iKD
Ingenieur-Consult GmbH

Projekt-Nr. 45056728 (871712) **1. Ausfertigung**

Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Eisenbelastung der Pleiße

vom 28. September 2018

Vorhabensträger:

LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

LMBV mbH
Sanierungsbereich Mitteldeutschland
Walter-Köhn-Straße 2
04356 Leipzig
Tel.: 0341 / 2222 2012

Projektverantwortlicher: Herr Janisch

Entwurfsverfasser:

iKD
Ingenieur – Consult GmbH
Zur Wetterwarte 50
Haus 337/G
01109 Dresden
Tel.: 0351 / 88441-0
Fax: 0351 / 88441-33

Projektleiter: Dipl.-Ing. Thomas Drechsler

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Thomas Drechsler - iKD
Prof. Dr.-Ing. Holger Mansel - IBGW
Dipl.-Geoökol. Karin Heiland - IBGW
Dr.-Ing. Uli Uhlig - GIP
Dr. Maria Blumstock - GIP

1. bis 3. Ausfertigung: LMBV
4. Ausfertigung: iKD

Inhaltsverzeichnis

1 Vorhabensträger 4

2 Veranlassung, Zielstellung 4

3 Ausgangslage 5

4 Definition der Zielfunktion 6

5 Festlegung des Untersuchungsraumes 7

6 Aufbau eines Modellwerkzeuges zum Nachweis der wasserwirtschaftlichen Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Eisenbelastung der Pleiße 8

6.1 Grundsätzliches 8
6.2 Örtliche Diskretisierung des Bilanzmodells - Bildung von Bilanzzellen 9
6.3 Diskretisierung des Grundwasserwassermodells und Verschneidung mit den Bilanzzellen 11
6.3.1 Unterirdisches Einzugsgebiet und Hydroisohypsen 11
6.3.2 Diskretisierung der Bilanzabschnitte im HGMS 14
6.4 Aufbereitung und Zuweisung von Daten der Grundwasserbeschaffenheit 14
6.5 Parametrisierung des Bilanzmodells 17
6.6 Kalibrierung des Bilanzmodells 19
6.6.1 Ausweisung der Grundwasservolumenströme in die Pleiße 19
6.6.2 Berechnungen mit dem Bilanzmodell 19

7 Berechnungen zum Referenzszenario 21

7.1 Ausweisung der Grundwasservolumenströme in die Pleiße - Nullvariante 21
7.2 Berechnung des Referenzszenarios mit dem Bilanzmodell 21

8 Berechnung der Einzelmaßnahme 12.2 - Abdichtung der Pleiße 23

8.1 Beschreibung der hydraulischen Wirkungsweise 23
8.2 Implementierung der Abdichtung im HGMS 24
8.3 Ausweisung der Grundwasservolumenströme in die Pleiße 25
8.4 Ergebnis des Bilanzmodells 26
8.5 Auswirkungen auf die Grundwasserströmungsverhältnisse – HGMS 27

9 Zusammenfassung, Ausblick 31

Anlagen

Anlage 1 Kalibrierszenarien des Bilanzmodells für den Ist-Zustand (2014 bis 2017) (2014 bis 2017)

Anlage 2 Referenzszenario des Bilanzmodells für den stationären Strömungszustand (2150) ohne zusätzliche Maßnahmen.

Anlage 3 Maßnahme 1.12 für den stationären Strömungszustand (2150) für die Abflüsse 3, 6 und 10 m^3/s

Anlage 4 Visualisierung ausgewählter Modellergebnisse

Abbildungen

Abbildung 1: Untersuchungsraum mit dem betrachteten Pleißeabschnitt 7
Abbildung 2: Schema des Modellwerkzeuges zur Wirksamkeitsprüfung 8
Abbildung 3: Schema des Bilanzmodells mit Kennzeichnung aller Bilanzgrößen 9
Abbildung 4: Lageplan mit Kennzeichnung der Bilanzzellen entlang der Pleiße 11
Abbildung 5: Unterirdisches Einzugsgebiet der Pleiße inkl. Darstellung der Hydroisohypsen des oberen Hangendgrundwasserleiters (GWL 1.5/1.6/1.1+Kippe) für a) Kalibrierszenario (Ist-Zustand) und b) Referenzszenario (stationärer Strömungszustand) 13
Abbildung 6: Modellseitige Abgrenzung des links- und rechtsseitigen Zustroms zur Pleiße 14
Abbildung 7: Zuordnung von GWM des links- und rechtsseitigen Zustroms zur Pleiße für die einzelnen Bilanzbereiche 16
Abbildung 8: Eisen-gesamt-Konzentration in Abhängigkeit des Abflusses in der Pleiße (PL4) im Zeitraum 2014 - 2017 18
Abbildung 9: Eisen-gesamt-Konzentration in Abhängigkeit des Abflusses in der Wyhra (PL5) im Zeitraum 2014 - 2017 18
Abbildung 10: Schema zur Darstellung der aktuellen hydraulischen Situation an Referenzprofil der Pleiße 23
Abbildung 11: Schema zur Darstellung der hydraulischen Wirkungsweise der Maßnahme 1.12 - Pleißeabdichtung am Referenzprofil 24
Abbildung 12: Ergebnis des Modellszenarios 12.2 bei einem Abfluss in der Pleiße (PL10A) von 3,0 m^3/s 27
Abbildung 13: Hydroisohypsen des oberen Hangendgrundwasserleiters (GWL 1.5/1.6/1.1+Kippe) für a) Referenzszenario und b) Maßnahme 1.12 im stationären Strömungszustand 28
Abbildung 14: Hydrodifferenzen Maßnahme 1.12 / Referenzszenario – oberer Hangendgrundwasserleiter (GWL 1.5/1.6/1.1+Kippe) im stationären Strömungszustand 29
Abbildung 15: Grundwasserflurabstände zum oberen Hangendgrundwasserleiter (GWL 1.5/1.6/1.1+Kippe) für a) Referenzszenario und b) Maßnahme 1.12 – Abdichtung Pleiße im stationären Strömungszustand 30

Tabellen

Tabelle 1: Übersicht zu den Bilanzabschnitten und Zustrombereichen 14
Tabelle 2: Eisen-gesamt-Konzentrationen an den Grundwassermessstellen für die einzelnen 17
Tabelle 3: abgeleitete Eisen-gesamt-Konzentrationen im Grundwasser für die einzelnen Bilanzgebiete 17
Tabelle 4: Grundwasserzutritte zur Pleiße [m³/min] je Bilanzabschnitt und Zustromrichtung - Kalibrierszenario 19
Tabelle 5: Ergebnis des Kalibrierszenarios vom 03.05.2016 bei einem Abfluss in der Pleiße (PL10A) von 3,37 m³/s 20
Tabelle 6: Grundwasserzutritte zur Pleiße [m³/min] je Bilanzabschnitt und Zustromrichtung – Referenzszenario 21
Tabelle 7: Ergebnis des Referenzszenarios bei einem Abfluss in der Pleiße (PL10A) von 3,32 m³/s 22
Tabelle 8: Grundwasserzutritte zur Pleiße [m³/min] je Bilanzabschnitt und Zustromrichtung – Variante 1.12 (Abdichtung Pleiße) im Vgl. zum Referenzszenario 25
Tabelle 9: Ergebnis des Modellszenarios 12.2 bei einem Abfluss in der Pleiße (PL10A) von 3,0 m³/s 26

1 Vorhabensträger

Vorhabensträger und Auftraggeber für das Vorhaben „Projekt 046/720, Tgb. Witznitz II - Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Eisenbelastung der Pleiße“ ist die

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV)
Sanierungsbereich Mitteldeutschland
Walter-Köhn-Straße 2
04356 Leipzig.

Der Auftraggeber hat die iKD Ingenieur-Consult GmbH mit der Ausführung der oben benannten Ingenieurleistungen auf Grundlage des Ingenieurvertrages 45056728 vom 12.12.2017 beauftragt.
Die Auftragsbearbeitung erfolgte in Kooperation mit der GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH Dresden aus 01217 Dresden und der Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH aus 04229 Leipzig.

2 Veranlassung, Zielstellung

Die LMBV wurde als bergrechtlich verantwortliches Unternehmen vom Bund gebildet und fungiert als Projektträgerin der Sanierungsarbeiten unter anderem auch zur Minderung der bergbaulichen Belastungen in Fließgewässern im Umfang der berg- und wasserrechtlichen Verpflichtungslage. Der Umsetzung dieser Sanierungsarbeiten gehen Planung und Durchführung wirksamer, technisch durchführbarer und verhältnismäßiger Maßnahmen zur Minderung gemeinschädlicher bergbaulicher Belastungen voraus. Die Genehmigungen für diese Maßnahmen werden nach dem Zusammenwirken von Berg- und Wasserrecht im Rahmen von Genehmigungsverfahren erteilt. Dabei werden die bergrechtlichen Verpflichtungen u.a. aus den §§ 48 und 55 BBergG sowie die wasserrechtliche Verantwortung z.B. aus § 27 WHG mit dem Ziel der Wiederherstellung eines sich weitgehend selbst regulierenden Wasserhaushaltes vereint.

In diesem Zusammenhang stehen beim Vorhabensträger alle Maßnahmen zur Minderung der bergbaubedingten Eisenfrachten in die Pleiße besonders im Fokus. Als Tätigkeitsschwerpunkt hat sich dabei das Umfeld des ehemaligen Tagebaus Witznitz II herausgestellt. Die Pleiße, ein Fließgewässer I. Ordnung, quert auf einer Länge von ca. 900 m in einem künstlich angelegten Bett das Kippengelände des ehemaligen Tagebaus. Bedingt durch die grundwasser-beeinflussten geochemischen Prozesse in der Kippe sowie dem daraus folgendem eisenhaltigem Grundwasserwiederanstieg mit Exfiltration in die Pleiße ist ein erheblicher Eiseneintrag in das Fließgewässer festzustellen. Der Eiseneintrag führt zu einer starken Braunfärbung der Pleiße. Ein großer Anteil des eingetragenen Eisens sedimentiert als Eisenschlamm im Gewässerbett der Pleiße. Dieser Prozess führt zur Beeinträchtigung von Gewässerorganismen und zur Verminderung der Artenvielfalt. Der Vorhabensträger hat weiterhin bei allen Maßnahmen am Gewässer die Bewirtschaftungsziele für oberirdischen Gewässer gemäß § 27 WHG zu beachten. Demnach sind oberirdische Gewässer so zu bewirtschaften, dass a) eine Verschlechterung des ökologischen Potentials und des chemischen Zustands vermieden wird und b) ein gutes ökologisches Potential und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht wird.

Auf der Grundlage dieser Sanierungsverpflichtung der LMBV hat der Vorhabensträger eine Vielzahl an Maßnahmen entwickelt, welche zu einer Minderung des Eiseneintrages in die Pleiße beitragen sollen. Durch die bereits durchgeführten bzw. laufenden fachlichen und methodischen Untersuchungen und Planungen konnte belegt werden, dass die Reduzierung der Eisenbelastung der Pleiße nur mit einer Vielzahl an Maßnahmen erreicht werden kann. Der Vorhabensträger hat alle in Betrachtung gezogenen Maßnahmen in einer Übersicht (sog. Maßnahmematrix mit 30 Einzelmaßnahmen) zusammengestellt. Dabei wird unterschieden in eine Nullvariante (Zustand verbleibt unverändert), in eintragsmindernde Maßnahmen sowie in stoffmindernde Maßnahmen. Da jede einzelne Maßnahme für sich betrachtet nach erster Bewertung einen wasserwirtschaftlich sinnvollen Beitrag zur Lösung der anstehenden Aufgabe leisten kann, jedoch die tatsächliche Wirksamkeit nicht bekannt war, musste ein möglichst schnell verfügbares und auf bestehenden Daten und Informationen aufbauendes Instrument gefunden werden, welches einen objektiven Vergleich der wasserwirtschaftlichen Wirksamkeit nach einem einheitlichen Prüfkriterium ermöglicht.
Nach erfolgter fachlicher Diskussion wurde vom Vorhabensträger festgelegt, dass eine Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Eisenbelastung der Pleiße durchzuführen ist. Diese Abschätzung soll auf Grundlage eines vereinfachten Konzentrationsmodells entlang des hydraulischen Längsschnittes der Pleiße erfolgen. Dafür sollten vorhandene Messdaten zur Eisenkonzentration entlang der Pleiße im Untersuchungsgebiet zu verwendet werden. Das Modell sollte so aufgebaut werden, dass grundsätzlich jede der in der Maßnahmematrix benannte Maßnahme aber auch Kombinationen von Maßnahmen auf wasserwirtschaftliche Wirksamkeit hin zu untersuchen ist. Es war als Prüfkriterium für das Modell eine geeignete Zielfunktion zu finden, welche die Bewirtschaftungsziele gemäß § 27 WHG nicht behindert. Im Einzelnen waren folgende Schritte zur Wirksamkeitsprüfung durchzuführen:

- Bildung von Bilanzzellen
- Diskretisierung GW-Modell und Verschneidung mit Bilanzzellen
- Aufbereitung/Ausweisung von Daten zur Grundwasserbeschaffenheit
- Entwicklung eines Modellkonzeptes
- Parametrisierung/Kalibrierung des Modells
- Berechnung/Darstellung Kalibrierszenario (IST-Zustand)
- Berechnung/Darstellung Referenzszenario (Nullvariante - stationärer Endzustand)
- Beschreibung einer Einzelmaßnahme (stofflich wirksame Maßnahme 1.12)
- Erarbeitung von Systembildern
- Berechnungen am Bilanzmodell, Prüfung auf Erreichen der Zielfunktion
- Auswertung/Bericht mit Aussagen zu Wirksamkeit

3 Ausgangslage

In der Pleiße südlich von Leipzig wird vor allem in Zeiten von Niedrig- und Mittelwasserabflüssen eine gelb-braun bis orangefarbene Eintrübung des Wassers beobachtet.
Nach der Einstellung der bergbaubedingten Wasserhaltungen zur Grundwasserabsenkung im Bereich der ehemaligen Braunkohlentagebaue steigt das Grundwasser großräumig wieder an und es stellen sich langfristig natürliche Grundwasserströmungsverhältnisse ein. Der Grundwasserspiegel ist nunmehr soweit angestiegen, dass es aufgrund der hydraulischen Kopplung des Grundwassers mit den oberirdischen Gewässern zu einer Exfiltration von saurem, eisen- und sulfatbelastetem Kippengrundwasser in die Pleiße kommt, die zu einer

sichtbaren Veränderung des Wasserkörpers führt. Durch umfangreiche Messungen im Oberflächengewässer wurde nachgewiesen, dass der Haupteiseneintrag in die Pleiße im Fließgewässerabschnitt zwischen der Wyhramündung und dem Trachenauer Wehr stattfindet, in dem die Pleiße in den 1960er Jahren direkt über die Kippe und entlang der Kippe des Tagebaus Witznitz II verlegt wurde.
Die Stofffrachten in der Pleiße führen neben der Verfärbung über lange Fließwege und der damit verbundenen negativen Beeinflussung der touristischen Nutzung der Gewässer auch zum Absetzen von EHS (Eisenhydroxidschlamm) auf der Fließgewässersohle und dadurch zu einer möglichen Schädigung der aquatischen Lebensgemeinschaften von Fischen, Makrozoobenthos und Makrophyten.
Zur Quantifizierung und Prognose der in Folge des Grundwasserwiederanstieges auftretenden Gefährdung der Oberflächengewässer sowie zur Vorbereitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität wurde durch die LMBV in 2007 für den Bereich der Kippe Kahnsdorf ein Projekt mit dem Titel „*Untersuchung der Auswirkungen des GW-Wiederanstiegs und der daraus folgenden Exfiltration der eisenbelasteten Grundwasser aus den Kippen des ehemaligen Tagebaues Witznitz in die Fließgewässer Pleiße und Wyhra*„ begonnen.
Im Rahmen der Phase 3 des oben genannten Projektes wurde eine Planung zur Umverlegung der Pleiße im Bereich des ehemaligen Tagebaus Witznitz II zur Sedimentation von Eisenhydroxidschlämmen im Kahnsdorfer See begonnen.
Im Zusammenhang mit der öffentlichen Vorstellung des oben genannten Projektes während der Vorplanung wurde durch die Genehmigungsbehörde gefordert, alle bisher untersuchten Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen und zu beurteilen. Zu den bis dahin untersuchten Maßnahmen wurden in der öffentlichen Diskussion noch weitere Alternativen in die Diskussion gebracht.
Damit existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungsansätze mit zum Teil sehr unterschiedlichen Bearbeitungsständen. Für den weiteren Projektfortschritt ist eine belastbare Vergleichbarkeit aller in der Diskussion stehenden Alternativen im Umgang mit der Eisenbelastung der Pleiße erforderlich.

4 Definition der Zielfunktion

Zielstellung des Gesamtprojektes ist es, einen guten ökologischen Zustand der Pleiße zu erreichen. Hierfür ist eine signifikante Verringerung der Eisenkonzentration in der Pleiße erforderlich, womit auch eine messbare Verringerung der Eisenfracht der Pleiße erreicht wird.
Entsprechend der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) orientiert sich ein guter ökologischer Zustand eines Gewässers an einem Jahresmittelwert der Eisen-gesamt-Konzentration von 1,8 mg/l.
Insofern wird in Abstimmung mit allen Projektbeteiligten präventiv als Zielfunktion ein Jahresmittelwert der Eisen-gesamt-Konzentration im Unterlauf des Trachenauer Wehres von 1,8 mg/l definiert.

5 Festlegung des Untersuchungsraumes

Der Untersuchungsraum erstreckt sich gemäß Abbildung 1 von der Mündung der Wyhra in die Pleiße (an den Flusswassermessstellen PL4 und PL5) bis zur Messstelle PL10A. Diese Messstelle befindet sich unmittelbar unterstrom des Trachenauer Wehres, im Bereich der Mündung des Ausleiters des Kahnsdorfer und Hainer Sees.

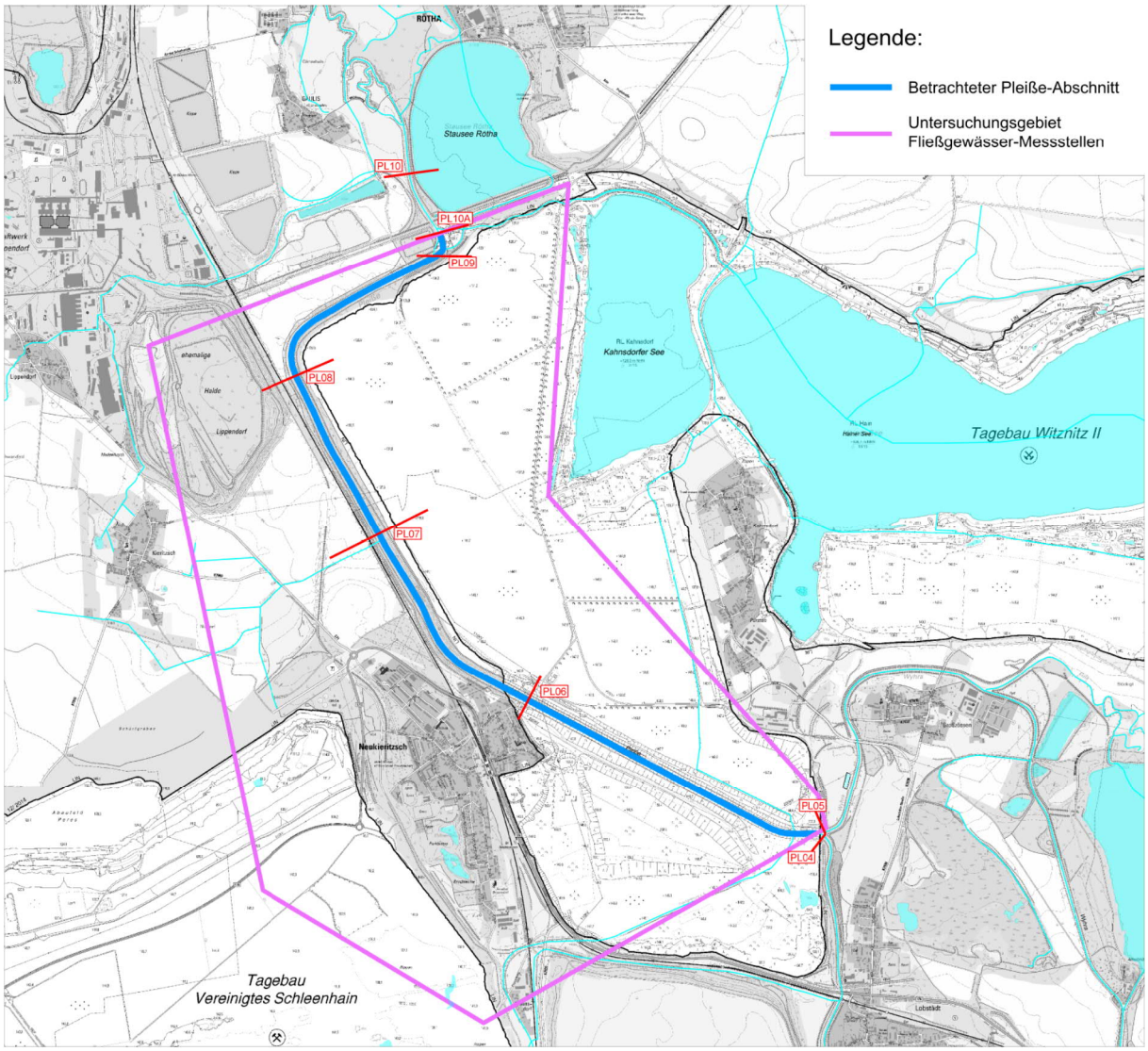


Abbildung 1: Untersuchungsraum mit dem betrachteten Pleißeabschnitt

6 Aufbau eines Modellwerkzeuges zum Nachweis der wasserwirtschaftlichen Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Eisenbelastung der Pleiße

6.1 Grundsätzliches

Zum Nachweis der wasserwirtschaftlichen Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Eisenbelastung der Pleiße in dem unter Abschnitt 4 beschriebenen Untersuchungsraum sollte ein geeignetes Modellwerkzeug entwickelt werden.
Dieses Modellwerkzeug sollte auf Grundlage eines einheitlichen Verfahrens eine objektive Bewertung der betrachteten Maßnahmen ermöglichen. Die eigentliche Bewertung sollte dabei entsprechend der unter Abschnitt 4 definierten Zielfunktion (mittlere Eisen-gesamt-Konzentration unterhalb des Trachenauer Wehres < 1,8 mg/l) erfolgen.
Kernstück dieses Modellwerkzeuges ist ein vereinfachtes Bilanzmodell für den untersuchten Pleißeabschnitt bezogen auf Wassermenge und Eisenfracht.
Dabei werden folgende wesentliche Bilanzgrößen berücksichtigt:

- Wassermenge und Eisen-gesamt-Konzentration (Hintergrundkonzentration) im Oberlauf der Pleiße und der Wyhra (Oberflächengewässer)
- Wassermenge und Eisen-gesamt-Konzentration, die aus dem Grundwasser in die Pleiße strömt
- Wassermenge und Eisen-gesamt-Konzentration aus sonstigen Zuflüssen (Einleitung aus der GRWA Schleenhein, Ableiter aus dem Hainer- und Kahnsdorfer See)
- Sedimentation von Eisenhydroxidpartikeln im Fließgewässerabschnitt

Aus diesen Größen der Wassermenge und Eisen-gesamt-Konzentration errechnet sich dabei jeweils eine definierte Eisen-Fracht am definierten Kontrollquerschnitt (PL10A), der zur Maßnahmenbewertung herangezogen wird.
Für die Beurteilung der unterschiedlichen Maßnahmen erfolgt die Beurteilung / Berechnung der damit zu erwartenden Verringerung des Grundwasserzustroms in die Pleiße bzw. der zu erwartenden Verringerung der Konzentration des Zutritts am Ort der Beurteilung.

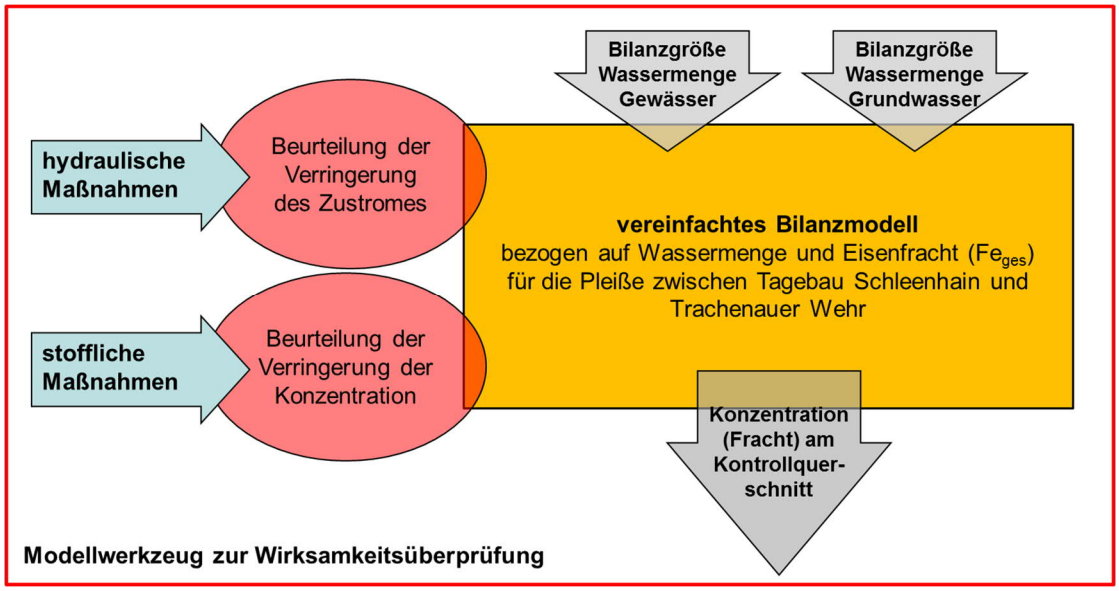


Abbildung 2: Schema des Modellwerkzeuges zur Wirksamkeitsprüfung

Dabei wurden folgende Vereinfachungen / Annahmen getroffen:

- Für die Eisenkonzentration im Grundwasser liegen nur Messwerte an verschiedenen Grundwassermessstellen vor. Prognoserechnungen für die langfristige Entwicklung der Eisenkonzentrationen im Grundwasser liegen nicht vor. Aus diesem Grund wurden sie als langfristig konstant angenommen.
- Die Eisenkonzentrationen des Grundwassers werden auf Grundlage der Messungen im Grundwasser und nicht an der Stelle des Eintritts in die Pleiße berücksichtigt.
- Dieses Modell berücksichtigt die Eisensedimentation nur als Restglied. Dabei wird die Eisensedimentation als zeitlich singuläre Senke betrachtet. In der Realität werden die sedimentierten Flocken bei Hochwasserereignissen in Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit wieder mobilisiert und fortgetragen. Bezogen auf die Eisenkonzentration sind diese Ereignisse jedoch wegen der großen Verdünnung nicht relevant. Das Restglied errechnet sich aus der Kalibrierung und den Messwerten. Darin sind zum Teil auch Unsicherheiten in der Parametrisierung anderer Kenngrößen enthalten.
- Die Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung und Niederschlag wurden bei dem vorliegenden Modell nicht mit berücksichtigt, da deren Volumenströme im Vergleich zum Abfluss der Pleiße vernachlässigbar klein sind.
- Chemische Reaktionen, z.B. die Oxidation des Fe^{2+}zu Fe^{3+} wird im vorliegenden Modell nicht berücksichtigt.

6.2 Örtliche Diskretisierung des Bilanzmodells - Bildung von Bilanzzellen

Für die Erstellung des Bilanzmodells ist eine örtliche Diskretisierung des Untersuchungsraumes erforderlich. Hierfür wurde der betrachtete Fließgewässerabschnitt der Pleiße zwischen der Wyhramündung und dem Trachenauer Wehr in 5 Bilanzzellen diskretisiert. Die Diskretisierung orientiert sich dabei örtlich an den Fließgewässermessstellen, da nur durch diese Stützstellen für die Kalibrierung gegeben sind.
In der nachfolgenden Abbildung 3 ist das Bilanzmodell mit allen Bilanzgrößen dargestellt.

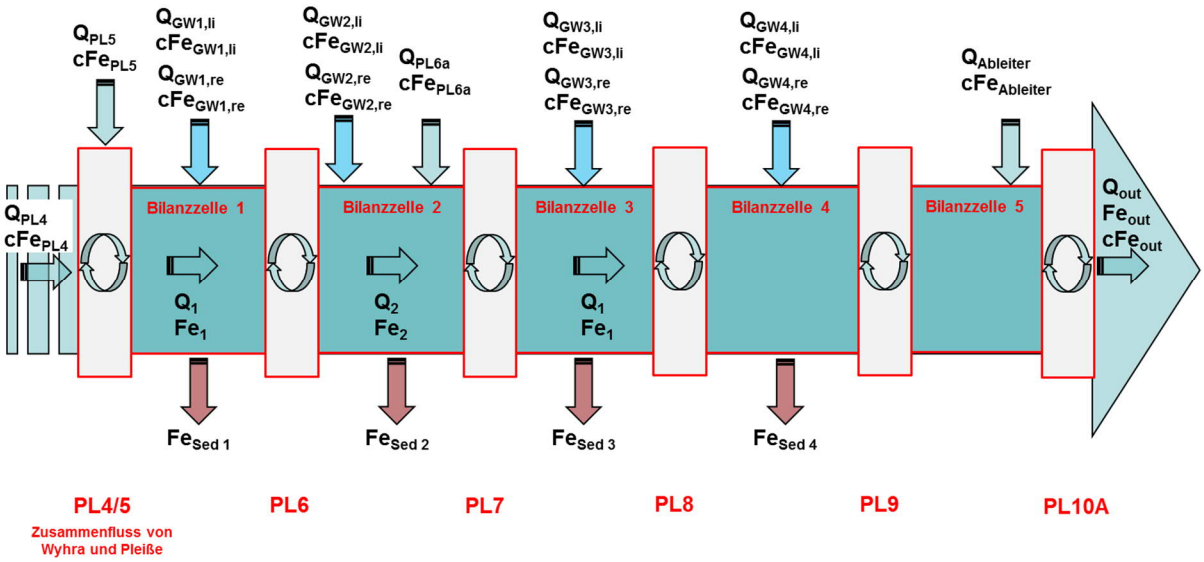


Abbildung 3: Schema des Bilanzmodells mit Kennzeichnung aller Bilanzgrößen

Dabei wurden folgende Bilanzgrößen berücksichtigt:

Q_{PL4}	…	Wassermenge in der Pleiße an der jeweiligen Fließgewässermessstelle
Fe_{PL4}	…	Eisengesamtkonzentration in der Pleiße an der jeweiligen Fließgewässermessstelle
$Q_{GW,1,li}$	…	Wassermenge die in Bilanzzelle 1 aus dem Grundwasser linksseitig zuströmt
$Q_{GW,1,re}$	…	Wassermenge die in Bilanzzelle 1 aus dem Grundwasser rechtsseitig zuströmt
$cFe_{GW1,re}$	…	Eisengesamtkonzentration des rechtsseitigen Grundwasserzustroms in Bilanzzelle 1
$cFe_{GW1,li}$	…	Eisengesamtkonzentration des linksseitigen Grundwasserzustroms in Bilanzzelle 1
Q_{PL6A}	…	Wassermenge die in Bilanzzelle 2 aus der Einleitung der GWRA Schleenhein zuströmt
cFe_{PL6A}	…	Eisengesamtkonzentration die in Bilanzzelle 2 aus der Einleitung der GWRA Schleenhein zuströmt
$Fe_{Sed\ 2}$	…	Eisenfracht die sich in Bilanzzelle 2 ablagert
$Q_{Ableiter}$	…	Wassermenge die in Bilanzzelle 5 aus dem Ableiter des Kahnsdorfer- und Hainer Sees zuströmt
$cFe_{Ableiter}$	…	Eisengesamtkonzentration die in Bilanzzelle 5 aus dem Ableiter des Kahnsdorfer- und Hainer Sees zuströmt
Q_{out}	…	Wassermenge die an der Fließgewässermessstelle PL10A in der Pleiße abströmt
Fe_{out}	…	Eisengenfracht die an der Fließgewässermessstelle PL10A in der Pleiße abströmt
cFe_{out}	…	Eisengesamtkonzentration die an der Fließgewässermessstelle PL10A in der Pleiße abströmt

(PL4, PL5 … entspricht dabei der Bezeichnung der Fließgewässermessstelle in der Pleiße)

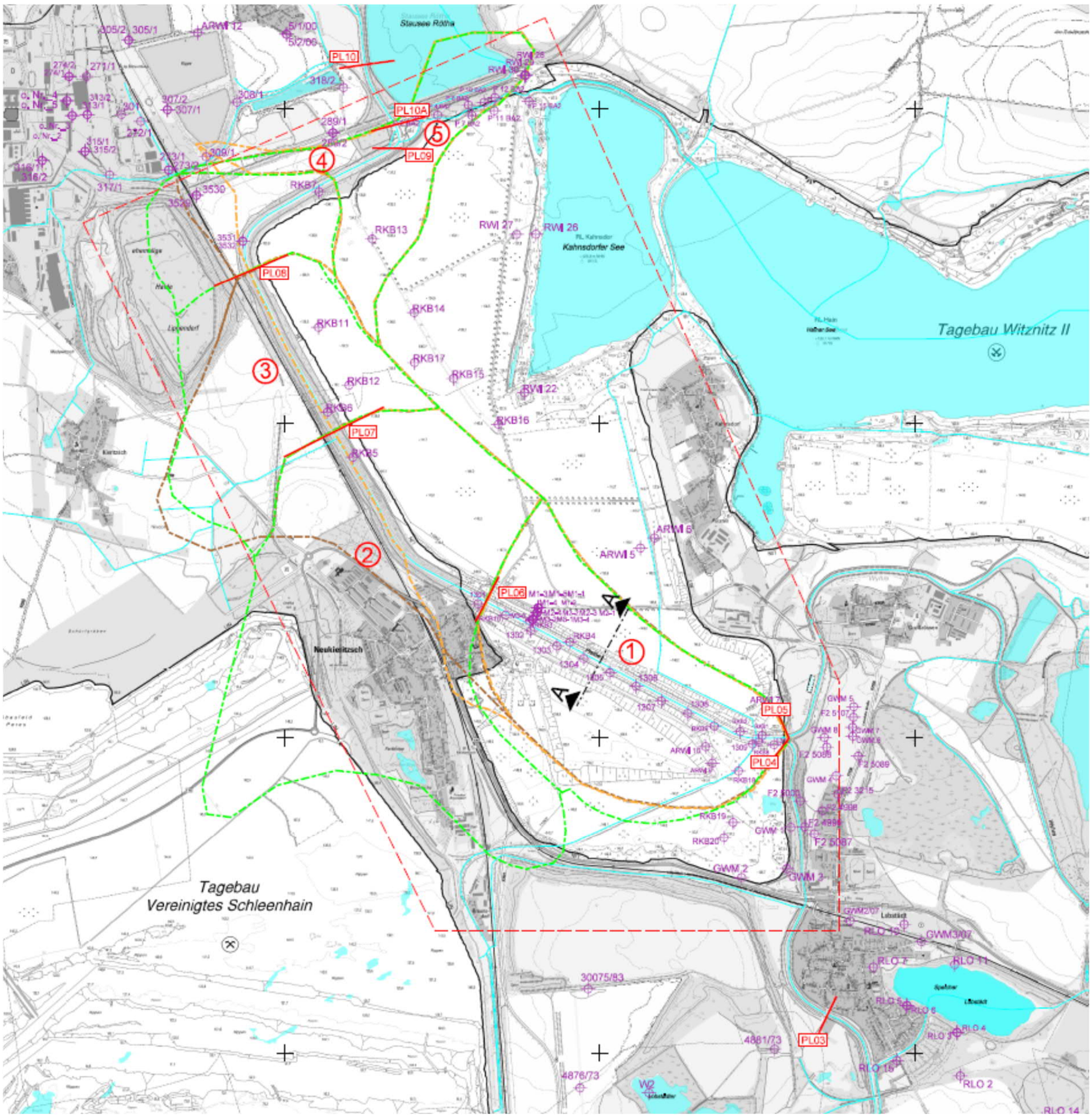


Abbildung 4: *Lageplan mit Kennzeichnung der Bilanzzellen und deren grundwasserbürtige Einzugsgebiete entlang der Pleiße*

6.3 Diskretisierung des Grundwasserwassermodells und Verschneidung mit den Bilanzzellen

Die Ausweisung der Grundwasserzutritte (Volumenströme) in die Pleiße erfolgte auf Basis des aktuellen Hydrogeologischen Großraummodells Süd (HGMS2015, Stand 2017).

6.3.1 Unterirdisches Einzugsgebiet und Hydroisohypsen

Im betrachteten Fließgewässerabschnitt zwischen PL4/5 und PL10A ist die Pleiße an den oberen hangenden Grundwasserleiterkomplex sowie an den Kippenkomplex (Kippe Witznitz) angebunden. Das unterirdische, d.h. das grundwasserbürtige Einzugsgebiet der Pleiße im Gewässerabschnitt zwischen den Oberflächenwassermessstellen PL4 (Pleiße oberhalb des

Wyhra-Zuflusses) bzw. PL5 (Wyhra vor Mündung in die Pleiße) und PL10A wurde für den Ist-Zustand (Kalibrierszenario) und den stationären Strömungszustand (Referenzszenario) ausgewiesen. Für die festgelegten Bilanzabschnitte der Pleiße erfolgte eine Untergliederung in Teileinzugsgebiete. Die unterirdischen Einzugsgebiete inklusive der Hydroisohypsen für den oberen hangenden Grundwasserleiter sind Abbildung 5 a) und b) zu entnehmen.

Nördlich der Pleißequerung durch die Kippe Witznitz ist eine Grundwasserhochlage ausgebildet, wovon ausgehend ein Abstrom in Richtung Pleiße, zum Kahnsdorfer See sowie in Richtung Ortslage Kahnsdorf stattfindet. Die maximal berechneten Grundwasserstände liegen im Ist-Zustand bei ca. +140 m NHN. Bis zum stationären Strömungszustand erhöhen sich die maximalen Grundwasserstände auf +141 m NHN.

Südlich der Pleißequerung bildet sich im Ist-Zustand eine berechnete Hochlage von +137 m NHN aus. Mit Beginn der Verkippungen und einem fortschreitenden Rückgang der Wasserhaltungen im Tagebau Vereinigtes Schleenhain kommt es bis zum stationären Strömungszustand zu einer Erhöhung der Grundwasserstände auf maximal +140 m NHN. Ausgehend von der südlichen Hochlage erfolgt ebenfalls ein Grundwasserzustrom in Richtung Pleiße.

In Bilanzabschnitt I erhält die Pleiße ihren grundwasserbürtigen Zustrom ausschließlich über die links- und rechtsseitig angrenzenden Kippenareale. In den Abschnitten II bis V erfolgt der linksseitige Pleißezufluss über die gewachsenen Grundwasserleiter. Rechtsseitig erhält die Pleiße über einen schmalen gewachsenen Bereich indirekt Grundwasserzustrom aus dem angrenzenden Kippenkomplex. Im Bilanzabschnitt IV findet teilweise eine Infiltration von der Pleiße in das Grundwasser statt (die berechneten Grundwasserstände liegen unter der Flusssohle). Das unterirdische Teileinzugsgebiet ist entsprechend klein. Es ist hier von einer teilweisen Unterströmung der Pleiße auszugehen.

Bis zum stationären Strömungszustand (Ausweisung für die Jahresscheibe 2150) vergrößert sich das Einzugsgebiet der Pleiße wesentlich. Gegenwärtig (Kalibrierszenario) führen Absenkungsmaßnahmen im Tagebau Vereinigtes Schleenhain (aktiver Tagebaubetrieb) zu einer deutlichen Verkleinerung des Einzugsgebietes der Pleiße (vgl. Abbildung 5 a und b). Dies betrifft insbesondere die westlichen Bereiche der Bilanzabschnitte II bis IV. Der Pleißezustrom ist hier deutlich reduziert (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 3.

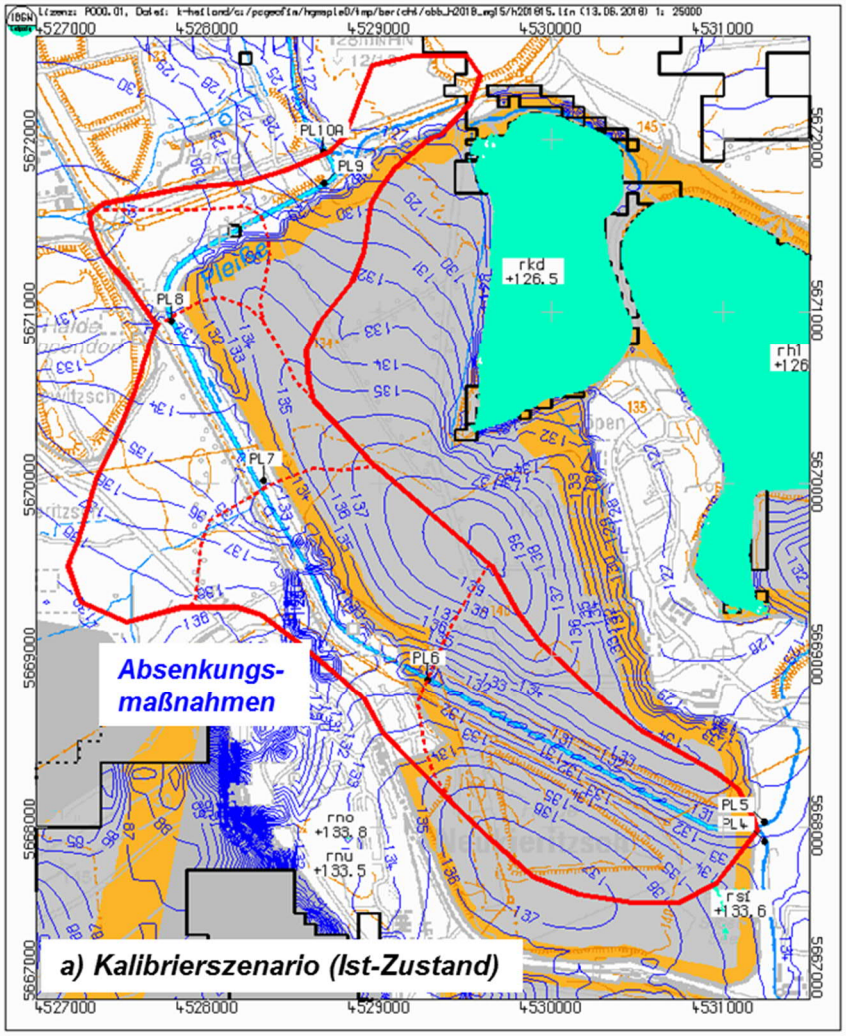


Abb. 5 a

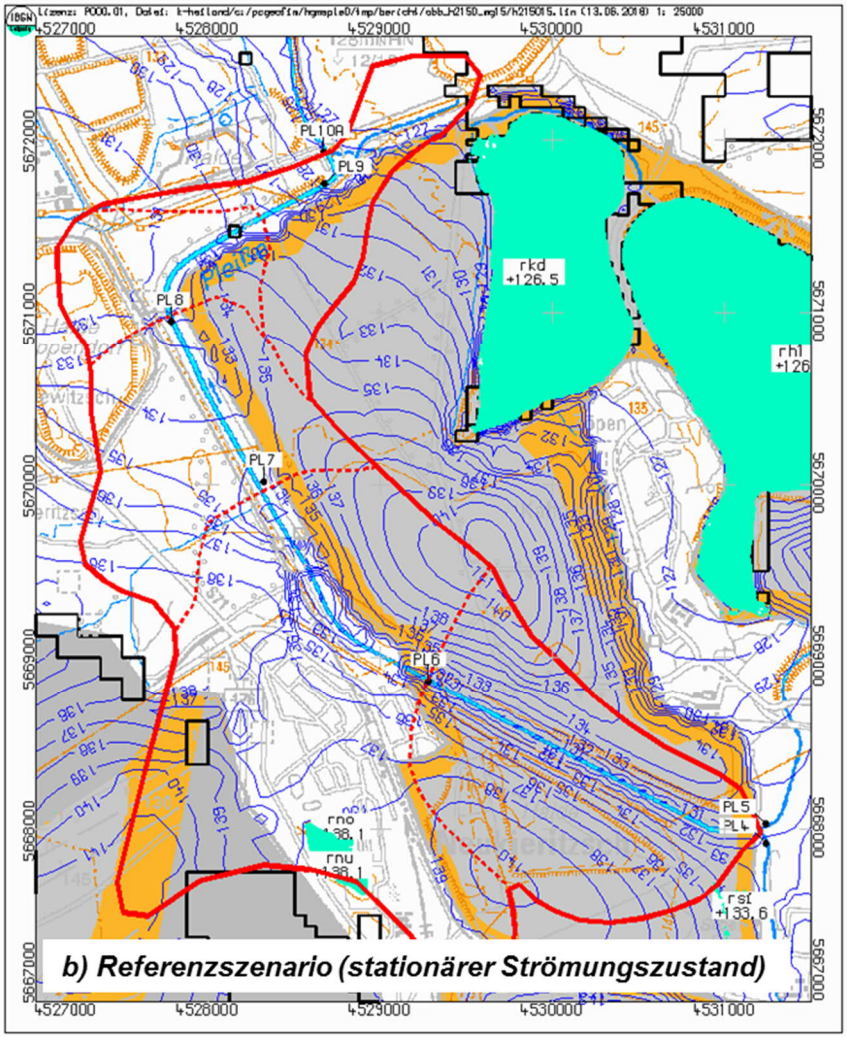


Abb. 5 b

Abbildung 5: Unterirdisches Einzugsgebiet der Pleiße inkl. Darstellung der Hydroisohypsen des oberen Hangendgrundwasserleiters (GWL 1.5/1.6/1.1+Kippe) für a) Kalibrierszenario (Ist-Zustand) und b) Referenzszenario (stationärer Strömungszustand)

6.3.2 Diskretisierung der Bilanzabschnitte im HGMS

Die Ausweisung der Grundwasservolumenströme in die Pleiße erfolgte je Bilanzabschnitt differenziert nach Herkunft und Richtung des Grundwasserzustroms. Auf Grundlage des unterirdischen Einzugsgebietes erfolgte die modellseitige Implementierung der Bilanzabschnitte. Die Differenzierung des links- und rechtsseitigen Grundwasserzustroms in die Pleiße erfolgte über die Bildung entsprechender Bilanzzellen. Die Umsetzung ist schematisch in Abbildung 6 gezeigt.

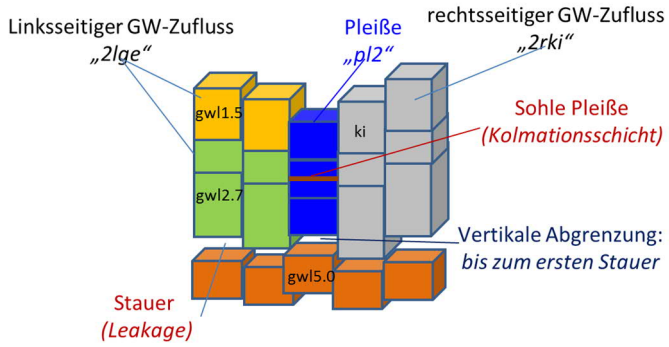


Abbildung 6: Modellseitige Abgrenzung des links- und rechtsseitigen Zustroms zur Pleiße

Eine Übersicht zu den in die Pleiße entwässernden Grundwasserleitern je Bilanzabschnitt gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht zu den Bilanzabschnitten und Zustrombereichen

Bilanzabschnitt		Zustromseite	Grundwasserleiter
Bezeichnung	OW-MST		
I	PL4/ PL5 bis PL6	links	direkt Kippe
		rechts	direkt Kippe
II	PL6 bis PL7	links	GWL 1.5/ 1.6/ 1.8/ 2.6+2.7/ 2.7
		rechts	indirekt Kippe
III	PL7 bis PL8	links	GWL 1.6/ 1.8/ 2.6+2.7
		rechts	indirekt Kippe
IV	PL8 bis PL9	links	GWL 1.5/ 1.6/ 1.8/ 2.6+2.7/ 2.7
		rechts	indirekt Kippe
V	PL9 bis PL10	links	GWL 1.5/ 1.5+1.1/ 1.8/ 2.7
		rechts	indirekt Kippe

Die Ausweisung der Grundwasservolumenströme erfolgte für den Ist-Zustand (Kalibrierszenario) sowie für den stationären Strömungszustand (Referenzszenario). Die Ergebnisse wurden auf Plausibilität geprüft und die gesetzten Bilanzzellen in einem iterativen Bearbeitungsprozess angepasst.

6.4 Aufbereitung und Zuweisung von Daten der Grundwasserbeschaffenheit

Die Zuordnung repräsentativer Güte-GWM zu den Bilanzabschnitten der Pleiße erfolgte auf Basis der ausgewiesenen unterirdischen Teileinzugsgebiete.

Bei der Zuordnung wurden die Tiefenlagen der Filterstrecken der jeweiligen Grundwassermessstellen mit berücksichtigt.
Die verwendete Zuordnung ist in der nachfolgenden Abbildung 7 dargestellt.
Auf folgende Besonderheiten in der Zuordnung, die sie aus den Filterlagen der GWM bzw. besonderer Charakteristik der Messstelle ergaben, sei hingewiesen:

- die Messstelle 1301 wurde entsprechend der Grundwasserfließrichtung dem Bilanzbereich 1, linksseitiger Zustrom zugeordnet
- die Messtellen RK5 und 6 wurden den Bilanzbereichen 2 und 3, linksseitiger Zustrom gleichermaßen zugeordnet. Diese Messstellen liegen zwar am rechten Pleißeufer, charakterisieren jedoch auf Grund ihrer Uferlage und Filterlage den Zustrom aus dem Gewachsenen (linksseitiger Zustrom).
- für den Bilanzbereich 2, rechtsseitiger Zustrom konnte nur die RKB16 herangezogen werden, da sonst keine weiteren Daten zur Verfügung standen
- für den Bilanzbereich 3, rechtsseitiger Zustrom wurden die RKB12, 14 und 17 herangezogen
- für den Bilanzbereich 4, rechtsseitiger Zustrom wurden die RKB13, 14 und 17 herangezogen
- die RKB 7 wurde mit für den linksseitigen Zustrom im Bilanzbereich 4 herangezogen. Diese Messstelle liegt zwar am rechten Pleißeufer, charakterisieren jedoch auf Grund ihrer Uferlage und Filterlage den Zustrom aus dem Gewachsenen (linksseitiger Zustrom)

Für die Ermittlung der maßgebenden Konzentration wurden aus den zeitlichen Messreihen der Gütedaten jeweils der Median je Messstelle herangezogen. Die Festlegung der Konzentration ergibt sich dann aus dem Mittelwert.

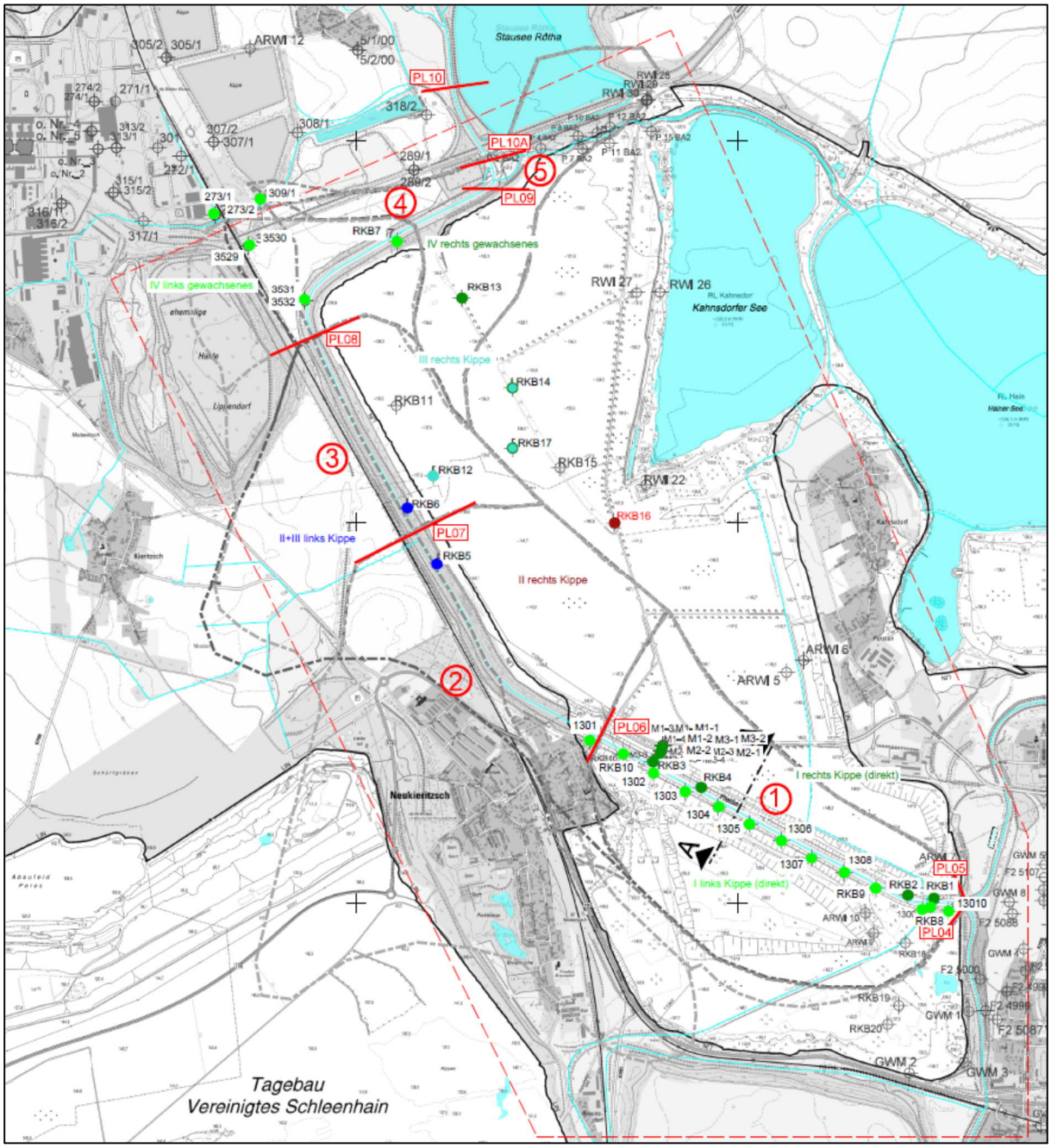


Abbildung 7: Zuordnung von GWM des links- und rechtsseitigen Zustroms zur Pleiße für die einzelnen Bilanzbereiche

Tabelle 2: Eisen-gesamt-Konzentrationen an den Grundwassermessstellen für die einzelnen

	Meßstellenname	Eisen Median	Eisen Min	Eisen Max
I links (direkt)	RKB8	330	199	550
	RKB9	932	443	1780
	RKB10	1010	817	1200
	1302	890	830	950
	1303	1300	1200	1800
	1304	2800	2600	3000
	1305	1100	870	1200
	1306	2400	2200	2500
	1307	640	480	780
	1308	4200	3600	4200
	1309	335	330	340
	1310	1200	980	1500
	1301	980	960	1000
		1394		
I rechts (direkt)	RKB1	629	558	681
	RKB2	2000	1600	2330
	RKB3	2300	1120	3380
	RKB4	2370	2190	4800
	M1-1	3010	2000	3430
	M1-2	1660	1490	2700
	M2-1	1270	1010	1900
	M2-2	4360	2290	5180
	M3-1	2850	1070	3400
	M3-2	1720	1220	1990
		2217		

	Meßstellenname	Eisen Median	Eisen Min	Eisen Max
II+III links	RKB5	11.45	2.67	39
	RKB6	21	3.52	64
		16		
II rechts	1301	980	960	1000
	RKB16	1420		
		1200		
III rechts	RKB12	302	224	367
	RKB14	42.15	11	160
	RKB17	543	456	1420
		296		
IV links	273/1	6.685	0.7	72
	273/2	11	3.5	24
	309/1	9.4	0.23	17
	3529	4.15	0.07	21
	3530	0.145	0.01	14
	3531	2.5	0.04	20
	3532	0.11	0.015	9
	RKB7	10.9	0.18	19
		6		
IV rechts	RKB13	197	110	282
	RKB14	42.15	11	160
	RKB17	543	456	1420
		261		

Tabelle 3: abgeleitete Eisen-gesamt-Konzentrationen im Grundwasser für die einzelnen Bilanzgebiete

Bilanz-zelle	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³	
	links	rechts
I	1400	2200
II	16	1200
III	16	300
IV	6	260
V	6	260

6.5 Parametrisierung des Bilanzmodells

Für die Parametrisierung des Bilanzmodells wurden alle maßgebenden Bilanzgrößen der Zu- und Abflüsse sowie der Speicheränderung innerhalb einer Bilanzzelle berücksichtigt. Dabei erfolgt jeweils an den Rändern der Bilanzzelle eine Mischungsberechnung.

Im Zustrom des Betrachtungsgebietes erfolgt auf Grundlage der Wassermenge und Eisen-Konzentration in der Wyhra (PL5) und der Pleiße (PL4) eine Mischungsrechnung. Diese definiert den Modellinput.
Dabei zeigt sich entsprechend Abbildung 8 und Abbildung 9 keine Abhängigkeit der Konzentration vom Abfluss im Gewässer. Es wurde jeweils mit den mittleren gemessenen Konzentrationen von 0,75 mg/l (Pleiße) und 1,12 mg/l (Wyhra) gerechnet.

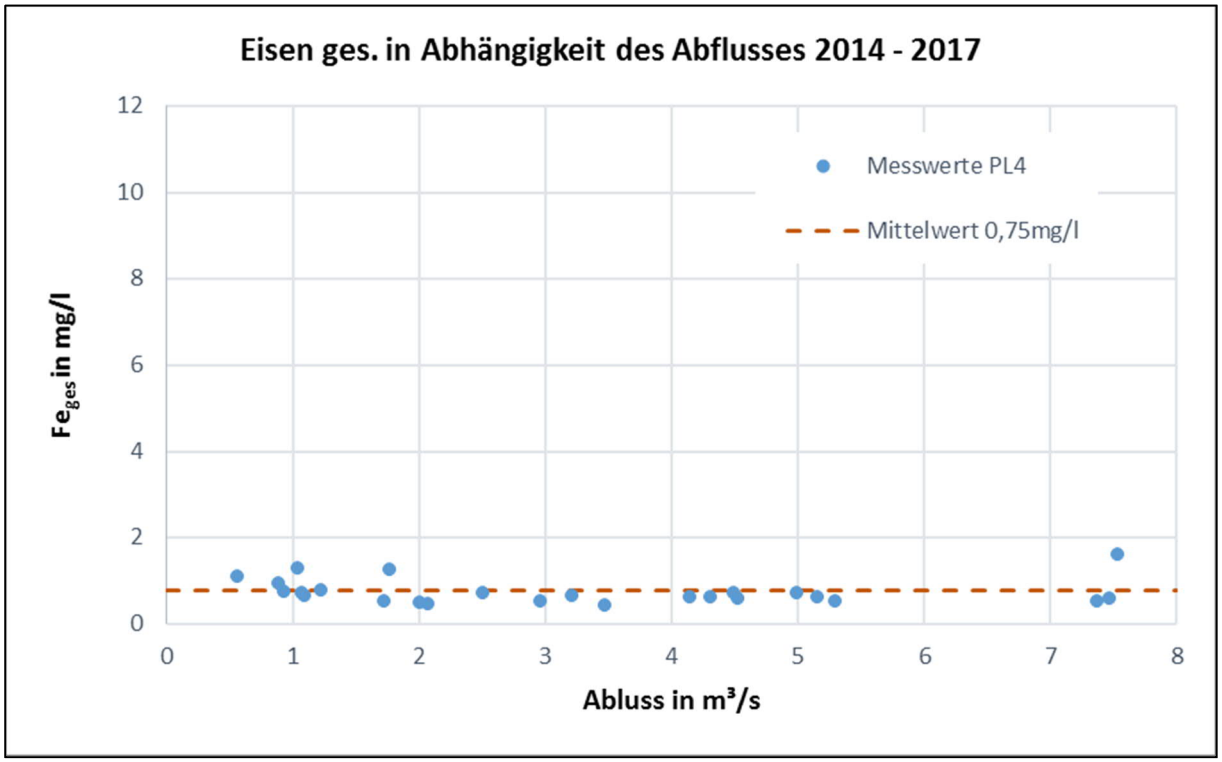


Abbildung 8: Eisen-gesamt-Konzentration in Abhängigkeit des Abflusses in der Pleiße (PL4) im Zeitraum 2014 - 2017

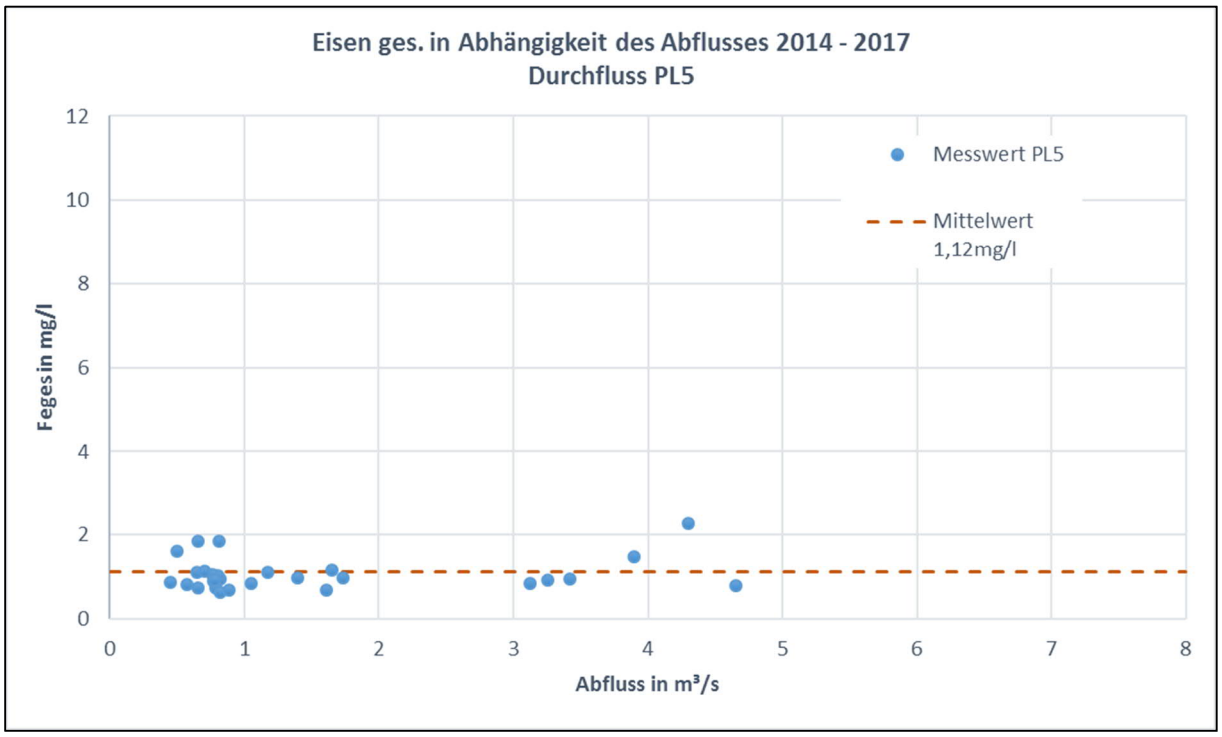


Abbildung 9: Eisen-gesamt-Konzentration in Abhängigkeit des Abflusses in der Wyhra (PL5) im Zeitraum 2014 - 2017

Von der oberstromigen zur unterstromigen Bilanzzelle wird dann jeweils eine errechnete Wassermenge mit einer definierten Eisenkonzentration übergeben. Dabei werden die Zuflüsse innerhalb der Bilanzzelle berücksichtigt. Entnahmen sind in dem betrachteten Fließgewässerabschnitt nicht zu berücksichtigen.

Die Eisenkonzentrationen des zuströmenden Grundwassers wurden entsprechend Abschnitt 6.4 als konstant angenommen. Für die Wasserbeschaffenheit des Grundwassers existieren in den relevanten unterirdischen Einzugsgebieten keine langjährigen Datenreihen.

6.6 Kalibrierung des Bilanzmodells

6.6.1 Ausweisung der Grundwasservolumenströme in die Pleiße

Die mit dem HGMS ausgewiesenen Grundwasserzutritte in die Pleiße sind für den Ist-Zustand (Kalibrierszenario) differenziert nach Zustromrichtung in Tabelle 4 dargestellt. Aufgezeigt sind zudem die prozentuale Verteilung zwischen dem links- und rechtsseitigen Zustrom sowie der Gesamtzustrom je Bilanzabschnitt.

Tabelle 4: Grundwasserzutritte zur Pleiße [m³/min] je Bilanzabschnitt und Zustromrichtung - Kalibrierszenario

Bilanzgebiet			Kalibrierszenario (Ist-Zustand)		
Bilanz-abschnitt	Zustromseite	GWL	Q_{GW} [m³/min]	%	$\sum Q_{GW}$ [m³/min]
I	links	direkt Kippe	0,325	66	0,495
	rechts	direkt Kippe	0,170	34	
II	links	Gewachsenes	0,122	49	0,247
	rechts	indirekt Kippe	0,125	51	
III	links	Gewachsenes	0,147	62	0,237
	rechts	indirekt Kippe	0,090	38	
IV	links	Gewachsenes	0,250	90	0,278
	rechts	indirekt Kippe	0,028	10	
V	links	Gewachsenes	0,088	39	0,228
	rechts	indirekt Kippe	0,140	61	

Mit 0,5 m³/min erhält die Pleiße über die direkt angrenzenden Kippenkomplexe im Bilanzabschnitt I den höchsten grundwasserbürtigen Zustrom. In den flussabwärts gelegenen Bilanzabschnitten liegen die Gesamtzuströme zwischen ca. 0,23 bis 0,28 m³/min. Die Pleiße erhält hier linksseitig ihren Zustrom aus den gewachsenen Grundwasserleitern. Rechtsseitig erhält sie indirekten Kippenzufluss über einen schmalen gewachsenen Landpfeiler.

6.6.2 Berechnungen mit dem Bilanzmodell

Die Kalibrierung des Bilanzmodells erfolgte anhand der vorhandenen Messwerte aus dem Pleißemonitoring im Zeitraum 2014 bis 2017 für verschiedene Kalibrierszenarien. Die unter Abschnitt 6.6.1 ausgewiesenen Grundwasserzuflüsse zur Pleiße sowie die entsprechend Abschnitt 6.4 ausgewiesenen Eisen-gesamt-Konzentrationen waren dabei konstant.
Für die Zuflüsse aus der GWRA Schleenhain sowie vom Ableiter des Hainer- und Kahnsdorfer Sees wurden die Messwerte für den jeweiligen Zeitpunkt verwendet.

Für die Kalibrierung wurden folgende exemplarisch ausgewählten Messreihen verwendet.

- 03.05.2016 mit 3,11 m³/s (am Zusammenfluss von Wyhra und Pleiße)
- 13.10.2016 mit 2,84 m³/s
- 13.11.2014 mit 3,13 m³/s

- 17.12.2017 mit 4,53 m³/s
- 01.03.2016 mit 5,11 m³/s
- 09.02.2017 mit 8,18 m³/s

Dabei wurden Messreihen mit unterschiedlichen Abflüssen in der Pleiße berücksichtigt. Der oberstromige Zufluss ins Modellgebiet ergab sich dabei aus den jeweiligen Messwerten. Der Abfluss am unteren Modellrand ergab sich dann aus dem Modellinput und der Summe der Grundwasser- und sonstigen Zuflüsse.

Mit den verschiedenen Kalibrierläufen wurde die Größe der Eisensedimentation als Restglied angepasst, bis sich eine möglichst gute Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Eisen-gesamt-Konzentrationen ergab. Die Festlegung der Eisensedimentation erfolgte jeweils für alle Messreihen gleich.
Dabei wurden für die Vergleichswerte aus der Messreihe der Eisenkonzentration im Zeitraum 2014 bis 2017 für jede Flusswassermessstelle (PL6 bis PL10A) funktionale Abhängigkeiten zwischen Abfluss in der Pleiße und der jeweiligen Eisenkonzentration erstellt. Damit konnten die Schwankungen der Messwerte ausgeglichen werden. Diese Schwankungen sind hauptsächlich mit der Konzentrationsverteilung im Fluss verbunden.

Die Ergebnisse der Modellkalibrierung sind in Anhang 1 beigefügt. Dabei zeigt sich für alle untersuchten Messreihen eine gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit den Messwerten sowohl für die Eisenkonzentrationen in der Pleiße, als auch für die errechneten Pleißeabflüsse am Kontrollquerschnitt (PL10A).

Tabelle 5: Ergebnis des Kalibrierszenarios vom 03.05.2016 bei einem Abfluss in der Pleiße (PL4/5) von 3,11 m³/s

Bilanz-zelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Misch-konzentration in mg/l	Kontrollwert Eisen
			links	rechts			links	rechts						03.05.2016
	0	3,11											0,79	
I			0,32	0,17			1400	2200			23,0%	3,72		
	1 / PL6	3,12											3,99	3,85
II			0,12	0,12	0,583		16	1200	0,93		20,0%	3,08		
	2 / PL7	3,71											3,33	3,24
III			0,15	0,09			16	300			12,0%	1,54		
	3 / PL8	3,71											3,04	3,00
IV			0,25	0,03			6	260			0,0%	0,00		
	4 / PL9	3,71											3,08	3,13
V			0,09	0,14		10,5	6	260		0,5				
	5 / PL10A	3,89											3,12	3,38

7 Berechnungen zum Referenzszenario

7.1 Ausweisung der Grundwasservolumenströme in die Pleiße - Nullvariante

In Tabelle 4 sind für die Nullvariante (Zustand verbleibt unverändert) in dem stationären Strömungszustand (Referenzszenario im Jahr 2150) die mit dem HGMS ausgewiesenen Grundwasserzutritte zur Pleiße differenziert nach Zustromrichtung dargestellt. Aufgezeigt sind zudem die prozentuale Verteilung zwischen dem links- und rechtsseitigen Zustrom sowie der Gesamtzustrom je Bilanzabschnitt.

Tabelle 6: Grundwasserzutritte zur Pleiße [m³/min] je Bilanzabschnitt und Zustromrichtung – Referenzszenario

Bilanzgebiet			stationärer Strömungszustand - 2150		
Bilanz-abschnitt	Zustromseite	GWL	Q_{GW} [m³/min]	*%*	$\sum Q_{GW}$ [m³/min]
I	links	direkt Kippe	0,424	*69*	0,615
	rechts	direkt Kippe	0,191	*31*	
II	links	Gewachsenes	0,567	*85*	0,670
	rechts	indirekt Kippe	0,103	*15*	
III	links	Gewachsenes	0,410	*82*	0,502
	rechts	indirekt Kippe	0,092	*18*	
IV	links	Gewachsenes	0,316	*92*	0,344
	rechts	indirekt Kippe	0,028	*8*	
V	links	Gewachsenes	0,090	*39*	0,233
	rechts	indirekt Kippe	0,143	*61*	

Im stationären Strömungszustand kommt es nach Abschluss der Bergbautätigkeiten und erfolgtem Grundwasserwiederanstieg zu einer Erweiterung des Pleißeeinzugsgebietes (vgl. Abbildung 5 a) und b). Damit einhergehend kommt es zu einer Erhöhung der Grundwasserzutritte in die Pleiße. Deutlich bemerkbar macht sich dies in den Pleißeabschnitten II bis IV, welche im Ist-Zustand aufgrund der Bergbautätigkeiten deutlich verringerten Grundwasserzuströme aufweisen (siehe Tabelle 6). In Bilanzabschnitt II erhöht sich bis zum stationären Strömungszustand der Grundwasserzustrom deutlich von 0,25 m³/min auf 0,67 m³/min, in Abschnitt III von 0,24 m³/min auf 0,50 m³/min. Eine leichte Erhöhung von 0,28 m³/min auf 0,34 m³/min ist auch in Abschnitt IV zu beobachten. Der linksseitige Zustrom aus den gewachsenen Grundwasserleitern dominiert gegenüber dem rechtsseitigen Zustrom aus den hydraulisch gering leitenden Kippenkomplexen. Mit dem einhergegangenen Grundwasserwiederanstieg erhöht sich der Zustrom zur Pleiße in Bilanzabschnitt I auf 0,61 m³/min. Konstante Grundwasserzuströme sind in Bilanzabschnitt V zu beobachten, welcher außerhalb der Reichweite der Bergbauaktivität liegt.

7.2 Berechnung des Referenzszenarios mit dem Bilanzmodell

Das Referenzszenario auf Basis der Nullvariante (Zustand verbleibt unverändert) ergibt sich aus dem Ergebnis der Kalibrierung und den für den stationären Endzustand (2150) ausgewiesenen (erhöhten) Grundwasserzuströmen.
Um einen direkten Vergleich zwischen Kalibrier- und Referenzszenario zu ermöglichen wurde das Referenzszenario für einen Abfluss in der Pleiße von 3,37 m³/s gerechnet. Damit ist es mit dem Kalibrierszenario vom 03.05.2016 direkt vergleichbar. Die Eisensedimentation wurde

bei allen Berechnungen entsprechend der in der Kalibrierung festgelegten Größen konstant gehalten. Die Einleitung von gereinigtem Wasser aus der Wasserbehandlungsanlage der MIBRAG, das insbesondere bei niedrigen Pleiße-Abflüssen zu einer Verdünnung geführt hat, ist zu diesem Zeitpunkt nicht mehr existent. Dies wurde in der vorliegenden Berechnung berücksichtigt.

Im Ergebnis der Berechnungen zeigt sich gegenüber dem Kalibrierszenario eine signifikante Erhöhung der Eisenkonzentration am Kontrollquerschnitt von 3,12 mg/l auf 4,03 mg/l und damit auch der Eisenfracht von 43,7kg/d auf 48,1 kg/d. Dies ist einerseits in den höherem Grundwasserzustrom, bei gleicher Eisen-Konzentration im Grundwasser (Annahme siehe Abschnitt 6.1) und andererseits in der fehlenden Verdünnung durch die Einleitung von gereinigtem Wasser aus der Wasserbehandlungsanlage der MIBRAG begründet.

Tabelle 7: Ergebnis des Referenzszenarios bei einem Abfluss in der Pleiße (PL10A) von 3,32 m³/s

Bilanzzelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Misch-konzentration in mg/l
			links	rechts	entfällt		links	rechts	entfällt				
	0	3,11											0,84
I			0,42	0,19			1400	2200			23,0%	4,46	
	1 / PL6	3,12											4,78
II			0,57	0,1	0		16	1200			20,0%	3,41	
	2 / PL7	3,13											4,36
III			0,41	0,09			16	300			12,0%	1,71	
	3 / PL8	3,14											3,98
IV			0,32	0,03			6	260			0,0%	0,00	
	4 / PL9	3,15											4,03
V			0,09	0,14		10	6	260		0,5			
	5 / PL10A	3,32											4,03

8 Berechnung der Einzelmaßnahme 12.2 - Abdichtung der Pleiße

8.1 Beschreibung der hydraulischen Wirkungsweise

Im Zusammenhang mit der Erschließung des Tagebaus Witznitz II wurde die Pleiße umverlegt. Das neue Pleißebett wurde damals als Doppel-Trapez-Profil angelegt. In diesem Zusammenhang erfolgte auch teilweise Abdichtung des Pleißebetts. Über die Art und Weise der bestehenden Abdichtung liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor. Der mit dem Pleißemonitoring nachgewiesene Zustrom von eisenhaltigem Grundwasser im Bereich der Kippe Witznitz zeigt, dass die bestehende Abdichtung nicht mehr vollständig wirksam und damit unzureichend ist. In der nachfolgenden Abbildung 10 ist die aktuelle hydraulische Situation am Referenzprofil (Schnitt A-A siehe Abbildung 4) dargestellt.

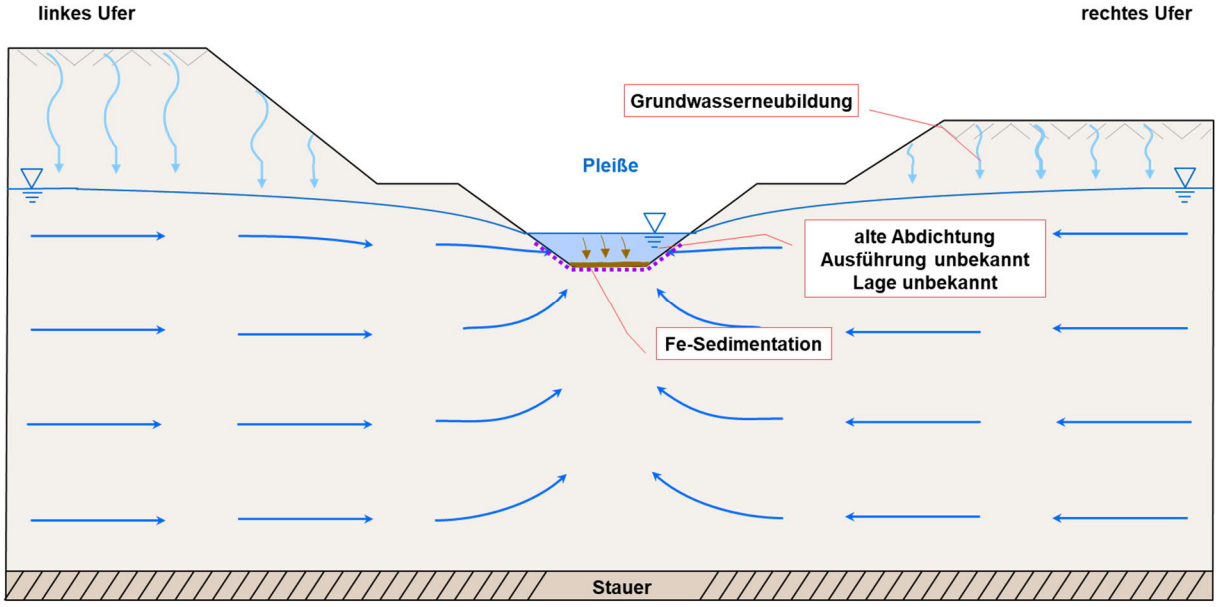


Abbildung 10: Schema zur Darstellung der aktuellen hydraulischen Situation an Referenzprofil der Pleiße

Aus diesem Grund wird mit der Maßnahme 1.12 die Abdichtung des Pleißebetts in den Bilanzabschnitte I bis IV. In Bilanzabschnitt I erfolgt die Abdichtung beidseitig, in den Abschnitten II bis IV rechtsseitig (Kippenzustromseite). Das hiermit betrachtete Vorhaben sieht die Einbringung von Bentonitmatten in die Böschung bis zum Hochwasserprofil vor. Die endgültige Böschungssicherung erfolgt anschließend durch eine entsprechende Lage mit Wasserbausteinen. Die Herstellung eines Betongerinnes mit vollständiger Dichtwirkung ist damit nicht vorgesehen.
Durch die eingebrachte Bentonitmatte wird die hydraulische Durchlässigkeit an der Grenzfläche zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser um mehrere Größenordnungen verringert. Damit verringert sich zwangsläufig der Zustrom von Grundwasser in die Pleiße. Die hydraulische Wirkungsweise ist in Abbildung 11 am Referenzprofil schematisch dargestellt.

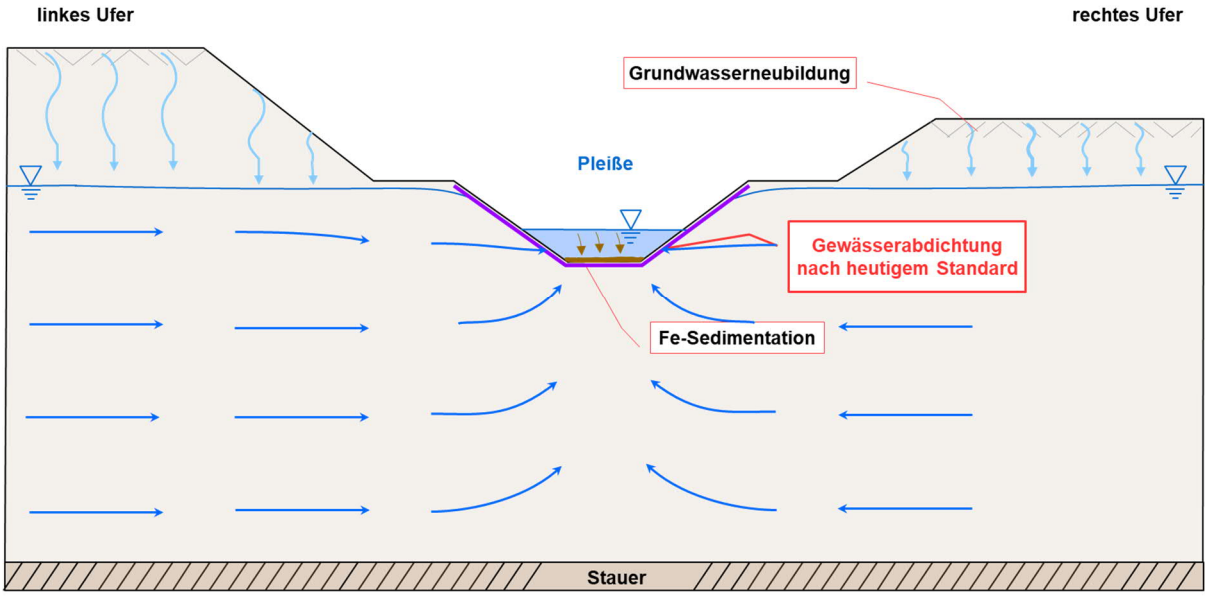


Abbildung 11: Schema zur Darstellung der hydraulischen Wirkungsweise der Maßnahme 1.12 - Pleißeabdichtung am Referenzprofil

8.2 Implementierung der Abdichtung im HGMS

Im HGMS (Kalibrier- und Referenzszenario) ist die Pleiße im betrachteten Abschnitt als Randbedingung Fluss mit folgenden Parametern belegt:

- hydraulische Durchlässigkeit: $1*10^{-8}$ m/s
- Dicke der Schicht: 0,4 m
- Wirksame Breite: 20 m

Um eine Verminderung des Grundwasserzustroms in Richtung Pleiße ausgehend von den Kippenarealen zu erreichen, wird modellseitig eine Abdichtung bis zur Böschungsoberkante integriert. Die Umsetzung der Böschungsabdichtung erfolgt zusätzlich zur Fließgewässer-randbedingung als Randbedingung 3. Art. Die Abdichtung wird in den Bilanzabschnitten I bis IV integriert – in Bilanzabschnitt I erfolgt die Abdichtung beidseitig, in den Abschnitten II bis IV rechtsseitig (Kippenzustromseite). Die Parametrisierung wird in Abstimmung mit dem AG wie folgt umgesetzt:

- hydraulische Durchlässigkeit: $1*10^{-10}$ m /s
- Dicke der Schicht: 0,1 m

Der linksseitige gewachsene Zustrom in die Pleiße in den Abschnitten II bis IV wird weiterhin über Böschungsaustritte ermöglicht.

8.3 Ausweisung der Grundwasservolumenströme in die Pleiße

In der Variante 1.12 (Abdichtung der Pleiße) erfolgte die Ausweisung der Grundwasserzuflüsse in die Pleiße unter Berücksichtigung einer Abdichtung der Kippenböschungen. Die Abdichtungen in den Abschnitten I bis IV bewirken eine deutliche Reduktion des Grundwasserzustroms in die Pleiße. Tabelle 8 zeigt die Grundwasservolumenströme im Ergebnis der Maßnahme 1.12 im Vergleich zum Referenzszenario. Ausgewertet wurden die Volumenströme, die der Randbedingung Pleiße zuströmen (Q_{GW}) sowie die Grundwasservolumenströme, welche noch durch die abgedichtete Böschung drücken und zusätzlich der Pleiße zuströmen ($Q_{GW\ /\ Böschung}$). Die Randbedingung, welche die Böschungsabdichtung im Modell abbildet, wurde entlang der Kippenzustromseiten implementiert. Die grundwasserseitigen Volumenströme, welche der Pleiße zusätzlich über die Böschungsabdichtung zuströmen („Wasser drückt durch“ gelangt als Sickerwasser in die Pleiße), sind in der unterstehenden Tabelle als $Q_{GW\ /\ Böschung}$ angegeben. Der Volumenstrom $Q_{GW\ /\ Böschung}$ wird damit nur für die Kippenzustromseiten ausgewiesen und zum grundwasserbürtigen Volumenstrom in Richtung Pleiße (Q_{GW}) hinzugerechnet ($\sum Q_{GW}$).

In den Abschnitten I bis IV wird der Grundwasservolumenstrom in die Pleiße durch die Abdichtungsmaßnahmen um ca. 80 bis 90 % reduziert, auf ca. 0,03 bis 0,13 m³/min pro Bilanzabschnitt. Eine leichte Erhöhung des grundwasserbürtigen Zustroms zur Pleiße von 0,23 m³/min auf 0,27 m³/min ist in Bilanzabschnitt V aufgrund der veränderten Strömungsverhältnisse zu beobachten.

Tabelle 8: Grundwasserzutritte zur Pleiße [m³/min] je Bilanzabschnitt und Zustromrichtung – Variante 1.12 (Abdichtung Pleiße) im Vgl. zum Referenzszenario

Bilanzabschnitte		Maßnahme 1.12			Referenzszenario	
Bilanz-abschnitt	Zustromseite	Q_{GW} [m³/min]	$Q_{GW\ /\ Böschung}$ [m³/min]	$\sum Q_{GW}$ [m³/min]	Q_{GW} [m³/min]	$\sum Q_{GW}$ [m³/min]
I	links	0,025	0,076	0,124	0,424	0,615
	rechts		0,023		0,191	
II	links	0,102	-	0,134	0,567	0,670
	rechts		0,032		0,103	
III	links	0,059	-	0,066	0,410	0,502
	rechts		0,007		0,092	
IV	links	0,024	-	0,026	0,316	0,344
	rechts		0,002		0,028	
V	links	0,266	-	0,266	0,090	0,233
	rechts		-		0,143	

8.4 Ergebnis des Bilanzmodells

Die Berechnungen zu der untersuchten Maßnahme basiert auf dem Referenzszenario und betrachten damit den stationären Endzustand. Dabei sind die Eiseneinträge bedingt durch die erhöhten Grundwasserzuflüsse gegenüber dem aktuellen Stand erhöht.

Die Einleitung des gereinigten Wassers aus der GWRA Schleenhain in der Größenordnung von 1 m³/s bei mittleren Eisenkonzentrationen von 1,5 mg/l, und damit eine gerade bei Niedrigwasser relevante Verdünnung erfolgt zu diesem Zeitpunkt auch nicht mehr. Dieser Bilanzgröße wurde demzufolge im Modell zu Null gesetzt.

Die vorliegenden Ergebnisse spiegeln damit den ungünstigsten Berechnungsfall wieder.

Die Berechnung wurde für folgende Abflüsse in der Pleiße durchgeführt:

- Niedrigwasser mit 3 m³/s – Abflussklasse I (oben)
- Mittelwasser mit 6 m³/s – Abflussklasse II (oben)
- Hochwasser mit 10 m³/s – Abflussklasse IV (unten)

Bei Niedrigwasser wird entsprechend Tabelle 9 in der vorliegenden Berechnung am Referenzprofil (PL10A) eine Eisen-gesamt-Konzentration von 1,73 mg/l ausgewiesen. Bei dem Referenzszenario und vergleichbarem Abfluss von 3,11 m³/s (im Zustrom aus PL4/5) wurden entsprechend Tabelle 7 eine Eisen-gesamt-Konzentration von 4,03 mg/l ausgewiesen. Mit zunehmender Verdünnung verringert sich die Eisen-gesamt-Konzentration auf 1,25 mg/l (bei 6 m³/s) bzw.0,97 mg/l (bei 10 m³/s).

Damit wird mit der betrachteten Maßnahme 1.12 die in Abschnitt 4 definierte Zielfunktion einer mittleren Eisenkonzentration von < 1,8 mg/l erreicht.

Tabelle 9: Ergebnis des Modellszenarios 12.2 bei einem Abfluss in der Pleiße (PL10A) von 3,0 m³/s

Bilanzzelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min			Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Misch-konzentration in mg/l
			links	rechts	Sohle	entfällt		links	rechts	entfällt				
	0	3,11												0,84
I			0,076	0,023	0,025			1400	2200			23,0%	1,37	
	1 / PL6	3,11												1,48
II			0	0,032	0,102	0		16	1200			20,0%	1,26	
	2 / PL7	3,11												1,61
III			0	0,07	0,059			16	300			12,0%	0,66	
	3 / PL8	3,11												1,56
IV			0	0,02	0,024			6	260			0,0%	0,00	
	4 / PL9	3,11												1,61
V			0	0	0,266		10	6	260		0,5			
	5 / PL10A	3,28												1,73

Mit dem durch die betrachtete Maßnahme verringerten Eisenzustrom in die Pleiße verringert sich auch die Eisenfracht am Referenzprofil von 48 kg/d bezogen auf das Referenzszenario auf 20,4 kg/d bei einem Abfluss von 3 m³/s.

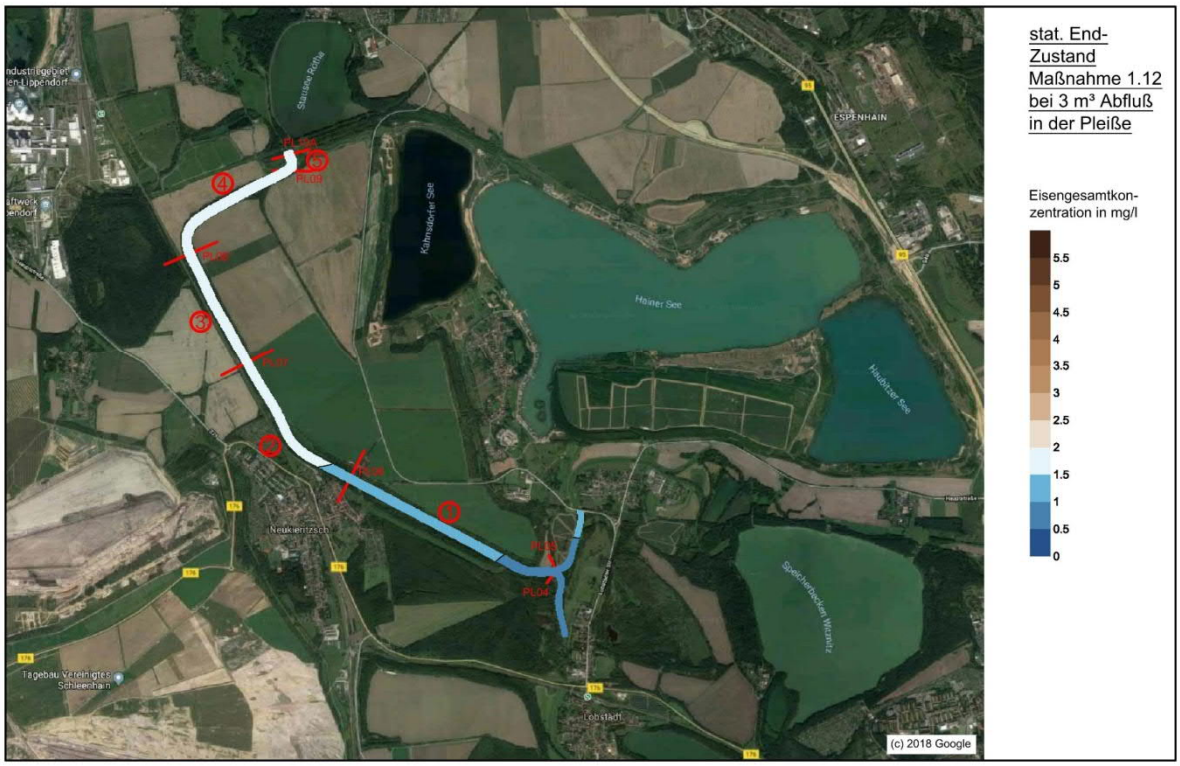
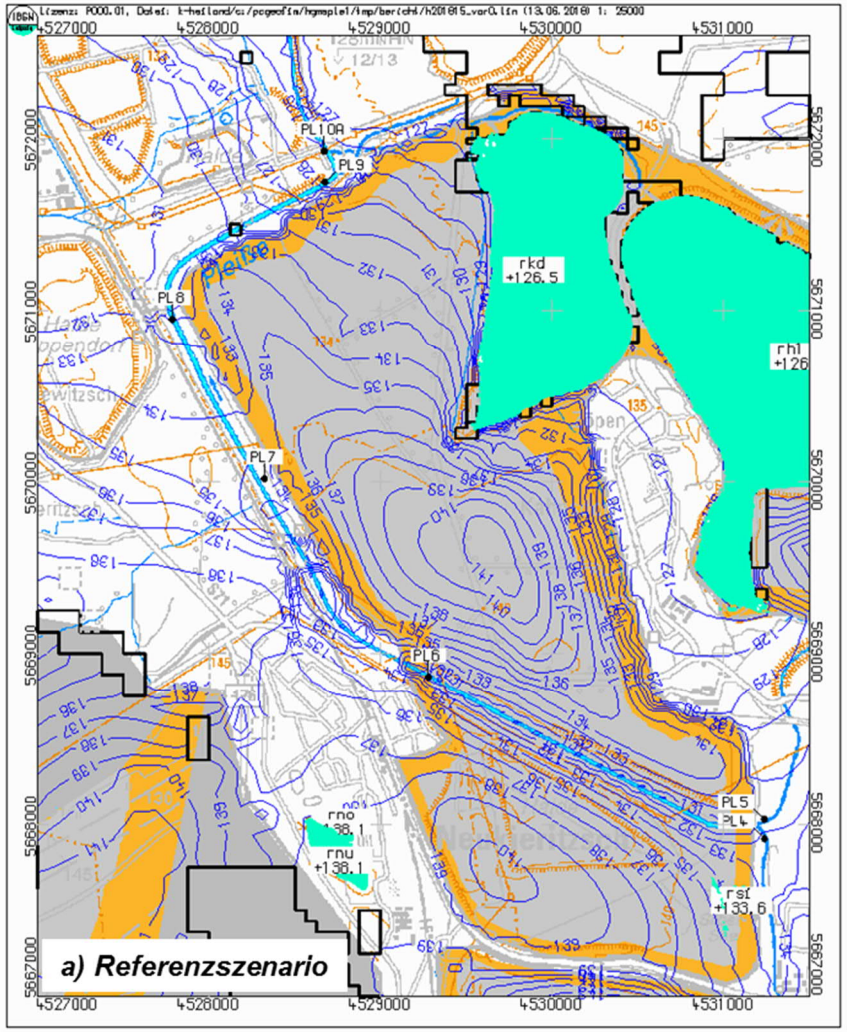


Abbildung 12: Ergebnis des Modellszenarios 12.2 bei einem Abfluss in der Pleiße (PL10A) von 3,0 m³/s

8.5 Auswirkungen auf die Grundwasserströmungsverhältnisse – HGMS

Eine Abdichtung der Kippenböschungen im Umfeld der Pleiße, wie sie in der Maßnahme 1.12 umgesetzt wurde, verursacht eine deutliche Erhöhung der Grundwasserstände. Die Veränderungen sind anhand der in Abbildung 13 a) und b) dargestellten Hydroisohypsenpläne nachzuvollziehen. Die Grundwasserhochlage nördlich der Kippenquerung erhöht sich im Vergleich zum Referenzszenario von ca. +141 m NHN auf ca. +144 m NHN. Südlich der Pleißequerung erhöhen sich die maximalen, berechneten Grundwasserstände in der Kippe ebenfalls um ca. 3 m von +140 m NHN auf +143 m NHN. Deutliche Veränderungen im Grundwasserströmungsregime ergeben sich nicht. Die Böschungsabdichtungen bewirken aufgrund der schlechten hydraulischen Leitfähigkeit der Kippenkörper vielmehr einen Grundwasseraufstau im unmittelbaren Umfeld der Abdichtungen. Die Reichweiten sind gering.



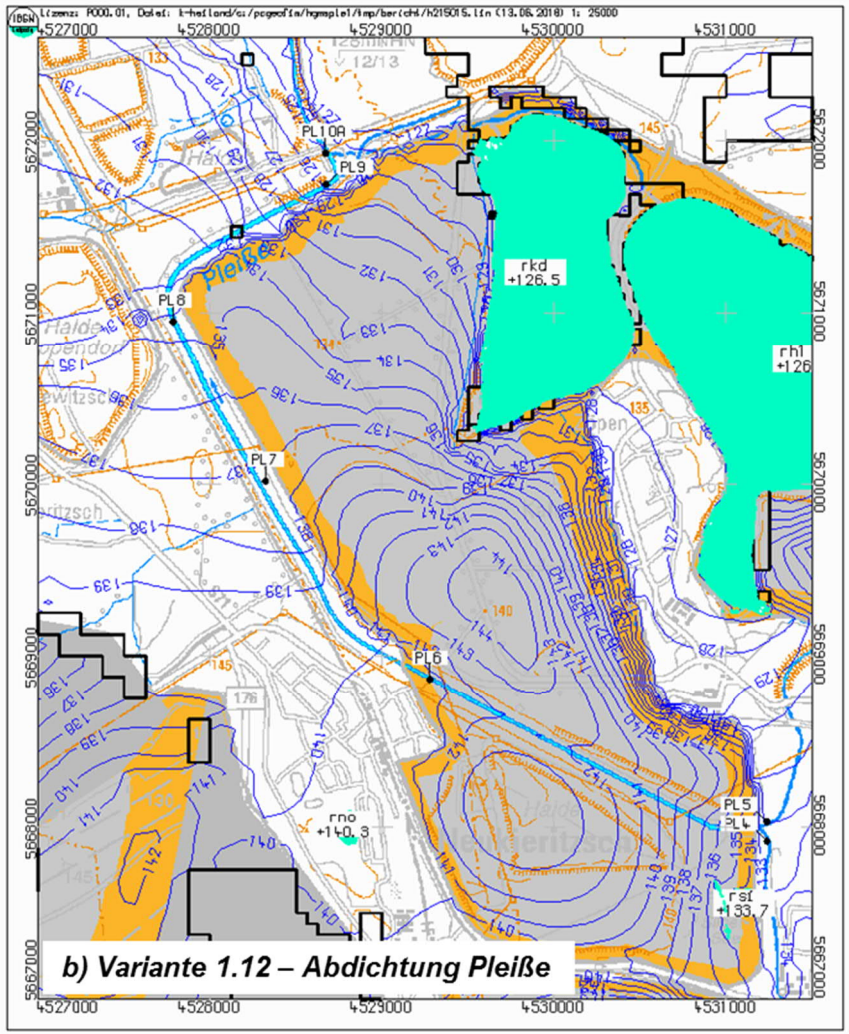


Abb. 13 a

Abb. 13 b

Abbildung 13: Hydroisohypsen des oberen Hangendgrundwasserleiters (GWL 1.5/1.6/1.1+Kippe) für a) Referenzszenario und b) Maßnahme 1.12 im stationären Strömungszustand

Die Auswirkungen der Abdichtungsmaßnahmen in Maßnahme 1.12 sind anhand der Hydrodifferenz zum Referenzszenario in Abbildung 14 nachvollziehbar. Es ist ein deutlicher Grundwasseraufstau insbesondere im Bereich der Kippenquerung im Bilanzabschnitt I zu beobachten. Hier steigen die Grundwasserstände unmittelbar hinter den Böschungsabdichtungen um +10 m und verursachen einen hohen hydraulischen Druck auf die Kippenabdichtung. Die Reichweite ist im Bereich der schlecht durchlässigen Kippenkörper gering. Erhöhte Grundwasserströme in Richtung Kahnsdorfer See oder Hainer See werden nicht berechnet. In westliche Richtung zeigt sich aufgrund der besser durchlässigen gewachsenen Grundwasserleiter eine vergrößerte Reichweite. Hier reicht der Beeinflussungsbereich der Maßnahme bis in das Tagebauareal Schleenhain hinein.

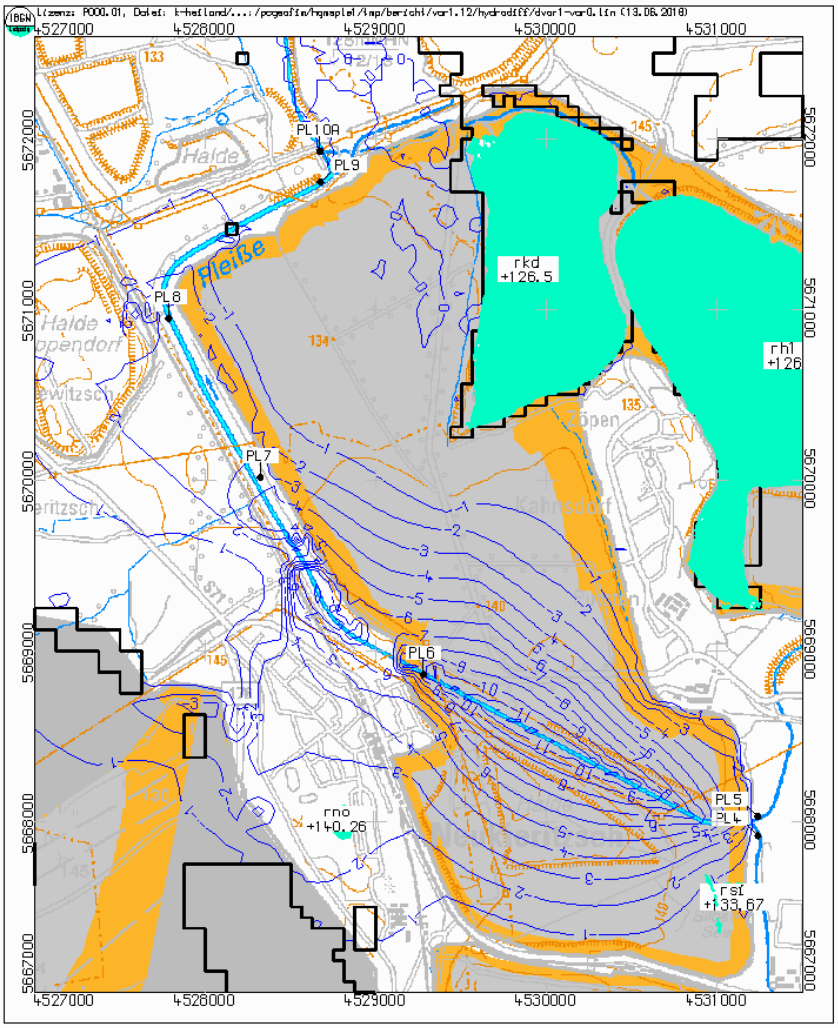


Abbildung 14: Hydrodifferenzen Maßnahme 1.12 / Referenzszenario – oberer Hangendgrundwasserleiter (GWL 1.5/1.6/1.1+Kippe) im stationären Strömungszustand

In Abbildung 15 sind die Grundwasserflurabstände zum oberen Hangendgrundwasserleiter für a) den Referenzzustand und b) der Maßnahme 1.12 (Abdichtung Pleiße) dargestellt. Die Böschungsabdichtungen bewirken innerhalb der Beeinflussungsreichweite eine Verringerung der Grundwasserflurabstände. In unmittelbarer Nähe zur Pleiße vergrößern sich die Areale, in denen es zu Sättigungswasseraustritten kommen kann. Flurnahe Bereiche bilden sich in der Ortslage Neukieritzsch aus und vergrößern sich im Bereich der Kippen. Westlich der OWMST PL7 bilden sich ebenfalls flurnahe Bereich aus.

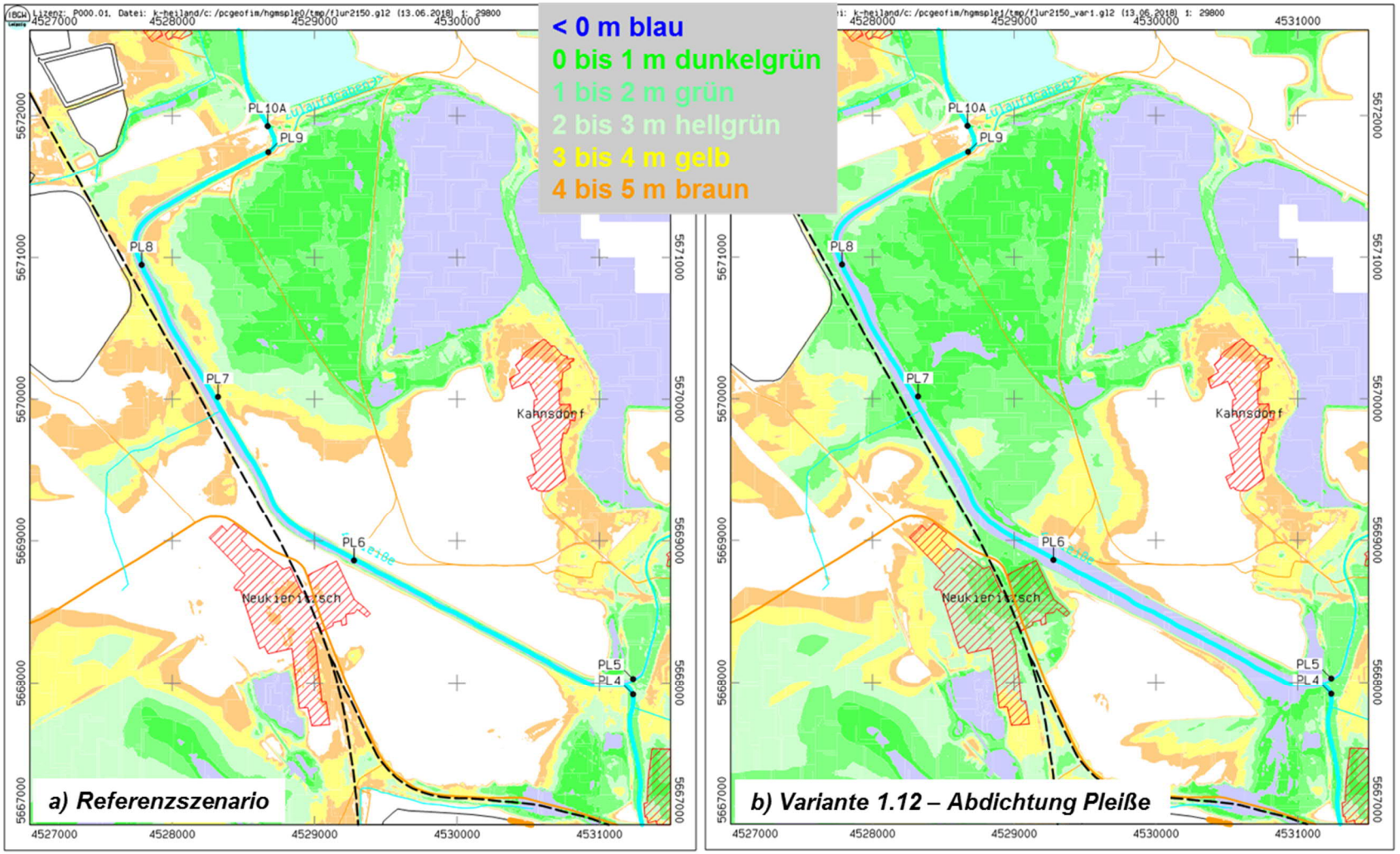


Abb. 15 a *Ab. 15 b*

Abbildung 15: Grundwasserflurabstände zum oberen Hangendgrundwasserleiter (GWL 1.5/1.6/1.1+Kippe) für a) Referenzszenario und b) Maßnahme 1.12 – Abdichtung Pleiße im stationären Strömungszustand

9 Zusammenfassung, Ausblick

Die Pleiße, ein Fließgewässer I. Ordnung, quert auf einer Länge von ca. 900 m in einem künstlich angelegten Bett das Kippengelände des ehemaligen Tagebaus. Bedingt durch die grundwasserbeeinflussten geochemischen Prozesse in der Kippe sowie dem daraus folgendem eisenhaltigem Grundwasserwiederanstieg mit Exfiltration in die Pleiße ist ein erheblicher Eiseneintrag in das Fließgewässer festzustellen. Der Eiseneintrag führt zu einer starken Braunfärbung der Pleiße. Ein großer Anteil des eingetragenen Eisens sedimentiert als Eisenschlamm im Gewässerbett der Pleiße. Dieser Prozess führt zur Beeinträchtigung von Gewässerorganismen und zur Verminderung der Artenvielfalt.
Auf der Grundlage der Sanierungsverpflichtung der LMBV hat der Vorhabensträger eine Vielzahl an Maßnahmen entwickelt, welche möglicherweise zu einer Minderung des Eiseneintrages in die Pleiße beitragen könnten. Mit dem vorliegenden Bericht wird eine Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Eisenbelastung der Pleiße dokumentiert. Diese Abschätzung erfolgte auf Grundlage eines vereinfachten Konzentrationsmodells entlang des hydraulischen Längsschnittes der Pleiße sowie der vorhandene Messdaten zur Eisenkonzentration entlang der Pleiße im Untersuchungsgebiet zwischen Wyhra-Mündung und Trachenauer Wehr.
Die Maßnahmen zur Reduzierung der Eisenfracht in der Pleiße dienen zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes der Pleiße, der sich gemäß Oberflächengewässerverordnung (OGewV) an einem Jahresmittelwert der Eisen-gesamt-Konzentration von 1,8 mg/l orientiert. Insofern wurde in Abstimmung mit allen Projektbeteiligten präventiv als Zielfunktion ein Jahresmittelwert der Eisen-gesamt-Konzentration im Unterlauf des Trachenauer Wehres von 1,8 mg/l definiert.
Das im Rahmen des vorliegenden Projektes entwickelte Modellwerkzeug ermöglicht auf Grundlage eines einheitlichen Verfahrens eine objektive Bewertung der betrachteten Maßnahmen in Bezug auf die Erreichung o.g. Zielfunktion. Kernstück dieses Modellwerkzeuges ist ein vereinfachtes Bilanzmodell (Modellannahmen siehe Abschnitt 6.1) für den untersuchten Pleißeabschnitt bezogen auf Wassermenge und Eisenfracht, wobei folgende wesentliche Bilanzgrößen berücksichtigt werden:

- Wassermenge und Eisen-gesamt-Konzentration im Oberlauf der Pleiße und der Wyhra (Oberflächengewässer)
- Wassermenge und Eisen-gesamt-Konzentration, die aus dem Grundwasser in die Pleiße strömt
- Wassermenge und Eisen-gesamt-Konzentration aus sonstigen Zuflüssen (Einleitung aus der GRWA Schleenhein, Ableiter aus dem Hainer- und Kahnsdorfer See)
- Sedimentation von Eisenhydroxidpartikeln im Fließgewässerabschnitt

Die Kalibrierung des Bilanzmodells erfolgte auf Grundlage der mit dem HGMS ermittelten Grundwasserzuflüsse in die jeweiligen Gewässerabschnitte (Bilanzbereiche) und anhand der vorhandenen Messwerte aus dem Pleißemonitoring im Zeitraum 2014 bis 2017. Die Kalibrierung erfolgte für verschiedene Kalibrierszenarien. Mit den verschiedenen Kalibrierläufen wurde die Größe der Eisensedimentation als Restglied angepasst, bis sich eine möglichst gute Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Eisen-gesamt-Konzentrationen ergab. Die Festlegung der Eisensedimentation erfolgte jeweils für alle Messreihen gleich.
Das Referenzszenario auf Basis der Nullvariante ergibt sich aus dem Ergebnis der Kalibrierung und den für den stationären Endzustand (2150) ausgewiesenen (erhöhten) Grundwasserzuströmen. Um einen direkten Vergleich zwischen Kalibrier- und Referenzszenario zu ermöglichen, wurde das Referenzszenario für einen Abfluss in der Pleiße

von 3,37 m³/s gerechnet. Damit ist es mit dem Kalibrierszenario vom 03.05.2016 direkt vergleichbar. Im Anschluss erfolgte die Berechnung für die Einzelmaßnahme 1.12 – Abdichtung der Pleiße für den stationären Strömungszustand (im Jahr 2150), damit die Ergebnisse wiederum direkt mit dem Referenzszenario vergleichbar sind.
Das im Ergebnis der vorliegenden Bearbeitung entwickelte Modellwerkzeug zur Wirksamkeitsprüfung weist für alle betrachteten Kalibrierszenarien auch bei unterschiedlichen Abflüssen in der Pleiße konsistente und plausible Ergebnisse auf. Es ist flexibel und beliebig erweiterbar. Die Berechnungen erfolgen auf Grundlage der vorhandenen Messdaten in Bezug auf Güte und Durchfluss in der Pleiße sowie im Grundwasser. Die aktuellen Ergebnisse aus dem HGMS sind ebenfalls Grundlage der vorliegenden Berechnung.
Im Ergebnis der Berechnungen für das Referenzszenario (2150) zeigt sich gegenüber dem Kalibrierszenario (aktueller Zustand) eine signifikante Erhöhung der Eisenkonzentration am Kontrollquerschnitt von 3,12 mg/l auf 4,03 mg/l und damit auch der Eisenfracht von 43,7 kg/d auf 48,1 kg/d. Bei gleicher Eisen-Konzentration im Grundwasser (Annahme siehe Abschnitt 6.1) ist dies einerseits in dem um ca. 1 m³/min höheren Grundwasserzustrom im stationären Endzustand (siehe Abschnitt 6.3.1) und andererseits in der fehlenden Verdünnung durch die Einleitung von gereinigtem Wasser aus der Wasserbehandlungsanlage der MIBRAG begründet. Auf Grund der mit der Abdichtung bewirkten deutlich geringeren Vorflutwirkung der Pleiße ist in einigen Bereichen mit sich einstellenden flurnahen Grundwasserständen zu rechnen (siehe Abb. 15a).
Die modellbasierte Wirksamkeitsüberprüfung ist für die Maßnahme 1.12 mit positivem Ergebnis abgeschlossen. Bei Niedrigwasser wird für den stationären Endzustand im Referenzprofil (PL10A) eine Eisen-gesamt-Konzentration von 1,73 mg/l ausgewiesen. Mit zunehmender Verdünnung verringert sich die Eisen-gesamt-Konzentration auf 1,25 mg/l (bei 6 m³/s) bzw.0,97 mg/l. Damit wird mit der betrachteten Maßnahme 1.12 (Abdichtung des Pleißebetts) die in Abschnitt 4 definierte Zielfunktion einer mittleren Eisenkonzentration von < 1,8 mg/l erreicht.
Das Modell zur Wirksamkeitsprüfung ist zur Bewertung verschiedener Varianten geeignet, sofern für die jeweilige Maßnahme gesicherte Erkenntnisse über die Effekte der betrachteten Maßnahme vorliegen. Es bildet die Grundlage für ein auf natur-wissenschaftlichen und wasserwirtschaftlichen Grundlagen basierendes Prüfverfahren und gewährt eine einheitliche und objektive Bewertung verschiedener Maßnahmen zur Fe-Reduktion in der Pleiße.
Die Ergebnisse der Modellberechnungen können sehr gut visualisiert werden, sodass ohne umfangreiche Erläuterung erkannt werden kann, ob die Zielfunktion mit der jeweiligen Maßnahme erreicht wurde oder nicht.
Die Ergebnisse der Modellberechnungen beinhalten weiterhin belastbare und zur Entscheidungsfindung nicht unwesentliche Aussagen zu den Auswirkungen der jeweiligen Maßnahme auf andere Schutzgüter (z.B. Grundwasser – gem. Abschnitt 8.5).
Zur Bewertung verschiedener Maßnahmen der Fe-Reduktion der Pleiße liegt ein geeignetes Werkzeug vor.

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Thomas Drechsler – iKD
Dr.-Ing. Uli Uhlig – GIP
Dr. Maria Blumstock - GIP
Prof. Dr.-Ing. Holger Mansel – IBGW
Dipl.-Geoökol. Karin Heiland – IBGW

Aufgestellt:

iKD Ingenieur-Consult GmbH

Dresden, 10.12.2018

Anlage 1

Kalibrierszenarien des Bilanzmodells für den Ist-Zustand (2014 bis 2017)

Anlage 1 - Kalibrierszenarien des Bilanzmodells für den Ist-Zustand (2014 bis 2017)
03.05.2016

Bilanz-zelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l	Kontrollwert Eisen
			links	rechts			links	rechts							03.05.2016
	0	3,11											**8,88**	**0,79**	
I			0,32	0,17			1400	2200			23,0%	3,72			
	1 / PL6	3,12											**44,81**	**3,99**	**3,85**
II			0,12	0,12	0,583		16	1200	0,93		20,0%	3,08			
	2 / PL7	3,71											**44,42**	**3,33**	**3,24**
III			0,15	0,09			16	300			12,0%	1,54			
	3 / PL8	3,71											**40,64**	**3,04**	**3,00**
IV			0,25	0,03			6	260			0,0%	0,00			
	4 / PL9	3,71											**41,20**	**3,08**	**3,13**
V			0,09	0,14		10,5	6	260		0,5					
	5 / PL10A	3,89											**43,73**	**3,12**	**3,38**

Bilanz-zelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l	Kontrollwert Eisen
			links	rechts			links	rechts							13.10.2016
	0	2,840											6,55	0,64	
I			0,32	0,17			1400	2200			23,0%	3,57			
	1 / PL6	2,848											43,02	4,20	4,14
II			0,12	0,12	0,583		16	1200	1,17		20,0%	3,01			
	2 / PL7	3,435											43,38	3,51	3,41
III			0,15	0,09			16	300			12,0%	1,50			
	3 / PL8	3,439											39,73	3,21	3,12
IV			0,25	0,03			6	260			0,0%	0,00			
	4 / PL9	3,444											40,29	3,25	3,57
V			0,09	0,14		0	6	260		0					
	5 / PL10A	3,448											42,50	3,42	3,56

Anlage 1 - Kalibrierszenarien des Bilanzmodells für den Ist-Zustand (2014 bis 2017)
13.11.14

Bilanz-zelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l	Kontrollwert Eisen
			links	rechts			links	rechts							13.11.2014
	0	3,130											**9,32**	**0,83**	
I			0,32	0,17			1400	2200			23,0%	3,75			
	1 / PL6	3,138											**45,16**	**4,00**	**3,83**
II			0,12	0,12	0,766		16	1200	1,53		20,0%	3,23			
	2 / PL7	3,908											**46,50**	**3,31**	**3,13**
III			0,15	0,09			16	300			12,0%	1,61			
	3 / PL8	3,912											**42,48**	**3,02**	**2,91**
IV			0,25	0,03			6	260			0,0%	0,00			
	4 / PL9	3,917											**43,03**	**3,05**	**3,24**
V			0,09	0,14		0	6	260		0					
	5 / PL10A	3,920											**45,25**	**3,21**	**3,37**

Anlage 1 - Kalibrierszenarien des Bilanzmodells für den Ist-Zustand (2014 bis 2017)
17.12.14

Bilanz-zelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l	Kontrollwert Eisen
			links	rechts			links	rechts							17.12.2014
	0	4,53											11,27	0,69	
I			0,32	0,17			1400	2200			23,0%	3,87			
	1 / PL6	4,54											46,65	2,86	2,86
II			0,12	0,12	0,770		16	1200	1,53		20,0%	3,31			
	2 / PL7	5,31											47,72	2,50	2,55
III			0,15	0,09			16	300			12,0%	1,65			
	3 / PL8	5,32											43,54	2,28	2,46
IV			0,25	0,03			6	260			0,0%	0,00			
	4 / PL9	5,32											44,10	2,30	2,68
V			0,09	0,14		4,522	6	260		0,5					
	5 / PL10A	5,40											46,45	2,39	2,95

Anlage 1 - Kalibrierszenarien des Bilanzmodells für den Ist-Zustand (2014 bis 2017)
01.03.16

Bilanz-zelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l	Kontrollwert Eisen
			links	rechts			links	rechts							01.03.2016
	0	5,11											**11,45**	**0,62**	
I			0,32	0,17			1400	2200			23,0%	3,88			
	1 / PL6	5,12											**46,79**	**2,54**	**2,60**
II			0,12	0,12	0,826		16	1200	1,82		20,0%	3,39			
	2 / PL7	5,95											**48,77**	**2,28**	**2,36**
III			0,15	0,09			16	300			12,0%	1,68			
	3 / PL8	5,95											**44,47**	**2,08**	**2,31**
IV			0,25	0,03			6	260			0,0%	0,00			
	4 / PL9	5,96											**45,02**	**2,10**	**2,56**
V			0,09	0,14		7,53317	6	260		0					
	5 / PL10A	6,09											**47,24**	**2,16**	**2,80**

Bilanz-zelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l	Kontrollwert Eisen
			links	rechts			links	rechts	Mittelwert						09.02.2017
	0	8,18											**20,56**	**0,70**	
I			0,32	0,17			1400	2200			23,0%	4,46			
	1 / PL6	8,19											**53,81**	**1,83**	**1,49**
II			0,12	0,12	0,720		16	1200	1,93		20,0%	3,78			
	2 / PL7	8,91											**54,43**	**1,70**	**1,70**
III			0,15	0,09			16	300			12,0%	1,87			
	3 / PL8	8,92											**49,45**	**1,54**	**1,44**
IV			0,25	0,03			6	260			0,0%	0,00			
	4 / PL9	8,92											**50,01**	**1,56**	**1,40**
V			0,09	0,14		32,269	6	260		0					
	5 / PL10A	9,46											**52,22**	**1,53**	**2,33**

Anlage 2

Referenzszenario des Bilanzmodells für den stationären Strömungszustand (2150) ohne zusätzliche Maßnahmen.

Anlage 2 - Referenzszenario des Bilanzmodells für den stationären Strömungszustand (2150) ohne zusätzliche Maßnahmen

Bilanzzelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min		Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l
			links	rechts	entfällt		links	rechts	entfällt					
	0	3,11											**9,40**	**0,84**
I			0,42	0,19			1400	2200			23,0%	4,46		
	1 / PL6	3,12											**53,71**	**4,78**
II			0,57	0,1	0		16	1200			20,0%	3,41		
	2 / PL7	3,13											**49,17**	**4,36**
III			0,41	0,09			16	300			12,0%	1,71		
	3 / PL8	3,14											**45,04**	**3,98**
IV			0,32	0,03			6	260			0,0%	0,00		
	4 / PL9	3,15											**45,62**	**4,03**
V			0,09	0,14		10	6	260		0,5				
	5 / PL10A	3,32											**48,14**	**4,03**

Anlage 3

Maßnahme 1.12 für den stationären Strömungszustand (2150) für die Abflüsse 3, 6 und 10 m3/s

Anlage 3 - Maßnahme 1.12 für den stationären Strömungszustand (2150)
Abfluss 3m³/s

Bilanzzelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min			Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l
			links	rechts	Sohle	entfällt		links	rechts	entfällt					
	0	3,11												**9,40**	**0,84**
I			0,076	0,023	0,025			1400	2200			23,0%	1,37		
	1 / PL6	3,11												**16,57**	**1,48**
II			0	0,032	0,102	0		16	1200			20,0%	1,26		
	2 / PL7	3,11												**18,07**	**1,61**
III			0	0,07	0,059			16	300			12,0%	0,66		
	3 / PL8	3,11												**17,51**	**1,56**
IV			0	0,02	0,024			6	260			0,0%	0,00		
	4 / PL9	3,11												**18,01**	**1,61**
V			0	0	0,266		10	6	260		0,5				
	5 / PL10A	3,28												**20,43**	**1,73**

Anlage 3 - Maßnahme 1.12 für den stationären Strömungszustand (2150)
Abfluss 6m³/s

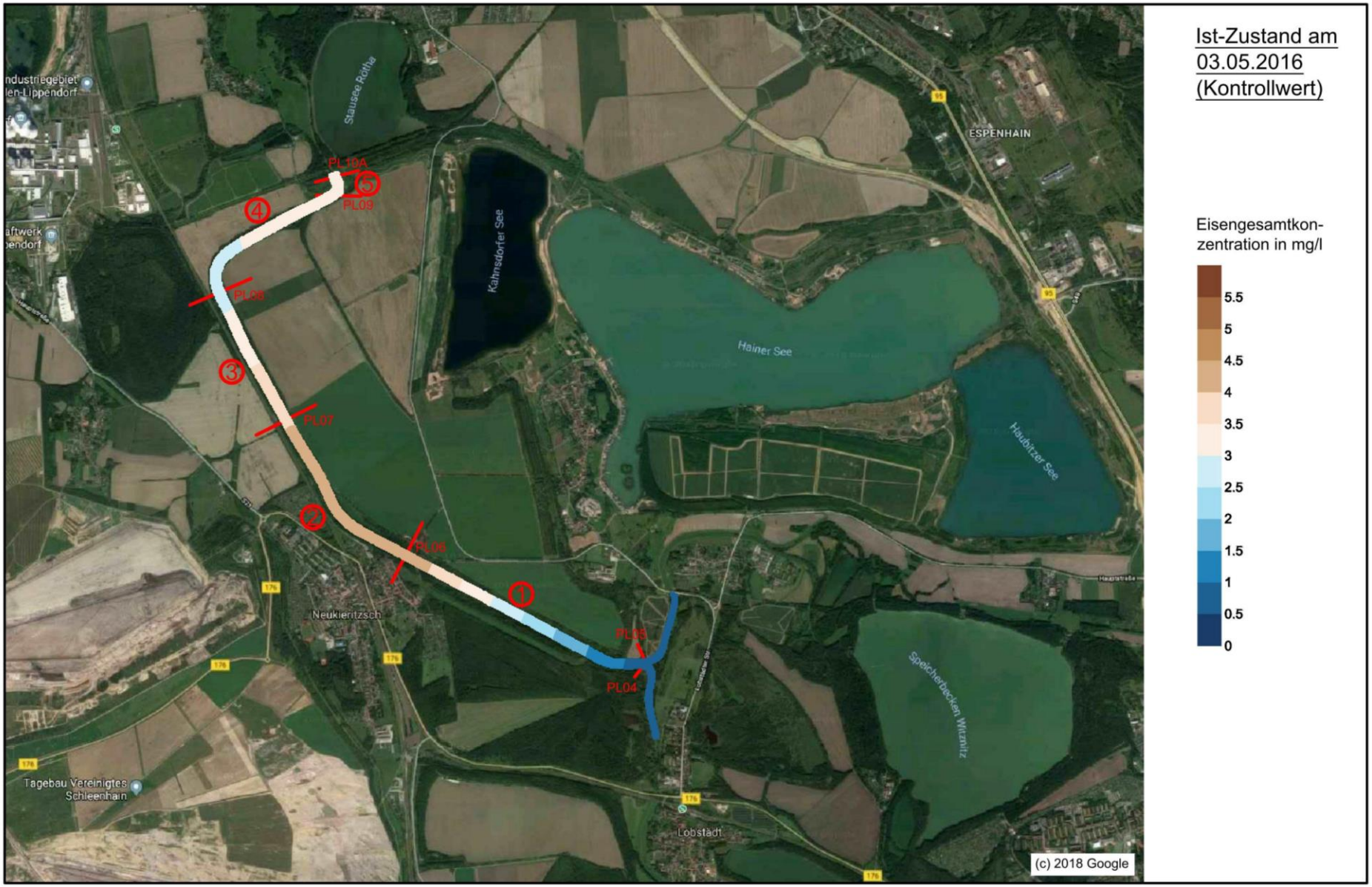
Bilanzzelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min			Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l
			links	rechts	Sohle	entfällt		links	rechts	entfällt					
	0	4,99												**14,40**	**0,80**
I			0,076	0,023	0,025			1400	2200			23,0%	1,69		
	1 / PL6	4,99												**20,42**	**1,14**
II			0	0,032	0,102	0		16	1200			20,0%	1,47		
	2 / PL7	4,99												**21,15**	**1,18**
III			0	0,07	0,059			16	300			12,0%	0,77		
	3 / PL8	4,99												**20,22**	**1,12**
IV			0	0,02	0,024			6	260			0,0%	0,00		
	4 / PL9	4,99												**20,72**	**1,15**
V			0	0	0,266		10	6	260		0,5				
	5 / PL10A	5,16												**23,14**	**1,25**

Anlage 3 - Maßnahme 1.12 für den stationären Strömungszustand (2150)
Abfluss 10m³/s

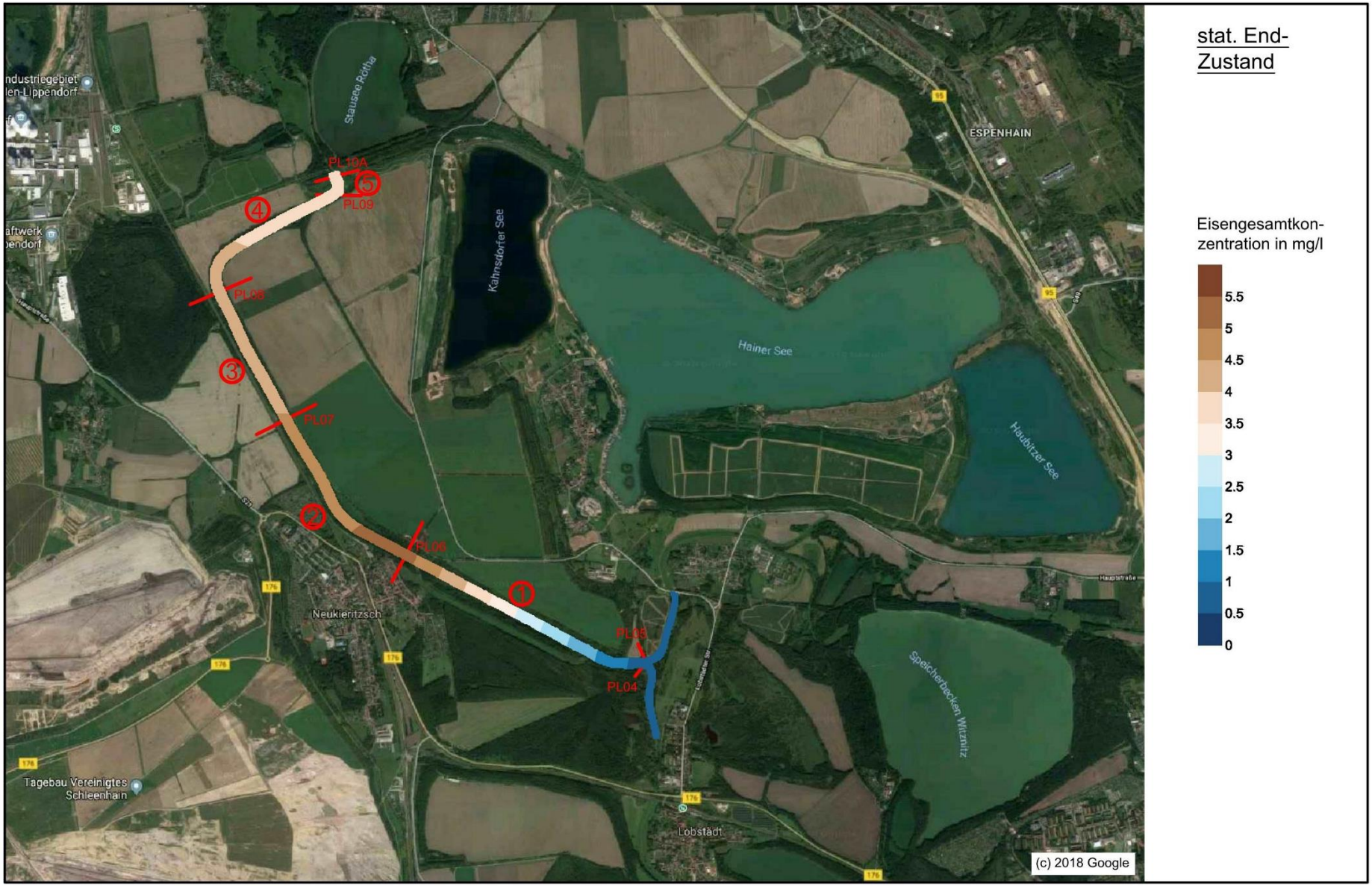
Bilanzzelle	Berechnungs-knoten	Durchfluss in m³/s	Grundwasserzustrom IBGW in m³/min			Einleitung MIBRAG in m³/s	Ableiter Hainer See in m³/min	Eisenkonzentration im Grundwasser in g/m³		Eisenkonz. MIBRAG in g/s	Eisenkonz. Hainer See in g/m³	Eisensedi-mentation in %	Eisensedi-mentation in g/s	Eisenfracht in kg/d	Misch-konzentration in mg/l
			links	rechts	Sohle	entfällt		links	rechts	entfällt					
	0	8,81												**29,49**	**0,93**
I			0,076	0,023	0,025			1400	2200			23,0%	2,66		
	1 / PL6	8,81												**32,04**	**1,01**
II			0	0,032	0,102	0		16	1200			20,0%	2,11		
	2 / PL7	8,81												**30,45**	**0,96**
III			0	0,07	0,059			16	300			12,0%	1,08		
	3 / PL8	8,81												**28,40**	**0,90**
IV			0	0,02	0,024			6	260			0,0%	0,00		
	4 / PL9	8,81												**28,90**	**0,91**
V			0	0	0,266		10	6	260		0,5				
	5 / PL10A	8,98												**31,32**	**0,97**

Anlage 4

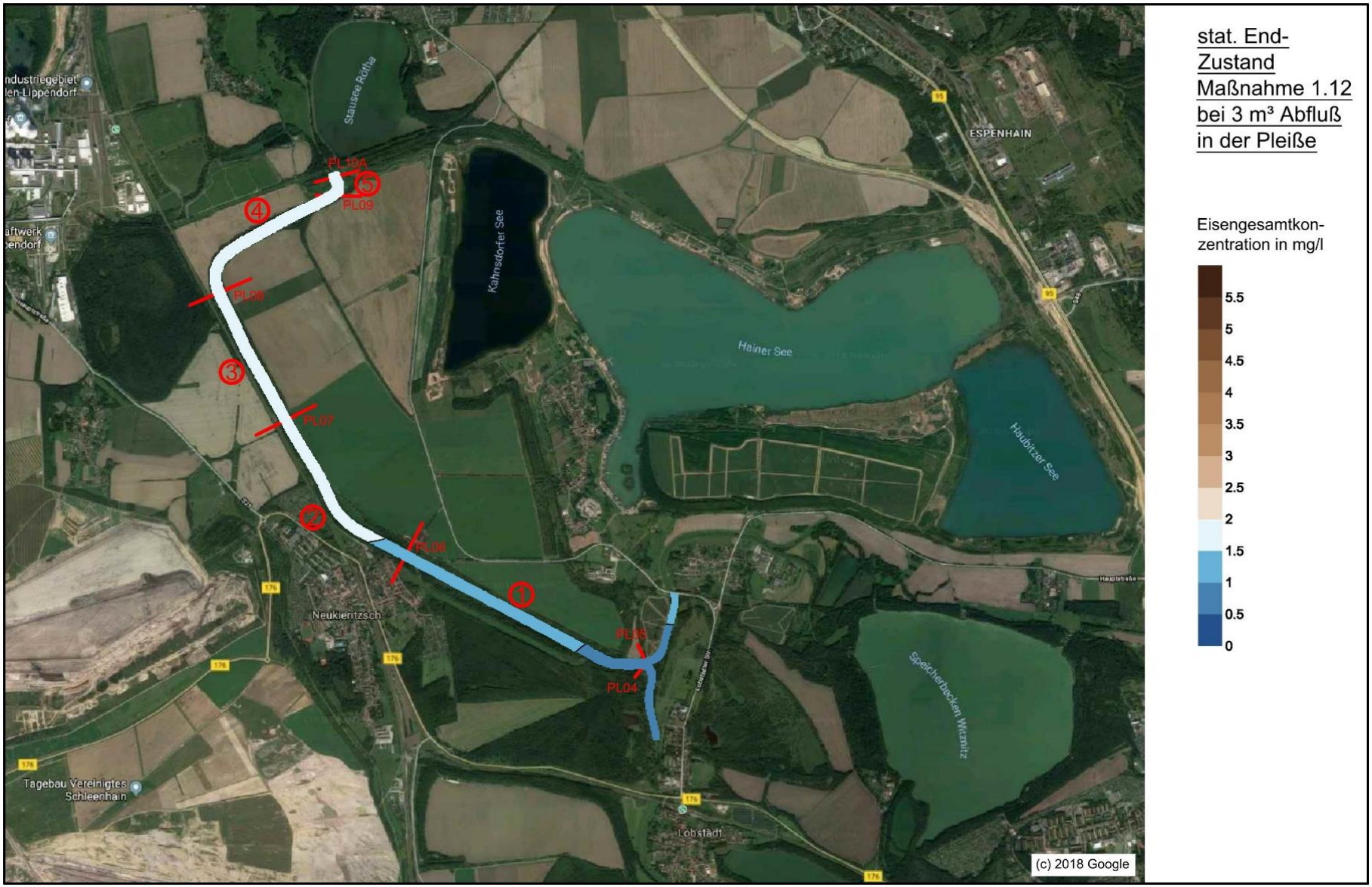
Visualisierung ausgewählter Modellergebnisse



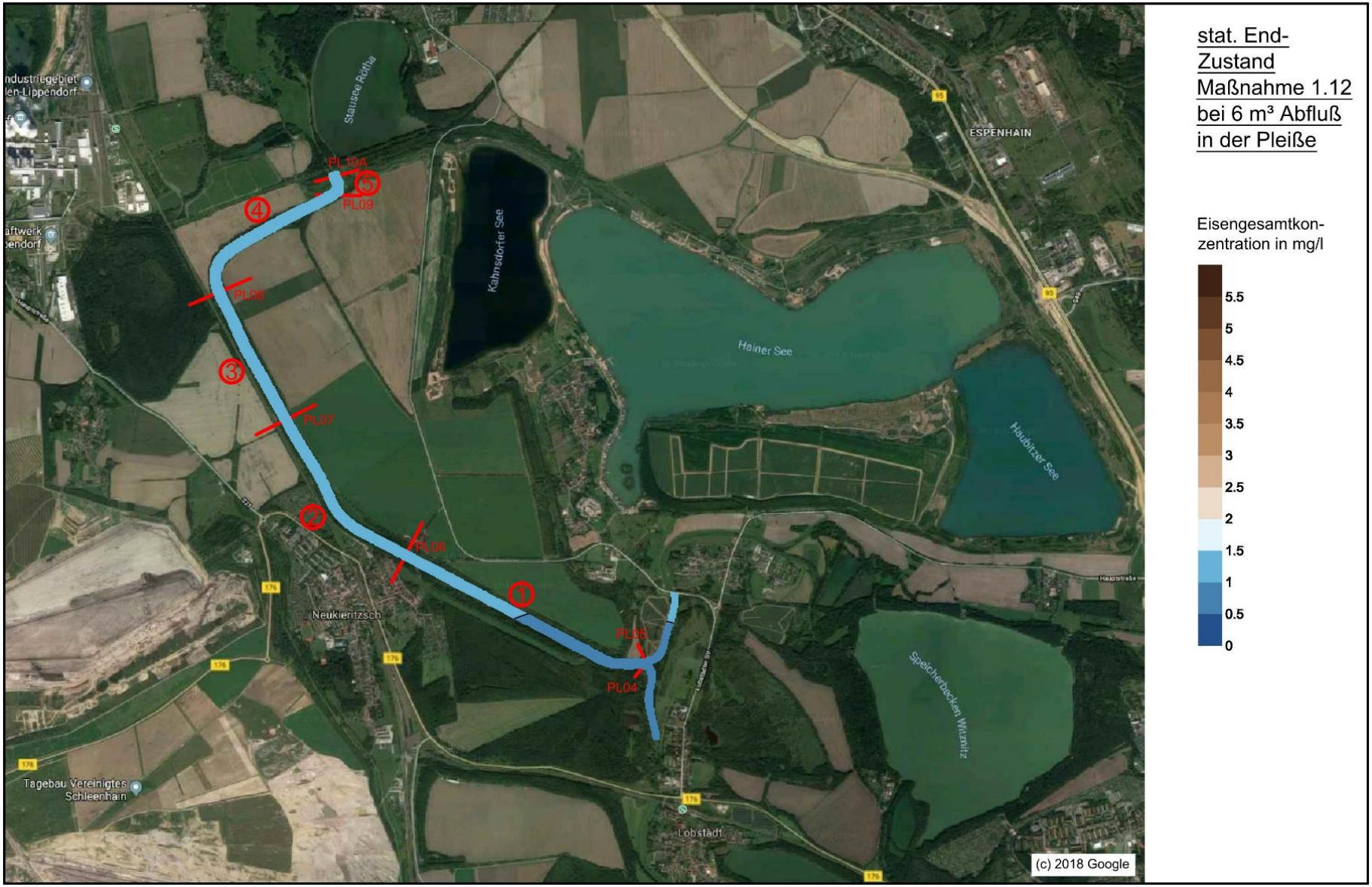
Anlage 4 – Kalibrierszenario 03.05.2016



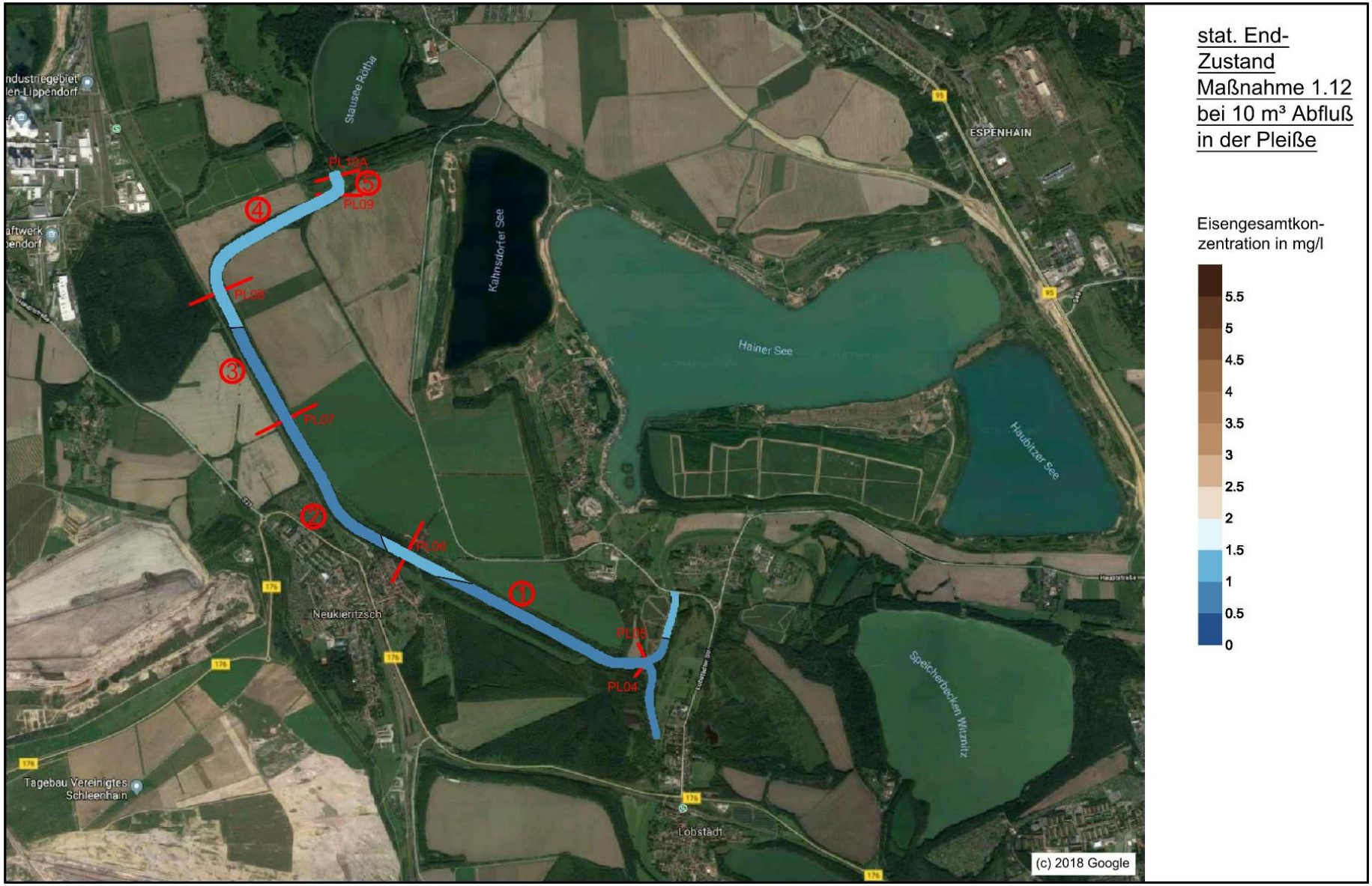
Anlage 4 – Referenzszenario Jahr 2150



Anlage 4 – Maßnahme 1.12 bei 3 m³/s



Anlage 4 – Maßnahme 1.12 bei 6 m³/s



Anlage 4 – Maßnahme 1.12 bei 10 m³/s