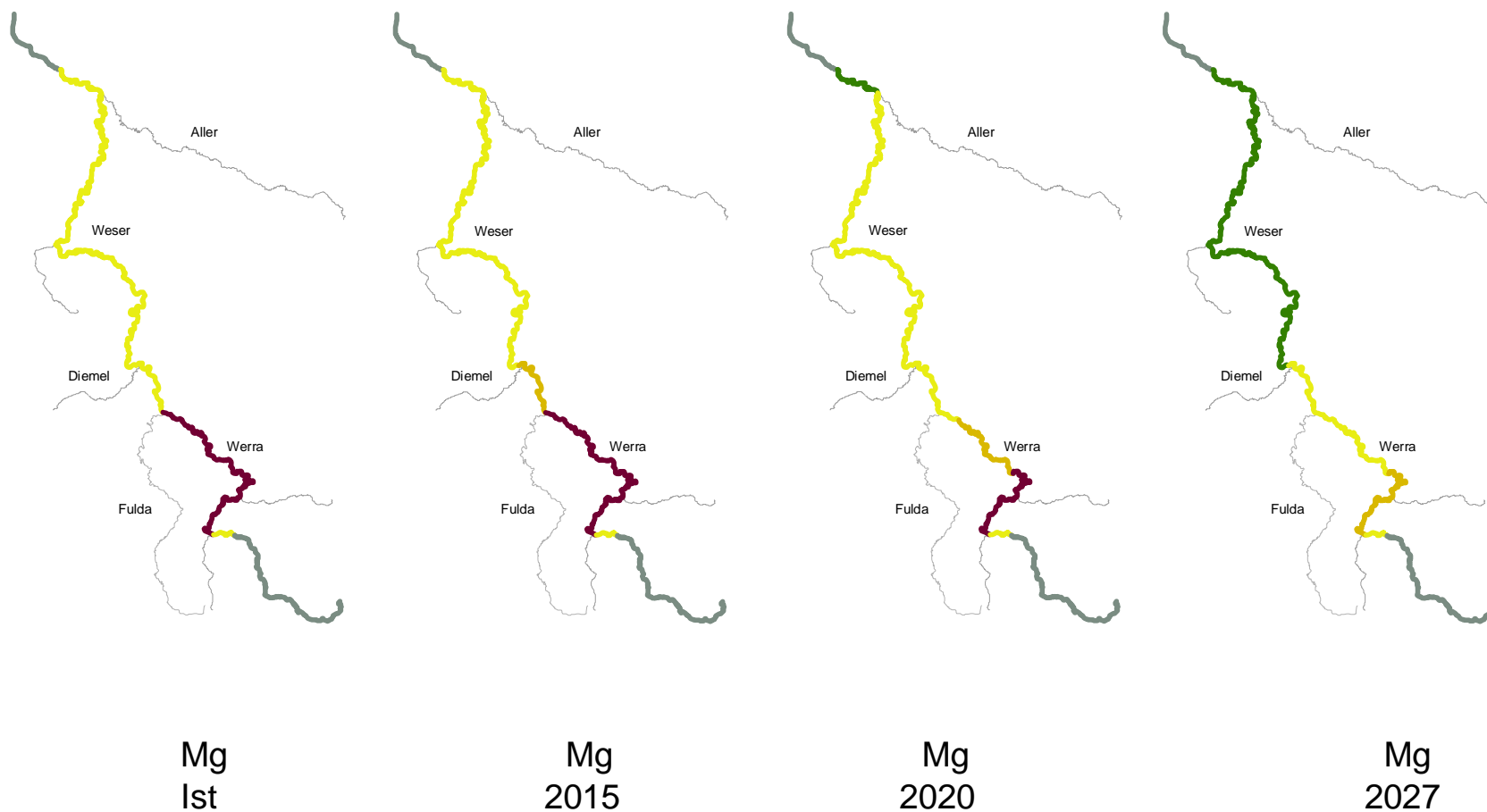
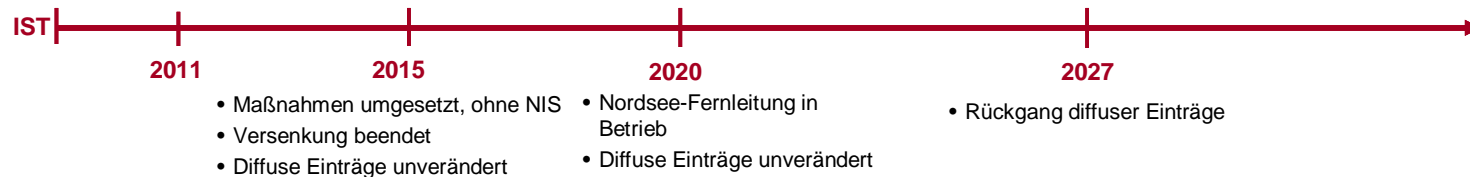


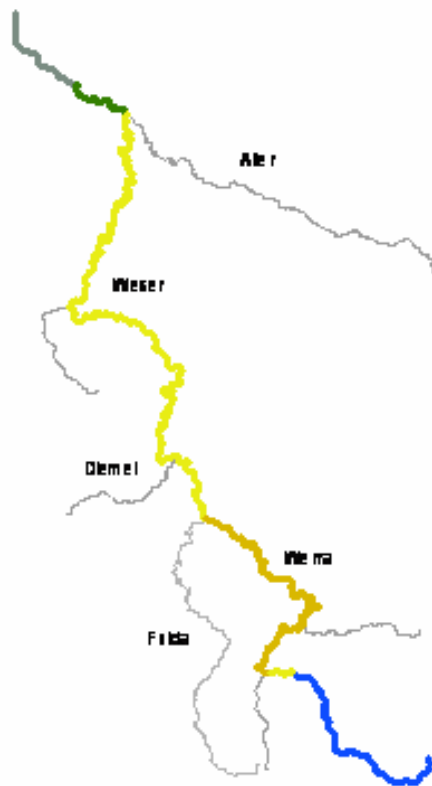
Abbildung A-31: Bewertung Szenario IIIb – Magnesium, „mittleres Jahr“

Tabelle A-6: Zusammenfassende Bewertung: Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 im Vergleich Ist-Zustand und 2015 Maßnahmen umgesetzt in einem „mittleren Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabbach	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemelmündung	Weser unterhalb Diemelmündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
Ist-Zustand	<75	<75	<75	590	1696	1896	1451	1412	645	543	443	406	397	294	-
2015 Maßnahmen umgesetzt	<75	<75	<75	418	1308	1469	1080	1051	487	411	336	308	301	233	-
2027 Einleitung unterhalb Diemelzufluss	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	366	299	272	267	212	-
2027 Einleitung unterhalb Werrezufluss	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	119	158	272	267	212	-
2027 Einleitung unterhalb Allerzufluss	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	119	105	97	95	212	-
2027 Einleitung Nordsee	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	119	105	97	95	115	-

Ist

- Unveränderte Einleitungen in die Werra
- Versenkung unverändert
- Unveränderte diffuse Einträge



2015

- Maßnahmen umgesetzt
- Versenkung beendet
- Unveränderte diffuse Einträge



Abbildung A- 32: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser im Ist-Zustand und im Jahr 2015 in einem „mittleren“ Jahr

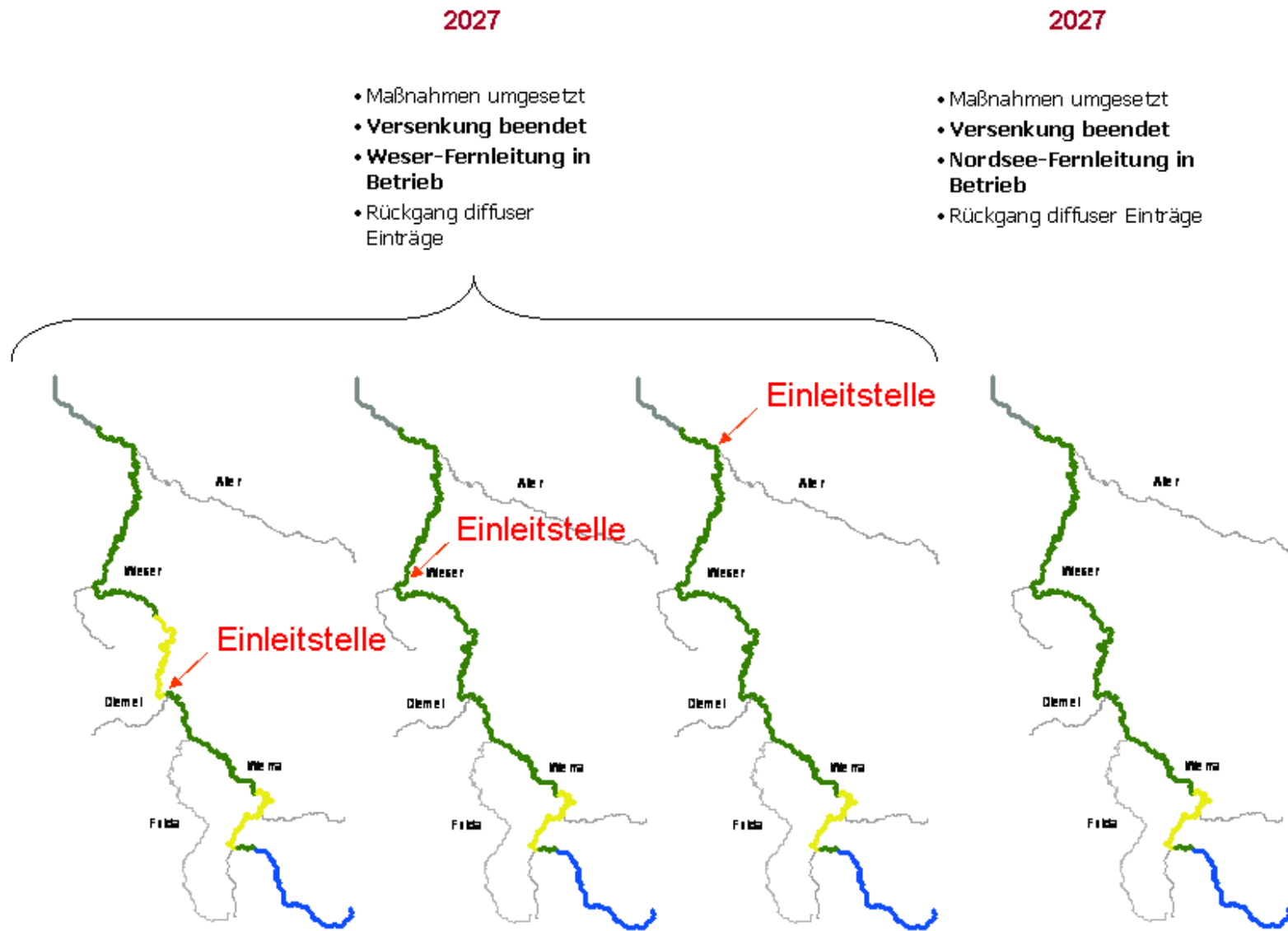


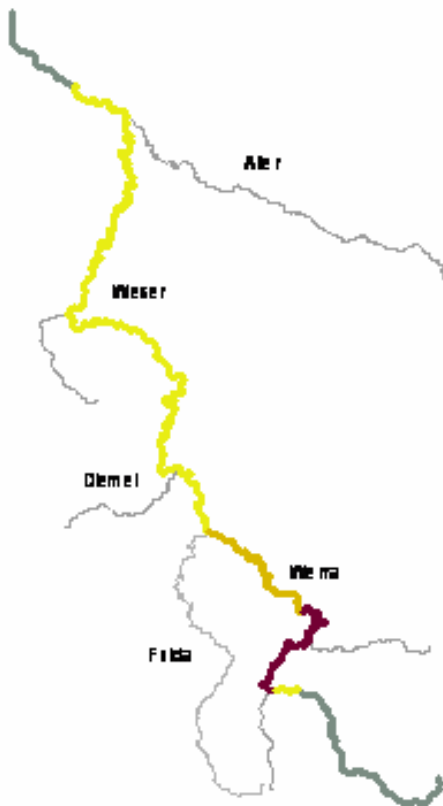
Abbildung A-33: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr

Abbildung A-34: Zusammenfassende Bewertung: Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 im Vergleich Ist-Zustand und 2015 Maßnahmen umgesetzt in einem „mittleren Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabbach	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemel-mündung	Weser unterhalb Diemel-mündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
Ist-Zustand	-	-	-	55	162	183	144	140	66	55	45	41	40	30	-
2015 Maßnahmen umgesetzt	-	-	-	38	129	149	117	114	54	46	37	33	32	25	-
2027 Einleitung unterhalb Diemelzufluss	-	-	-	23	61	62	33	32	18	44	35	32	31	24	-
2027 Einleitung unterhalb Werrezufluss	-	-	-	23	61	62	33	32	18	15	19	32	31	24	-
2027 Einleitung unterhalb Allerzufluss	-	-	-	23	61	62	33	32	18	15	13	12	12	24	-
2027 Einleitung Nordsee	-	-	-	23	61	62	33	32	18	15	13	12	12	14	-

Ist

- Unveränderte Einleitungen in die Werra
- Versenkung unverändert
- Unveränderte diffuse Einträge



2015

- Maßnahmen umgesetzt
- Versenkung beendet
- Unveränderte diffuse Einträge



Abbildung A- 35: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser im Ist-Zustand und im Jahr 2015 in einem „mittleren“ Jahr

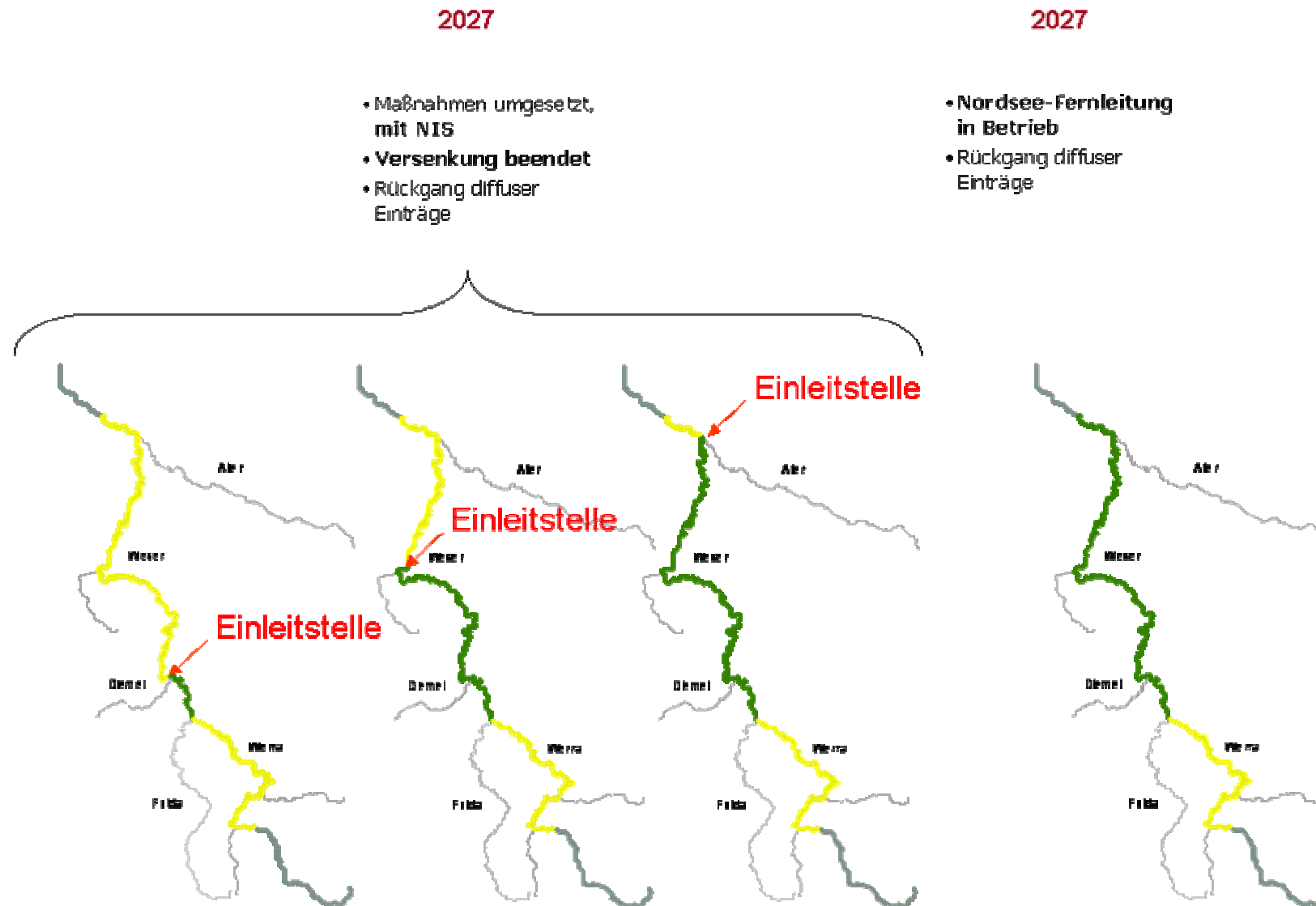


Abbildung A-36: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr

Tabelle A-7: Zusammenfassende Bewertung: Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 im Vergleich Ist-Zustand und 2015 Maßnahmen umgesetzt in einem „mittleren Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabbach	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemelmündung	Weser unterhalb Diemelmündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
Ist-Zustand	-	-	-	93	262	286	203	198	96	82	68	62	61	44	-
2015 Maßnahmen umgesetzt	-	-	-	72	185	203	153	149	75	64	53	48	47	34	-
2027 Einleitung unterhalb Diemelzufluss	-	-	-	45	113	115	62	58	36	56	46	42	41	31	-
2027 Einleitung unterhalb Werrezufluss	-	-	-	45	113	115	62	58	36	29	29	42	41	31	-
2027 Einleitung unterhalb Allerzufluss	-	-	-	45	113	115	62	58	36	29	27	25	25	31	-
2027 Einleitung Nordsee	-	-	-	45	113	115	62	58	36	29	27	25	25	22	-

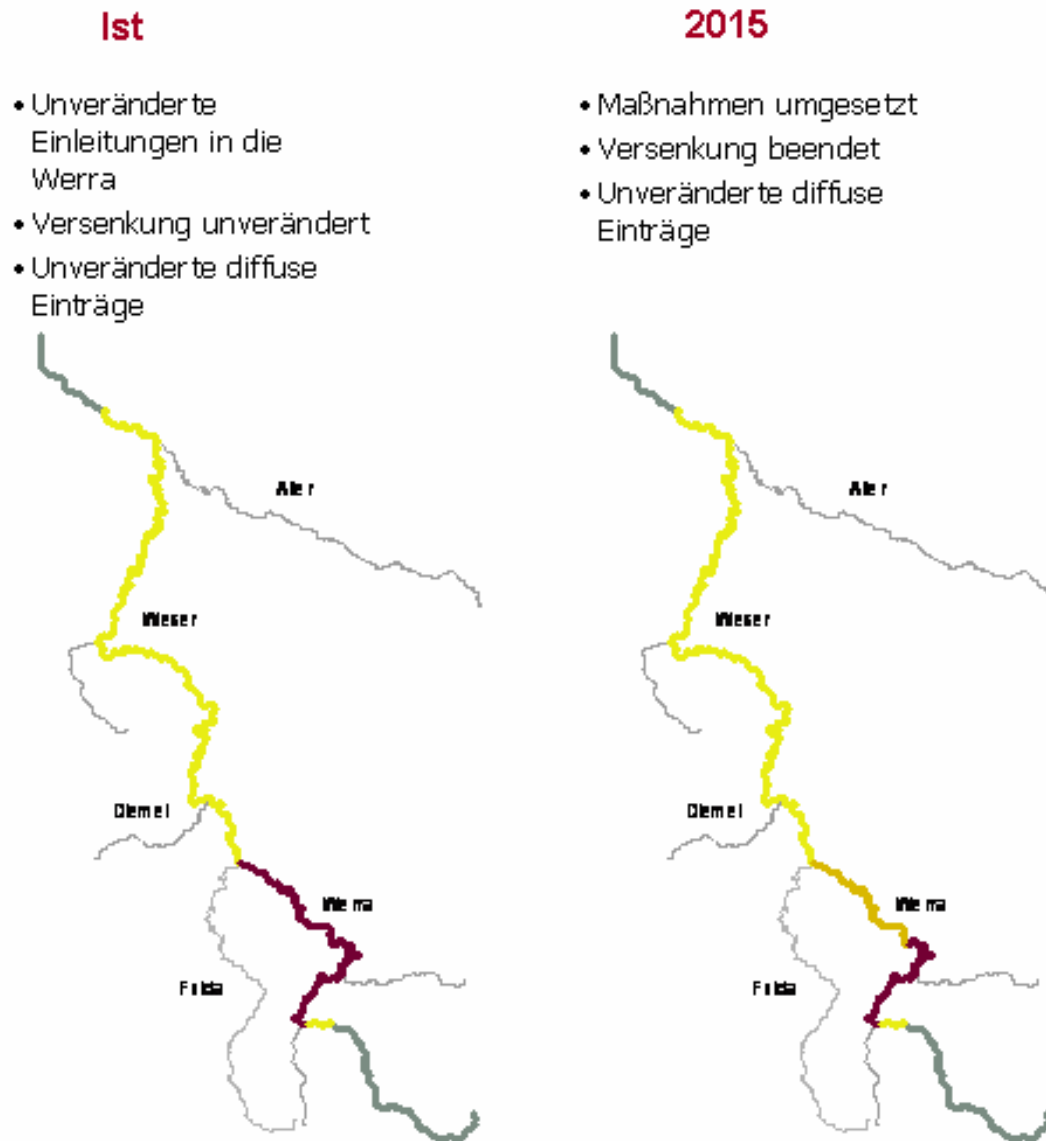


Abbildung A- 37: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser im Ist-Zustand und im Jahr 2015 in einem „mittleren“ Jahr

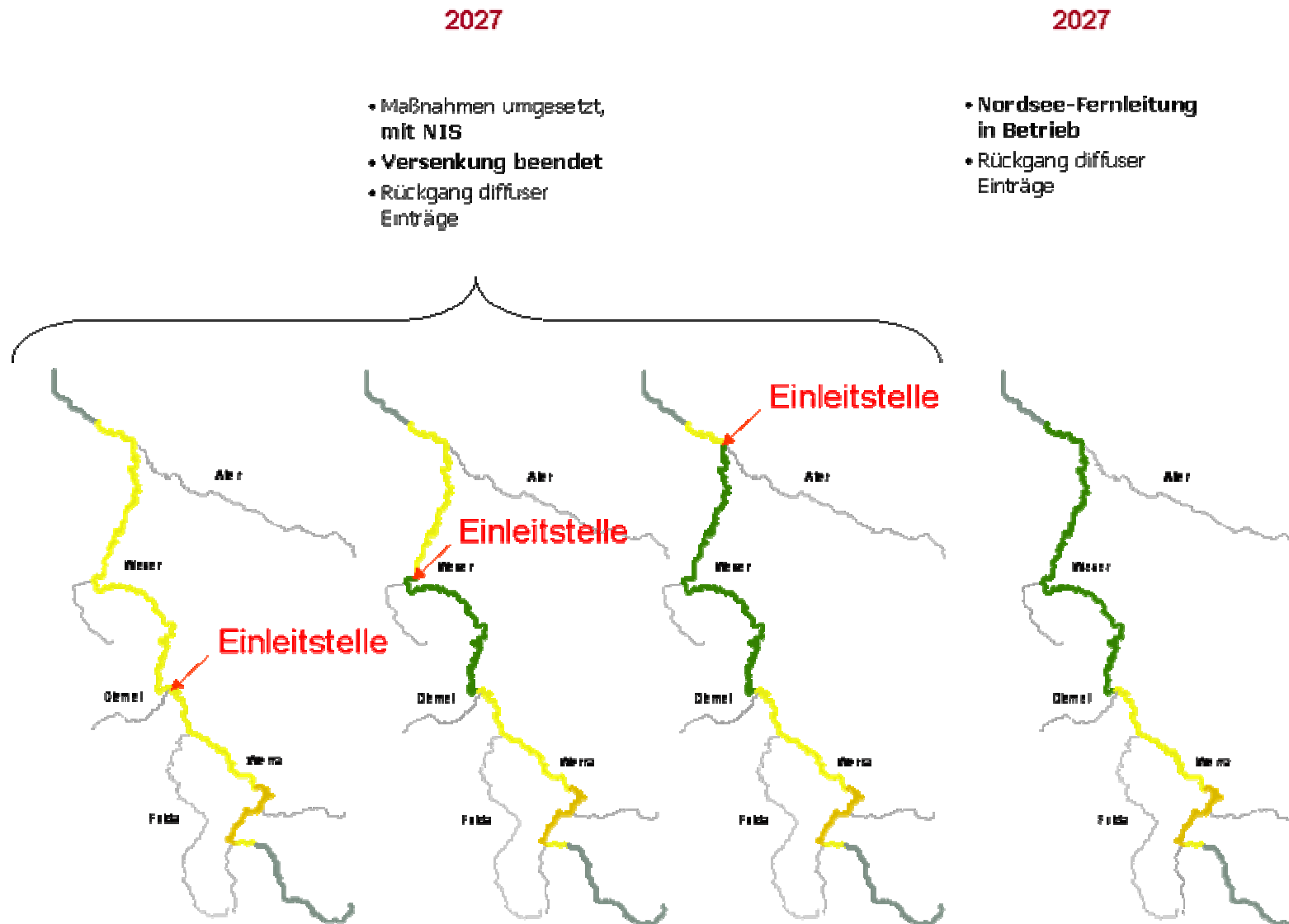


Abbildung A-38: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „mittleren“ Jahr

Tabelle A-8: Zusammenfassende Bewertung: Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabbach	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemelmündung	Weser unterhalb Diemelmündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
2027 Einleitung unterhalb Diemelzufluss	-	-	-	348	730	751	505	484	224	510	433	398	389	281	-
2027 Einleitung unterhalb Werrezufluss	-	-	-	348	730	751	505	484	224	192	232	398	389	281	-
2027 Einleitung unterhalb Allerzufluss	-	-	-	348	730	751	505	484	224	192	152	134	132	281	-
2027 Einleitung Nordsee	-	-	-	348	730	751	505	484	224	192	152	134	132	131	-

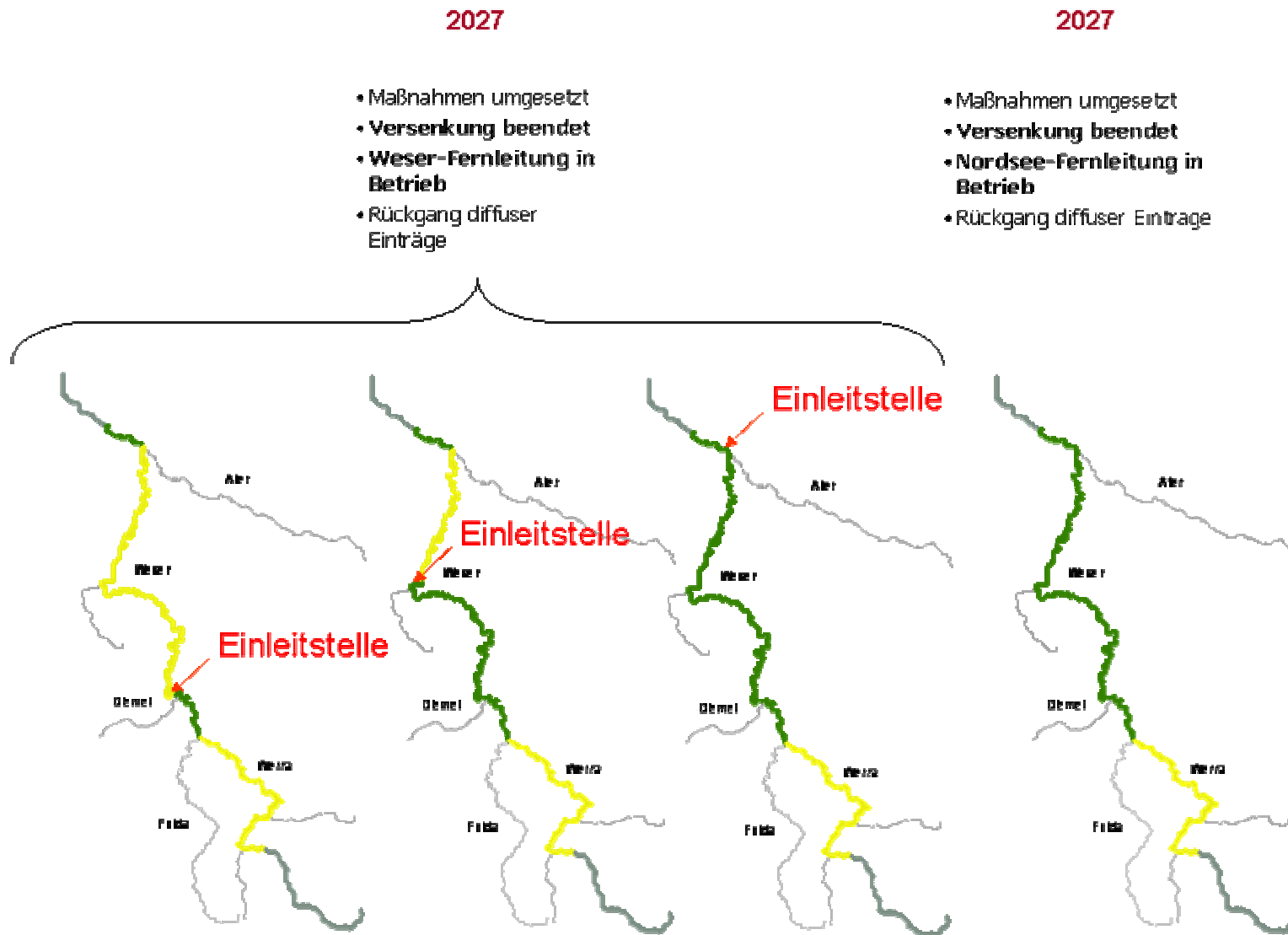


Abbildung A-39: Bewertung der Chloridkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr

Tabelle A-9: Zusammenfassende Bewertung: Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabad	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemel­mündung	Weser unterhalb Diemel­mündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
2027 Einleitung unterhalb Diemelzufluss	-	-	-	33	93	100	67	64	31	62	52	47	46	33	-
2027 Einleitung unterhalb Werrezufluss	-	-	-	33	93	100	67	64	31	26	29	47	46	33	-
2027 Einleitung unterhalb Allerzufluss	-	-	-	33	93	100	67	64	31	26	21	18	18	33	-
2027 Einleitung Nordsee	-	-	-	33	93	100	67	64	31	26	21	18	18	17	-

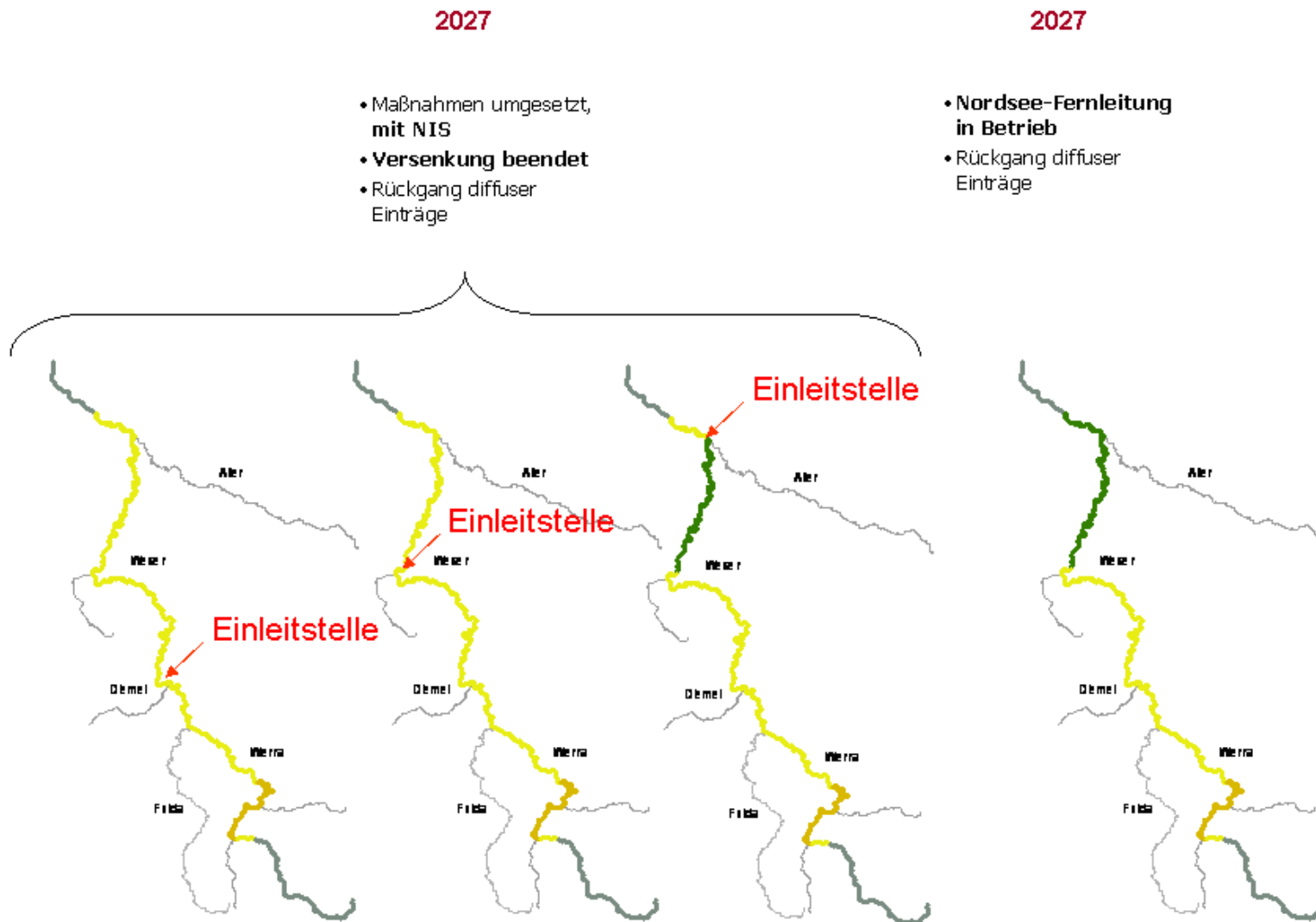


Abbildung A-40: Bewertung der Kaliumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr

Tabelle A-10: Zusammenfassende Bewertung: Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des jeweiligen Wasserkörpers ermittelt wurde

Szenario	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabbach	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemelmündung	Weser unterhalb Diemelmündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
2027 Einleitung unterhalb Diemelzufluss	-	-	-	63	172	185	123	118	59	82	69	62	59	41	-
2027 Einleitung unterhalb Werrezufluss	-	-	-	63	172	185	123	118	59	51	48	62	59	41	-
2027 Einleitung unterhalb Allerzufluss	-	-	-	63	172	185	123	118	59	51	40	35	36	41	-
2027 Einleitung Nordsee	-	-	-	63	172	185	123	118	59	51	40	35	36	26	-

2027

- Maßnahmen umgesetzt, mit NIS
- **Versenkung beendet**
- Rückgang diffuser Einträge

2027

- **Nordsee-Fernleitung in Betrieb**
- Rückgang diffuser Einträge

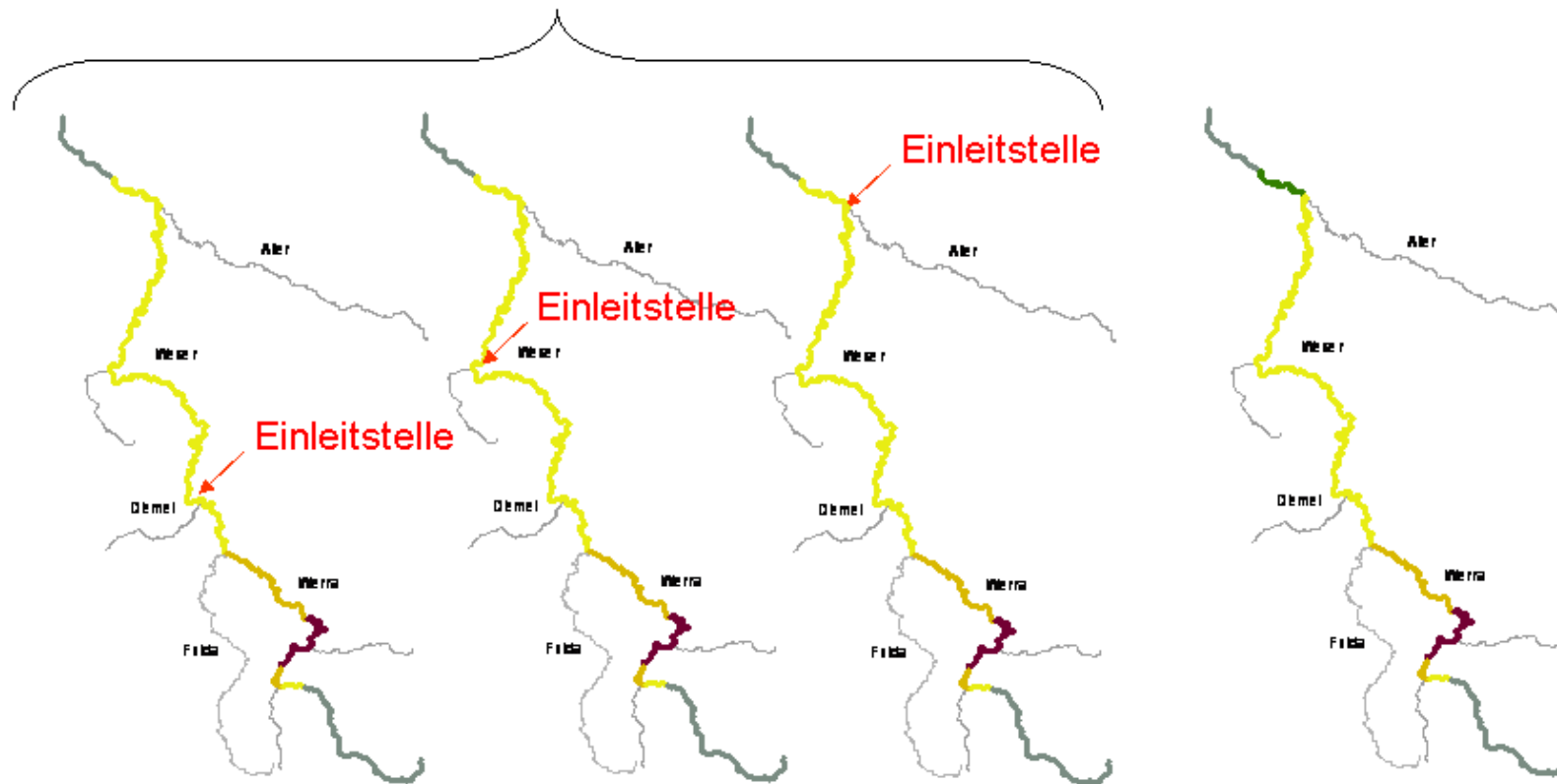


Abbildung A-41: Bewertung der Magnesiumkonzentration in Werra und Weser bei unterschiedlichen Einleitstellen an der Weser bzw. in die Nordsee im Jahr 2027 in einem „trockenen“ Jahr

In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse (90-Percentilwert des jeweiligen Wasserkörpers) aufgelistet, unter der Annahme, dass die Emissionen aus Tabelle 1 Schwankungen von -10% bis +10% unterliegen. Grau hinterlegt sind die Ergebnisse mit den Annahmen aus Tabelle 1 (=keine Schwankungen). Rot gekennzeichnet sind die Szenarien, bei denen ein Wasserkörper durch die erhöhte Emission (+10%) in eine schlechtere Wirkschwelle fällt. Grün gekennzeichnet sind die Szenarien, bei denen ein Wasserkörper durch die verringerte Emission (-10%) in eine bessere Wirkschwelle fällt. Die Auswertung erfolgte für die Szenarien Ia 2015, Ia 2027, 2 2015 und 2 2027.

Tabelle A-11: Auswertung ausgewählter Szenarien bei erhöhten (+10%) und verringerten (-10%) Emissionen, Chlorid, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Percentilwert, der für die Bewertung des Wasserkörpers ermittelt wurde.

Szenario	Änderung der Emissionen	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippssthal	Untere Werra bis Heldrabbach	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemel-mündung	Weser unterhalb Diemel-mündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
Ia 2015	-10%	<75	<75	<75	418	1299	1444	1030	1006	466	393	324	296	289	227	-
	keine	<75	<75	<75	418	1308	1469	1080	1051	487	411	336	308	301	233	-
	+10%	<75	<75	<75	418	1350	1546	1195	1166	535	455	369	336	326	251	-
Ia 2027	-10%	<75	<75	<75	269	1073	1245	905	881	413	350	285	261	256	205	-
	keine	<75	<75	<75	269	1107	1293	949	925	433	366	299	272	267	212	-
	+10%	<75	<75	<75	269	1202	1421	1063	1037	481	408	331	302	294	230	-
II 2015	-10%	<75	<75	<75	418	1090	1105	591	561	273	393	324	297	290	228	-
	keine	<75	<75	<75	418	1090	1105	591	561	273	411	336	308	301	233	-
	+10%	<75	<75	<75	418	1090	1105	591	561	273	455	369	336	326	251	-
II 2027	-10%	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	350	285	261	256	205	-
	keine	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	366	299	272	267	212	-
	+10%	<75	<75	<75	269	530	513	280	267	144	408	331	302	294	230	-

Verbesserung (um eine Klasse)
 Verschlechterung (um eine Klasse)

Tabelle A-12: Auswertung ausgewählter Szenarien bei erhöhten (+10%) und verringerten (-10%) Emissionen, Kalium, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentwert, der für die Bewertung des Wasserkörpers ermittelt wurde.

Szenario	Änderung der Emissionen	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabbach	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemelündung	Weser unterhalb Diemelündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
Ia 2015	-10%	-	-	-	38	127	146	115	112	53	45	37	33	32	25	-
	keine	-	-	-	38	129	149	117	114	54	46	37	33	32	25	-
	+10%	-	-	-	38	148	174	135	131	61	52	42	38	36	28	-
Ia 2027	-10%	-	-	-	23	112	133	102	99	47	40	33	30	29	23	-
	keine	-	-	-	23	119	144	111	109	51	44	35	32	31	24	-
	+10%	-	-	-	23	128	155	121	118	56	47	38	35	33	26	-
II 2015	-10%	-	-	-	38	102	104	56	53	28	45	36	33	32	25	-
	keine	-	-	-	38	102	104	56	53	28	48	39	35	34	26	-
	+10%	-	-	-	38	102	104	56	53	28	52	42	38	36	28	-
II 2027	-10%	-	-	-	23	61	62	33	32	18	40	33	30	29	23	-
	keine	-	-	-	23	61	62	33	32	18	44	35	32	31	24	-
	+10%	-	-	-	23	61	62	33	32	18	47	38	35	33	26	-

Verbesserung (um eine Klasse)

Verschlechterung (um eine Klasse)

Tabelle A-13: Auswertung ausgewählter Szenarien bei erhöhten (+10%) und verringerten (-10%) Emissionen, Magnesium, „mittleres Jahr“. Tabellenwerte entsprechen dem 90-Perzentwert, der für die Bewertung des Wasserkörpers ermittelt wurde.

Szenario	Änderung der Emissionen	Obere Werra bis Schwaba	Obere Werra ab Schwaba	Mittlere Werra bis Tiefenort	Mittlere Werra von Tiefenort bis Vacha	Werra/ Philippsthal	Untere Werra bis Heldrabbach	Werra/ Eschwege	Werra/ Niedersachsen	Weser oberhalb Diemelündung	Weser unterhalb Diemelündung	10003 Weser	Weser NRW	Mittelweser von NRW bis Aller	Mittelweser von Aller bis Bremen	Weser Tidebereich
Ia 2015	-10%	-	-	-	72	186	201	143	139	71	60	50	46	45	33	-
	keine	-	-	-	72	185	203	153	149	75	64	53	48	47	34	-
	+10%	-	-	-	72	188	208	163	159	79	68	55	50	49	36	-
Ia 2027	-10%	-	-	-	45	157	177	121	117	61	52	44	40	39	30	-
	keine	-	-	-	45	162	184	130	127	65	56	46	42	41	31	-
	+10%	-	-	-	45	166	191	140	137	69	59	49	45	44	32	-
II 2015	-10%	-	-	-	72	189	192	103	97	53	60	50	46	45	33	-
	keine	-	-	-	72	189	192	103	97	53	64	53	48	47	34	-
	+10%	-	-	-	72	189	192	103	97	53	68	55	50	49	36	-
II 2027	-10%	-	-	-	45	113	115	62	58	36	52	44	40	39	30	-
	keine	-	-	-	45	113	115	62	58	36	56	46	42	41	31	-
	+10%	-	-	-	45	113	115	62	58	36	59	49	45	44	32	-

Verbesserung (um eine Klasse)

Verschlechterung (um eine Klasse)