Zu Petition Nr. 1433/7 vom 11.02.2022 des Trottheide e. V. an den Landtag Brandenburg bezüglich des Tontagebaus Marienthal-Trottheide

Abschließender Bericht zur Tätigkeit des LBGR

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 1
Tabellenverzeichnis 1
Abbildungsverzeichnis 2
Unterlagenverzeichnis 3
1 Zusammenfassung 6
2 Einleitung 8
3 Abschlussbetriebsplan zur Wiedernutzbarmachung des Tagebaus 8
4 Aufdeckung und Untersuchung der illegalen Abfallverbringung und -ablagerung 9
4.1 Vorgefundene Situation 2006 9
4.2 Erste Maßnahmen und Beweissicherung 10
4.3 Analytik und Gefährdungsbeurteilung des LKA (zusammengefasst) [1], [2] 11
4.4 Gefährdungsbeurteilung des Gerichtsgutachters 16
4.5 Gefährdungsbeurteilung und Handlungsbedarf gemäß Bergamtsgutachter und vorgenommene ad-hoc-Maßnahmen 21
4.5.1 Gefährdungsbeurteilung 21
4.5.2 Handlungsbedarf 22
4.5.3 Maßnahmen 2006-2008 22
4.5.4 Resümee über die Gutachten und Maßnahmen zur Gefahrenabwehr 2006-2008 26
4.6 Einlassung des Gerichtsgutachters auf die Feststellungen und Empfehlungen des Bergamts-Gutachters 26
4.7 Streitpunkt „objektive, akzeptable“ Gefährdungsbeurteilung 28
5 Gefährdungsabschätzung des IWB 2015ff 30
6 Erweiterte organisch-chemische und bioanalytische Charakterisierung des UFZ 35
6.1 Zusammenfassung (dem Bericht entnommen) 35
6.2 Standort und Probennahme 36
6.3 Chemische Charakterisierung 37
6.4 Biotests 42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Laborergebnisse LKA/LLB, Abfallproben 1-3 12
Tabelle 2: Laborergebnisse LKA/LLB, Abfallproben 4-6 13
Tabelle 3: Laborergebnisse LKA/LLB, Oberflächenwasser 14
Tabelle 4: Laborergebnisse LKA/LLB, Oberflächenwasser 15
Tabelle 5: Laborergebnisse LKA/LLB, Sickerwasser 16
Tabelle 6: CSB-, BSB5- und TOC-Werte Sickerwasser 17
Tabelle 7: Schwefel- und Sulfatgehalt des Abfalls 17

Tabelle 8: Analytik Feststoff Abfall (Gerichtsgutachter) – rot Überschreitungen 18
Tabelle 9: Analytik Eluat Abfall und Sickerwasser (Gerichtsgutachter) – rot Überschreitungen 19
Tabelle 10: Analytik Grundwasser (Gerichtsgutachter) – grün Überschreitungen.....20
Tabelle 11: Mittelwerte der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Seewassers.....33
Tabelle 12: Planktongehalte und Kennwerte zur Klassifizierung der Trophie 33
Tabelle 13: Schwermetalle und Metalloide im Seewasser.....33
Tabelle 14: Natürliche und synthetische organische Stoffe im Seewasser 33
Tabelle 15: Feststoffgehalte (Halb-)Metalle im Sediment 34
Tabelle 16: Eluatkonzentrationen (Halb-)Metalle im Sediment 34
Tabelle 17: Synthetisch-organische Stoffe im Sediment.....34
Tabelle 18: Eluat-Summenkennwerte organischer und synthetisch-organischer Stoffe der Sedimente.....34
Tabelle 19: Ökotoxizität des Seewassers und der Sedimente.....34
Tabelle 20: Mittelwerte der Grundwasserbeschaffenheit im oberen GWL (weiß: kleinster Wert, rot: größter Wert der Spalte – ohne Grenzwertbezug).....34
Tabelle 21: Mittelwerte der Grundwasserbeschaffenheit im unteren GWL 35
Tabelle 22: Konzentrationen von Schadstoffen im Grundwasser in der Umgebung des Tagebausees Marienthal-Trottheide für 2020 und 2023 (Maximum) 35
Tabelle 23: Probennahme Grundwasser am 29./30.08. und 13./14.11.2023 37
Tabelle 24: Probennahme See + Referenzgewässer am 29./30.08. und 13./14. 11.2023, Ch: chemische Analytik; Bio: Bioanalytik; (z) zelluläre Bioassays, S: Sedimentprobennahme 37
Tabelle 25: Beurteilung anhand von Grenz- und Richtwerten Wasserproben.....38
Tabelle 26: Überschreitungen (ÜS) von UQN-Werten in Grund- und Seewasser 39
Tabelle 27: Überschreitungen von RAK-Werten in Grund- und Seewasser.....39
Tabelle 28: Überschreitungen (ÜS) von NORMAN PNEC-Werten in Grund- und Seewasser.....39
Tabelle 29: Maximalgehalte in Sedimentproben in µg/(kg Trockengewicht), MDL: Methodendetektionslimit 40
Tabelle 30: Überschreitung bei UQN-Werten 41
Tabelle 31: Überschreitung bei BBodSchV- Werten.....41
Tabelle 32: Überschreitungen (>10-fach) bei PNEC-Werten 41
Tabelle 33: Verwendete zellbasierte Biotestverfahren.....43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Topografischer Lageplan des Tontagebaus Marienthal-Trottheide 8
Abbildung 2 Luftbild 2016 (2016 (aktuelle Verhältnisse)) mit Lage der Ablagerung 9
Abbildung 3: Luftbild 2006 mit Lage der Ablagerung 9
Abbildung 4: Gesamtansicht Ablagerungsbereich 2006 (Blick aus NE) 9
Abbildung 5: Mit Boden abgedeckte Ablagerung (ol), Bauschutt+Müll mit Wasserlachen (or), rückgewonnenes Abfallhaufwerk (ul), Teilansicht Abfall (ur).....10
Abbildung 6: Prinzipdarstellung Grundwassermessstellenausbau.....23
Abbildung 7: Grundwassermessstellengruppe.....23

Abbildung 8: Prinzipdarstellung Gewässersanierung, Lageplan 23
Abbildung 9: Prinzip Enclosememt Tagebausee, Lageplan 23
Abbildung 10: Enclosememt Tagebausee 23
Abbildung 11: Schematisches geologisches Leitprofil 30
Abbildung 12: Geologische Schnitte 31
Abbildung 13: Überlagerung der geohydraulischen Wechselwirkungen zwischen den Grundwasserleitern GWL1 und GWL2 sowie dem Restsee; Äquipotential- bzw. Kipplinien 31
Abbildung 14: Grundwassermessstellen, Probennahmeorte Seewasser und Sediment, Probenauswahl für Analytik Seewasser und Sediment 32
Abbildung 15: Ionenmuster des Seewassers als Äquivalenzkonzentrationen 33
Abbildung 16: Probennahmestellen Oberflächenwasser im Umfeld des Restlochsees 37
Abbildung 17: Probennahmestellen Restlochsee, Seesediment und Grundwasser 37
Abbildung 18: Klassifikation der Substanzen des Target-Screenings 38
Abbildung 19: Anzahl an detektierten Verbindungen in Grundwasser (GW), Seewasser (SW) und Referenzgewässern (RW) in (a) beiden Kampagnen, (b) Kampagne 8/23 und (c) Kampagne 11/23 38
Abbildung 20: TUsum-Werte für Algen und Crustaceen, Anteile der zehn wichtigsten beitragenden Chemikalien, übrige summarisch grau 40
Abbildung 21: Vergleich gemessene vs. berechnete Gleichgewichtsverteilung der Konzentration Sediment-Festphase/Porenwasser und darüber liegendes Seewasser (nicht detektierte Substanzen = 0,1 -x-Achse) 42
Abbildung 22: EC_{50} Werte, berechnet aus den Dosis-Wirkungskurven exponierter Algen und deren Fluoreszenz nach 24 Stunden Exposition. Eine hohe EC_{50} zeigt eine geringe Toxizität an. Die Fluoreszenz ist ein Maß für die Algenpopulationsdichte und damit ein Anzeiger für chronische Wirkungen 42
Abbildung 23: Effekte der Extrakte auf die Schwimmfähigkeit („Immobilisierung“) der Daphnien: Dargestellt sind die Effekte (% Immobilisierung) jeweils für REF_{25} und REF_{50} nach 24 bzw. 48 h Exposition in allen untersuchten Proben 43
Abbildung 24: Effekte der Extrakte auf die Entwicklung von Zebrafischembryonen nach einer Testdauer von 96 h. Dargestellt sind die % der subletalen und letalen Effekte bei REF 5.6, 16.7 und 50 43
Abbildung 25: Vergleiche der Östradiol-Äquivalenzkonzentrationen EEQ, der B[a]P - Äquivalenzkonzentrationen B[a]P-EQ, Dichlorvos-Äquivalenzkonzentrationen (Dichlorvos-EQ) und der inhibitorische Konzentrationen IC10 für Zytotoxizität und Effektkonzentration EC10 für Inhibition des Neuritenauswuchs in den Grund- und Seewasserproben mit Literaturdaten zu Oberflächengewässern und Kläranlagenauslauf 44

Unterlagenverzeichnis

[1] Landeslabor Brandenburg, FB U3: Endbericht Nr. 10-3/2026, LLB-Projekt Marienthal-Trottheide, LLB-Projekt-Nr. 20060010-3, Potsdam, 05.09.2006

[2] Landeslabor Brandenburg, FB U3: Endbericht Nr. 10/2-3/2026, LLB-Projekt Marienthal-Trottheide, LLB-Projekt-Nr. 20060010-2;-3, Potsdam, 26.09.2006

[3] Landeskriminalamt Land Brandenburg: Bericht über die Sicherung von Spuren zum Vorgang: Unerlaubter Umgang mit gefährlichen Abfällen, § 326 StGB in 16775 Marienthal-

Trottheide, TGB.-Nr. 40995/232141/06/01 K im PP Potsdam, Ast. Neuruppin, 19.07.2006

[4] Prof. Ebner, L. (Protekum): Bericht zum möglichen unsachgemäßen Einbau von ungenehmigten Abfallmaterialien in den ehemaligen Tontagebau Marienthal mit dem Verdacht der nachteiligen Boden- und Grundwasserverunreinigung für die ehemalige Tongrube sowie den grundwasserabführenden Tornowfließ und die Havel, Bericht - Nr.00060547, Oranienburg, 08.07.2006

[5] Prof. Ebner, L. (Protekum): Mögliche Sanierungsvarianten für die Grube Marienthal, Ergänzung zum Bericht-Nr. 00061054, Oranienburg, 16.01.2007

[6] Prof. Ebner, L. (Protekum): Bewertender Bericht zu drei Berichten des Büros Dr. Beerbalk Bericht - Nr.00061054, Oranienburg, 16.10.2006

[7] Prof. Ebner, L. (Protekum): Stellungnahme zu zwei Berichten des Büros Dr. Beerbaik (07/06/M21 und 07/07/M23) Bericht - Nr. 00071058, Oranienburg, 18.10.2007

[8] Thalen Consult GmbH: Ergebnisbericht zur Kontamination im östlichen Bereich des Tontagebaurestoches Marienthal, März 1996

[9] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Bericht zur Befahrung der Tongrube Marienthal - Trottheide am 05.07.2006, 06/07/M03, Berlin, 07.07.2006

[10] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Gefährdungsabschätzung und Handlungsbedarf für die Ablagerungen Tongrube Marienthal – Trottheide, 06/07/M05, Berlin, 31.07.2006

[11] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Auswertung von Untersuchungsergebnissen der Ablagerungen Tongrube Marienthal - Trottheide, 06/07/M06, Berlin, 31.07.2006

[12] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Gefährdungsabschätzung und Handlungsbedarf für die Ablagerungen Tongrube Marienthal – Trottheide -Kurzfassung-, 06/07/M07, Berlin, 07.08.2006

[13] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Projektbegleitung Tongrube Marienthal – Trottheide, Vermerk V-06/08/08, Vermerk zur Inventar- und Frachtabschätzung für das Haufwerke unzulässiger Abfallabtagerung in der Tongrube Marienthal - Trottheide, Besprechung im LBGR am 07.08.2006, Berlin, 09.08.2006

[14] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Gefährdungsabschätzung und Sanierungskonzeption für die Ablagerungen Tongrube Marienthal - Trottheide, 06/09/M10, Berlin, 21.09.2006

[15] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Gefährdungsabschätzung und Konzeption der Gefahrenabwehrmaßnahmen für die Ablagerungen Tongrube Marienthal - Trottheide, Berlin, 18.10.2006

[16] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Auswertung der Ergebnisse der Haufwerksbeprobung vom 14.12.2006, 07/01/M02, Berlin, 12.01.2007

[17] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Auswertung des Monitorings Dezember 2006 und Januar 2007 im Bereich der Tongrube Marienthal - Trottheide, 07/02/M03, Berlin, 01.03.2007

[18] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Abschlussbericht zur Begleitung der Entsorgung eines Haufwerkes aus der Tongrube Marienthal, 07/06/M19, Berlin, 15.06.2007

[19] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Abschätzung der Dimension der nicht genehmigten Ablagerungen im Bereich des Westsees, 07/06/M21, Berlin, 20.06.2007

[20] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Darstellung des erreichten Standes der Gefahrenabwehrmaßnahmen für die Tongrube Marienthal Stand 30. Juli 2007, 07/08/M27 , Berlin, 13.08.2007

[21] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Sachstandsbericht zur Durchführung der Gefahrenabwehrmaßnahmen im Westsee Stand November 2007, 07/11/M31 Berlin, 26.11.2007

[22] Beerbalk, H.-D. (Büro Dr. Beerbalk): Auswertung des Grundwassermonitorings Juni und Oktober 2007 im Bereich der Tongrube Marienthal - Trottheide, 07/11/M32 Berlin, 30.11.2007

[23] Sensatec GmbH: Abschlussbericht zur Gefahrenabwehrmaßnahme „Marienthal - Trottheide" 2. Stufe Oberflächenwasser- / Gasmonitoring Zeitraum: 02.07.2007 - 31.03.2008 und Sauerstoffeintrag in die Uferzone Zeitraum: 01.10.2007 - 31.03.2008 mit Zusammenfassung der Ergebnisse 1. Stufe, Kiel, 31.03.2008

[24] Werner, J. (Büro Dr. Beerbalk): Stellungnahme zum Abschlussbericht 2. Stufe der Sensatec GmbH Abschlussbericht zur Gefahrenabwehrmaßnahme „Marienthal-Trottheide" 2. Stufe Oberflächenwasser- / Gasmonitoring Zeitraum: 02.07.07 bis 31.03.08 und Sauerstoffeintrag in der Uferzone, Zeitraum 01.10.07 bis 31.03.08, Berlin, 16.06.2008

[25] AKS Aqua-Kommunal-Service GmbH: Grundwassermonitoring Tongrube Marienthal-Trottheide Beprobung Juni 2008, Frankfurt (Oder), 11.07.2008

[26] AKS Aqua-Kommunal-Service GmbH: Grundwassermonitoring Tongrube Marienthal-Trottheide Beprobung Oktober 2008, Frankfurt (Oder), 07.11.2008

[27] Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann: Erweiterte Untersuchungen des Gewässers und des Ökosystems im Tontagebaurestloch Marienthal-Trottheide, Kurztitel: Gefährdungsanalyse Trottheide, Dresden, 30.06.2016

[28] Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann: Fachliche Begleitung des Grund- und Oberflächenwassermonitorings im Tagebausee Marienthal-Trottheide, Jahresbericht 2022, , Dresden, 25.08.2023

[29] Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann: Fachliche Begleitung des Grund- und Oberflächenwassermonitorings im Tagebausee Marienthal-Trottheide, Jahresbericht 2023, , Dresden, 07.08.2024

[30] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Krauss, M. et.al.: Erweiterte organisch-chemische und bioanalytische Charakterisierung des Tontagebaurestlochs Marienthal-Trottheide und Gefährdungsabschätzung, Abschlussbericht, Leipzig, 21.06.2024

Weiterer Dokumentenbestand im LBGR (unveröffentlicht, nach Anmeldung und bei berechtigtem Interesse einsehbar)

1 Zusammenfassung

Für die Wiedernutzbarmachung des Tontagebaus Marienthal-Trottheide wurde 1993/1994 ein Abschlussbetriebsplan, umfassend eine Teilverfüllung des Tagebaurestlochs und die Stabilisierung der Tagebauböschungen mit mineralischen Abfällen nach Baurestmassenerlass Brandenburg einschließlich einer temporären Sümpfung des Tagebaurestlochs, zugelassen. 2006 wurde eine mutmaßliche Verbringung nicht zugelassener Abfälle festgestellt. Das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) ordnete im Benehmen mit der Unteren Wasserbehörde (UWB) die Einstellung der Wasserhaltung sowie die unverzügliche Beräumung der Abfälle an. Wegen Verzögerungen auf Seiten des Betreibers verblieben wegen des steigenden Wasserspiegels ca. 17-28 Tm³ Abfall im Restloch und gerieten unter Wasser.

Alle seitdem mit normativen Kennwerteumfängen und Bestimmungsmethoden vorgenommenen Untersuchungen zur Gefährdungsbeurteilung der verbliebenen Ablagerung durch Gutachter haben gezeigt, dass die Belastung der aquatischen Umweltkompartimente Grundwasser und See mit Schadstoffen gering ist. Dafür entfalten die Abfälle im Tagebausee Marienthal-Trottheide einen nachteiligen Einfluss auf die Trophie und Saprobie des Gewässers. Als hinreichende Maßnahmen sind die Überwachung des Grundwassers und des Restsees sowie die Unter-Wasser-Abdeckung des abgelagerten Materials mit Sand als Barriere gutachterlich empfohlen worden.

Davon unbeeindruckt fordert die Bürgerinitiative „Trottheide e.V." seit Jahren unverändert tiefergehende Untersuchungen der Schadstoffbelastung und ggfs. eine Totalberäumung[1]. Sie hat Bedenken, dass aus der Ablagerung weitere, bisher nicht erfasste, extrem gefährliche Kontaminanten in den Restsee und in das Grundwasser eingetragen werden. Um diesen Bedenken entgegenzukommen, verständigte sich das LBGR mit ihr darüber, tiefergehende Untersuchungen vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Leipzig nach bilateral abgestimmter Aufgabenstellung vornehmen zu lassen. Diese umfassten die Detektion einer Vielzahl unbekannter chemischer und organischer Spurenstoffe und die Bewertung deren potentieller ökotoxikologischer Wirkungen mittels einer Kombination aus organisch-chemischer Screeninganalytik mit LC-HRMS und GC-HRMS und der Anwendung von effekt-basierten Methoden mit relevanten Organismen (Grünalgen, Daphnien, Zebrafischembryos) und zellbasierten Systemen für relevante toxikologische Mechanismen (östrogene Aktivität, dioxinähnliche Toxizität, Neurotoxizität, Gentoxizität, oxidative Stressantwort).

Insgesamt zeigen diese chemischen Analysen wie auch die biologischen Wirkungstests, dass unter den aktuellen geohydraulischen Bedingungen der Austrag von problematischen Substanzen aus der Ablagerung in Grund- und Seewasser als sehr gering einzuschätzen ist. Zudem ist keine akute Gefährdung zu besorgen, solange sich die hydrogeologischen Bedingungen nicht ändern. Im Übrigen werden die bereits ursprünglich im Rahmen der Begutachtung vorgeschlagenen Überwachungsmaßnahmen mit geringumfänglicher Ergänzung des Parameterspektrums bestätigt.

Ausblick

Aus der Arbeit kann (vorsichtig) verallgemeinert werden, dass übliche normative Untersuchungsmethoden und Kennwertumfänge zur Erkundung schädlicher Emissionen aus Abfallablagerungen in die Hydrosphäre dann als hinreichend angesehen werden können, wenn diese bereits zeigen, dass eine gefährdende Umweltbeeinträchtigung nicht vorliegt oder sich der Befund als hinreichend für eine Beurteilung erweist. Bestehen Zweifel oder ist der nach klassischen Methoden abgeleitete Befund nicht hinreichend verifizierbar, kann die vorgestellte Methodik der Spurensuche mit moderner Screeninganalytik in Kombination mit Wirkungstests ein geeigneter Ansatz für weitere Untersuchungen sein.

[1] Eine Totalberäumung würde vorliegend einen (erneuten) massiven Eingriff einschließlich einer wiederum erheblichen Wasserhaltung in diesem naturräumlich sensiblen Gebiet bedeuten und könnte zu zusätzlichen Umweltrisiken infolge einer damit verbundenen, nicht auszuschließenden Mobilisierung von Schadstoffen führen. Eine Abwägungsbetrachtung wäre zwingend geboten.

Anmerkung des Autors

Die im Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg einschlägigen Dokumente erwiesen sich als hinreichend geeignet, die nach dem Aufdecken des illegalen Verbringens nicht zugelassener Abfälle bei der Teilverfüllung zur Wiedernutzbarmachung des Tontagebaus Marienthal-Trottheide im Rahmen des zugelassenen Abschlussbetriebsplans vom Bergamt unverzüglich initiierten Maßnahmen zur Schadensaufklärung, Gefährdungsbeurteilung und Eindämmung bzw. ad hoc Sanierungen nachvollziehen und beurteilen zu können. Wie auch das ab 2008 laufende Grundwassermonitoring (siehe weitere Unterlagen beim LBGR) zeigt die 2015 erneut vorgenommene Gefährdungsanalyse, dass die 2006 bis 2008 durchgeführten Maßnahmen als erfolgreich bezüglich der Gefahrenabwehr eingeschätzt werden dürfen. Dies wird schließlich durch die Ergebnisse der Untersuchungen des UFZ 2023 bestätigt. So sind aktuell und auch in absehbarer Zukunft keine schutzgutgefährdenden Emissionen aus der Ablagerung zu besorgen. Ein Monitoring bleibt notwendig.

Mit der Sicht eines an den beschriebenen Vorgängen Unbeteiligten darf dem Bergamt ein hinreichendes Handeln zur Aufklärung und Schadensminderung attestiert werden. Die zuletzt vom UFZ empfohlenen Monitoringmaßnahmen sind notwendig, da die Gefahr latent potenziell noch gegeben ist, und hinreichend, weil mit Ihnen jederzeit eine Beurteilung hinsichtlich möglicher Veränderungen des Impakts auf die Schutzgüter sichergestellt ist.

2 Einleitung

Der vorliegende Text berichtet über die Tätigkeit des LBGR bezüglich der 2006 aufgedeckten Verbringung nicht zugelassener Abfälle bei der Teilverfüllung des Tontagebaus Marienthal-Trottheide im Rahmen des zugelassenen Abschlussbetriebsplans. Er bietet einen fundierten Überblick über die vorgenommenen Maßnahmen und Kontrollen. Bestandteil der Darstellung sind Auszüge und Zusammenfassungen aus beim LBGR vorliegenden gutachterlichen Dokumenten. Die Abhandlung zeigt, dass das LBGR seinen Pflichten entsprechend den gegebenen Möglichkeiten nachgekommen ist.

Abbildung 1: Topografischer Lageplan des Tontagebaus Marienthal-Trottheide

3 Abschlussbetriebsplan zur Wiedernutzbarmachung des Tagebaus

Für den unter Bergaufsicht stehenden, zwischen 1964 und 1988 zur Tongewinnung betriebenen Tagebau Marienthal-Trottheide wurde 1993/1994 ein Abschlussbetriebsplan (bergrechtliche Genehmigungsplanung) und ein Sonderbetriebsplan (ergänzende Plananträge) zur Wiedernutzbarmachung zugelassen (genehmigt). Diese umfassen eine Teilverfüllung des Restlochs und die Stabilisierung der Tagebauböschungen mittels Einbaus zugelassener mineralischer Abfälle als Maßnahmen für die Gewährleistung der Standsicherheit der Böschungen sowie der Vorbereitung des damit verbundenen ursprünglichen Wiedernutzbarmachungsziels, das Gelände für eine Freizeitbebauung herzurichten. Die Zulassung schloss die erforderliche Wasserhaltung zur Trockenhaltung der Tagebausohle und das Abschlagen des Wassers in die Vorflut ein.

Zeitlich parallel stellte die obere Umweltbehörde das Gebiet einschließlich des unter Bergrecht stehenden Tagebaugeländes unter naturschutzrechtliche Restriktionen, ohne sich jedoch hierzu mit dem Bergamt abzustimmen. Gemäß Aktenlage führte dies in der Folge zu erheblichen Behinderungen beim Vollzug des Abschlussbetriebsplans.

4 Aufdeckung und Untersuchung der illegalen Abfallverbringung und -ablagerung

4.1 Vorgefundene Situation 2006

2006 stellte die aufmerksame Bevölkerung eine mutmaßliche Verbringung nicht zugelassener Abfälle fest. Abbildung 2 bis Abbildung 5 zeigen die Lage der Ablagerung sowie den seinerzeitigen visuellen Befund.

Abbildung 2 Luftbild 2016 (2016 (aktuelle Verhältnisse)) mit Lage der Ablagerung

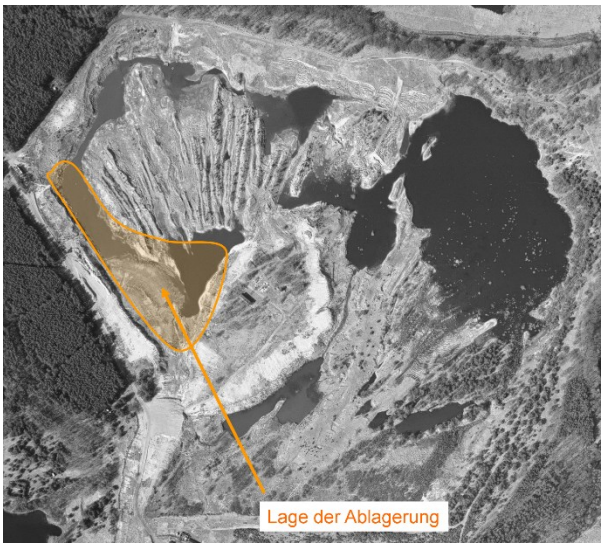


Abbildung 3: Luftbild 2006 mit Lage der Ablagerung

Abbildung 4: Gesamtansicht Ablagerungsbereich 2006 (Blick aus NE)

Abbildung 5: Mit Boden abgedeckte Ablagerung (ol), Bauschutt+Müll mit Wasserlachen (or), rückgewonnenes Abfallhaufwerk (ul), Teilansicht Abfall (ur)

4.2 Erste Maßnahmen und Beweissicherung

Das LBGR ordnete im Benehmen mit der Unteren Wasserbehörde (UWB) die Einstellung der Wasserhaltung sowie die unverzügliche Beräumung der Abfälle an. Wegen Verzögerungen auf Seiten des Betreibers verblieben infolge des steigenden Wasserspiegels ca. 17-28 Tm³ Abfall im Restloch und gerieten unter Wasser.

Das Landeskriminalamt Brandenburg (LKA) nahm die Untersuchungen auf. Die zuständige Staatsanwaltschaft Neuruppin ordnete eine sofortige Probennahme zur Beweissicherung bei Gefahr im Verzug an. Organoleptische Ansprache des LKA (zusammengefasst): Anhäufung organischer und anorganischer Abfälle, bestehend aus siedlungsabfallartigen Gemengen mit Anteilen von diversen Kunststoffen (Folien, Hartplastik), Holz, Pappe, Papier, Textilresten etc., Anteil mineralischer Restmassen: vermutlich eingelagerte Bauabfälle. Feststellung LKA: *„Das eingelagerte Material ist aufgrund seiner Eigenschaften und Inhaltsstoffe geeignet, Schädigungen für die Schutzgüter Grundwasser / Oberflächenwasser / Atmosphäre herbeizuführen. Die Verbringung der Abfallmaterialien findet in einem ökologisch sensiblen Gebiet statt, wo grundsätzlich ein Minimierungsgebot für Stoffeinträge in die Umwelt gelten muss…“*

Der vom Bergamt bestellte Gutachter hatte herauszuarbeiten, wie die Auswirkungen auf die Schutzgüter sein können und welche geeigneten (ad hoc) Abwehr- bzw. Überwachungsmaßnahmen vorgenommen werden sollten. Er stellte fest: *„…*[Es] *werden die zugelassenen Einlagerungskriterien überschritten. …* [Es bestehen] *jedoch keine direkten Gefahren für den Wirkpfad Boden - Mensch durch die Inhaltsstoffe… Für den Wirkpfad Boden - Grundwasser konnten Kontaminationen durch Phenole, die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe, sowie Pentachlorphenol nachgewiesen werden… Die nachgewiesenen Stoffe der Feststoff- und Wasserproben sind den sog. kmf - Substanzen (kanzerogen - mutagen - fruchtschädigend) nach der Gefahrstoffverordnung zuzuordnen…. Durch die Elution von … hoch kondensierten PAK … ist Handlungsbedarf für das Schutzgut Grundwasser gegeben. …* [Maßnahmen:] *Unterbinden der Elution der Gefahrstoffe sowie Dekontaminieren des bereits kontaminierten Wasserkörpers. … Für die … noch vorhandenen Ablagerungen ist die Unterbrechung des Gefährdungspfades durch Unterbrechung des Sickerwasseraustritts vor Ort und/ oder die Entsorgung zu erreichen.“ … Die Bereiche mit Schwarzfärbung in den Wasseransammlungen („Westsee") sind als kontaminierter Wasserkörper anzusehen. …*[Es werden die] *Abtrennung der schwarzgefärbten Wasserfläche von den noch nicht kontaminierten Bereichen* [und] *… nach Entfernen der Ablagerungen Maßnahmen der Wasserreinigung* [vorgeschlagen],*… vorrangig* [als] *in - situ - Maßnahmen zur Dekontamination unter Berücksichtigung des Grundwasseranstiegs …“*

Entsprechende Maßnahmen wurden in der Folgezeit konzipiert und zwischen 2006 und 2008 erfolgreich realisiert, so dass ein anschließendes periodisches Monitoring als hinreichend angesehen werden konnte.

Auch der vom Gericht bestellte Gutachter bejaht und begründet anhand der Beweiserhebung den unerlaubten Umgang mit gefährlichen Abfällen. Allerdings geht er in seinen Stellungnahmen zu den Aussagen des Bergamtsgutachters wesentlich weiter, indem er, möglicherweise auch mit Blick auf die Beförderung einer angemessenen Verurteilung der Schadensverursacher, weitgreifende Gefahrenszenarien für die Umwelt und die Gesundheit der Bevölkerung diskutierte und dabei auch gegenüber dem Bergamtsgutachter nicht an Kritik sparte: *„…Keinerlei Aussage wird aber zur Problematik der verbliebenen Abfälle und der Reaktionen unter Wasser getroffen. … Der Satz ‚Escheria coli wurden trotz Aussage im Text* [des Gutachters] *nicht nachgewiesen'... stellt ein reines Ablenkungsmanöver dar. … Die Aussage, dass für die Wassergewinnung in Marienthal und Burgwall keine Gefahr ausgehe, ist falsch! Die Recherche, die der Projektbegleiter* [Bergamtsgutachter] *durchgeführt hat, ist oberflächlich! Allein in Marienthal existieren bei der Bevölkerung noch mindestens 4 Hausbrunnen, die das Wasser dem ersten unbedeckten Grundwasserleiter entnehmen, nicht erfasst sind die Brunnen der Wochenendsiedler in Marienthal und Burgwall (telefonische Aussage des Bürgermeisteramtes der Stadt Zehdenick vom 11.10.2006 nach Information des Trinkwasser- und Abwasserverbandes Lindow-Gransee, der für die Wasserversorgung dieser Teile der Stadt Zehdenick zuständig ist.). "*[2]

Die Bürgerinitiative folgt bis heute einzig den Darstellungen des Gerichtsgutachters und lehnt jegliche anders gearteten Aussagen aller übrigen Gutachter ab, indem sie jene, auch basierend auf den Aussagen des Gerichtsgutachters, entweder als völlig unzureichend oder als willfährig abtut. Über den Weg fortgesetzten Insistierens und mit Unterstützung eines Umweltverbandes (e.V.) wirft sie dem Bergamt mittels Eingaben in Verbindung mit Klagedrohungen und einseitig-populistischer und herabwürdigender Öffentlichkeitsarbeit anhaltende Untätigkeit vor und versucht implizit, die Vornahme einer Totalsanierung zu erzwingen.

4.3 Analytik und Gefährdungsbeurteilung des LKA (zusammengefasst) [1], [2]

Aus dem Untersuchungsbericht (Analytikergebnisse siehe Tabelle 1 bis Tabelle 5): *„Das eingelagerte Material ist aufgrund seiner Eigenschaften und Inhaltsstoffe geeignet, Schädigungen für die Schutzgüter Grundwasser / Oberflächenwasser / Atmosphäre herbeizuführen. Die Verbringung der Abfallmaterialien findet in einem ökologisch sensiblen Gebiet statt, wo grundsätzlich ein Minimierungsgebot für Stoffeinträge in die Umwelt gelten muss. Eine Auskofferung und sachgerechte Entsorgung der abgelagerten Materialien werden als notwendig erachtet. Die im Oberflächenwasser vorgefundenen Flammschutzmittel und Phthalate auf Phosphorsäurebasis sowie Antioxidantien (hier BHT) sind aufgrund ihrer Eigenschaften geeignet, ein Gewässer nachteilig zu verändern. Der sehr hohe Organikanteil wird sowohl im Sickerwasser, in den Eluaten als auch im Feststoff bestätigt und in Form der Summenparameter GV, CSB und TOC nachgewiesen. Die eingelagerten Abfälle sind somit als Eintragsquelle für die Organikbelastung anzusehen. Folge ist die Entstehung sauerstoffarmer bis -freier, d.h. anaerober Milieubedingungen mit der Bildung von giftigem Schwefelwasserstoff. Die ermittelten Feststoff-TOC-Gehalte liegen z.T. um das 5- bis 6-fache über den Grenzwertvorgaben der Abfallablagerungsverordnung von ≤ 3 Masse-% bzw. Glühverlust ≤ 5 Masse-%. Der max. CSB-Wert im Eluat liegt mit 1.070 mg/l deutlich über Anhang 51 Abwasserverordnung (200 mg/l). Die untersuchten Sickerwässer aus angelegten Schürfen aus dem Sohlenbereich des Abfallkörpers führen extrem hohe Organikgehalte (CSB-Wert: max. 15.000 mg/l). Eine Beeinträchtigung weiterer Umweltmedien ist zu besorgen."*

[2] *B*ei eingehender Betrachtung der hydrogeologischen Verhältnisse (siehe Kapitel 5) sind diese Aussagen des Gerichtsgutachters letztlich nicht haltbar.

Tabelle 1: Laborergebnisse LKA/LLB, Abfallproben 1-3

Tgb.-Nr. LLB		2006D00095		2006D0096		2006D00097	
Proben-Nr. LKA		Spur 4-L		Spur 5-L		Spur 6-L	
		2006D00109	2006D00110	2006D00111	2006D00112	2006D00113	2006D00114
Matrix:		Abfall	Abfall	Abfall	Abfall	Abfall	Abfall
		< 2mm	2 - 5 mm	< 2mm	2 - 5 mm	< 2mm	2 - 5 mm
		Feststoff					
TR $^{105°C}$	% d. FS	87,7	85,6	87,7	84,5	94,3	97,2
GV	% d. TM	13,0	34,3	12,5	32,1	15,6	17,3
pH-Wert		7,5	7,4	7,4	7,3	7,1	7,2
elektr. LF	µS/cm	4.060	5.070	3.800	5.280	5.160	4.350
As	mg/kg $_{mT}$	7,1	6,6	5,0	6,4	5,5	6,8
Pb	"	240	110	180	980	260	120
Cd	"	0,74	2,0	2,6	2,4	0,55	0,62
Cr	"	150	76	87	87	62	88
Cu	"	210	99	190	180	130	120
Ni	"	38	38	71	60	36	42
Hg	"	0,26	0,40	0,36	0,44	0,37	0,29
Zn	"	500	370	690	710	410	480
Al	"	12.000	19.000	12.000	17.000	14.000	18.000
B	"	85	68	42	58	38	37
S	mg/kg $_{mT}$	18.000	14.000	18.000	26.000	17.000	22.000
P	"	750	580	1.100	870	510	370
PAK_{16}	mg/kg $_{mT}$	8,5	12,9	16,2	7,6	11,6	11,2
BaP	"	0,43	0,30	0,71	0,23	0,85	0,76
KW	mg/kg	2.900	8.300	3.500	5.100	1.700	3.000
TOC	Masse-%	8,5	14,6	9,4	14,7	4,8	8,8
		Eluat					
pH-Wert		7,7	7,8	7,8	7,9	7,3	7,3
elektr. LF	µS/cm	3.650	3.070	3.360	3.860	3.340	3.300
As	µg/l	1,5	1,9	3,3	2,5	2,3	2,2
Pb	"	0,89	2,5	6,0	2,2	< 0,05	< 0,05
Cd	"	0,46	0,25	2,3	2,0	< 0,08	< 0,08
Cr	"	33	38	27	18	9,5	8,0
Cu	"	23	29	240	260	14	10
Ni	"	170	220	550	390	140	120
Hg	"	< 0,03	0,037	0,13	0,031	0,059	0,067
Zn	"	240	260	1.400	700	51	62
Al	"	240	380	270	610	400	380
B	"	1.700	2.100	1.110	1.000	1.100	950
S	mg/l	509	506	584	472	585	721
P	"	0,57	0,65	0,81	1,1	0,52	0,39
Cl^-	"	150	230	440	300	110	120
SO_4^{--}	"	1.500	1.800	1.500	1.700	1.700	1.600
AOX	µg/l	150	170	112	160	114	160
CSB	mg/l	485	560	670	1.050	980	780
TOC	"	214	254	335	449	387	365

Tabelle 2: Laborergebnisse LKA/LLB, Abfallproben 4-6

Tgb.-Nr. LLB		2006D00092		2006D00093		2006D00094	
Proben-Nr. LKA		Spur 1-L		Spur 2-L		Spur 3-L	
		2006D00103	2006D00104	2006D00105	2006D00106	2006D00107	2006D00108
Matrix:		Abfall	Abfall	Abfall	Abfall	Abfall	Abfall
		< 2mm	2 - 5 mm	< 2mm	2- 5 mm	< 2mm	2 - 5 mm
		Feststoff					
TR $^{105°C}$	% d. FS	97,9	93,4	91,3	84,4	98,6	94,3
GV	% d. TM	4,9	34,3	6,0	21,5	4,2	34,9
pH-Wert		7,2	7,1	7,1	6,9	7,2	7,2
elektr. LF	µS/cm	2.090	3.990	1.950	2.250	1.770	1.980
As	mg/kg m_T	3,1	7,5	5,7	9,3	7,1	8,6
Pb	"	57	95	300	890	41	68
Cd	"	0,59	1,1	1,0	2,4	0,59	1,0
Cr	"	27	60	42	73	27	57
Cu	"	62	120	100	200	34	66
Ni	"	15	33	27	50	14	30
Hg	"	0,12	0,27	0,23	0,53	0,25	0,43
Zn	"	200	360	340	990	190	290
Al	"	7.100	16.000	9.400	17.000	18.000	20.000
B	"	15	53	19	54	15	51
S	mg/kg m_T	13.000	15.000	13.000	16.000	10.000	18.000
P	"	360	630	470	580	350	560
PAK $_{16}$	mg/kg m_T	4,1	9,3	5,1	26,0	12,0	2,4
BaP	"	0,24	0,37	0,37	1,5	0,9	0,14
KW	mg/kg	610	4.400	620	1.900	450	2.900
TOC	Masse-%	2,4	16,6	3,9	7,4	2,9	9,5
		Eluat					
pH-Wert		7,7	7,6	7,7	7,8	7,4	7,5
elektr. LF	µS/cm	1.290	3.100	1.250	1.970	1.300	1.065
As	µg/l	4,0	5,6	0,89	0,45	11	11
Pb	"	0,38	6,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cd	"	0,46	1,1	0,11	0,38	0,22	0,2
Cr	"	15	34	6,9	8,1	34	36
Cu	"	74	76	30	35	55	50
Ni	"	89	250	41	61	63	68
Hg	"	0,038	0,040	0,034	< 0,03	0,064	0,079
Zn	"	310	890	120	610	290	350
Al	"	310	340	530	190	230	180
B	"	550	1.230	560	640	430	520
S	mg/l	193	436	197	324	90,3	99,2
P	"	0,24	0,49	0,52	0,28	0,32	0,36
Cl^-	"	58	190	37	59	46	67
SO_4^{--}	"	430	1.200	500	930	250	300
AOX	µg/l	90	380	72	135	110	190
CSB	mg/l	250	1.070	116	125	315	415
TOC	"	110	408	47	53	128	190

Tabelle 3: Laborergebnisse LKA/LLB, Oberflächenwasser

Proben-Nr. Tgb.-Nr.: Proben-Nr. LKA Matrix:		2006P01821 Spur 6 Wasser Wasserhaltung vor	/	2006P01822 Spur 7 Wasser in Vorflut	2006P01823 Spur V Wasser Vorflut oberhalb	2006P01824 Spur 3 Sediment Ablaufgraben
Matrix: Oberflächenwasser / Sediment						
TR	% d. FS	-		-	-	44,4
pH-Wert		n.a.		n.a.	8,2	6,5
elektr. LF	µS/cm	n.a.		n.a.	401	3.970
As	µg/l	n.a.		n.a.	n.a.	5,7 mg/kg
Pb	"	0,34		0,25	0,33	6,9 "
Cd	"	0,13		0,14	0,20	< 0,1 "
Cr	"	0,56		0,68	1,2	10,0 "
Cu	"	2,8		0,83	0,84	7,3 "
Ni	"	1,1		0,43	0,60	4,6 "
Hg	"	n.a.		n.a.	n.a.	0,02 "
Zn	"	5,6		2,8	3,6	36,0 "
Mn	"	17,4		9,4	11,1	n.a.
Fe	"	< 100		< 100	< 100	n.a.
Al	"	n.a.		n.a.	228	n.a.
B	"	n.a.		n.a.	164	n.a.
S	mg/l	n.a.		n.a.	138	n.a.
P	"	n.a.		n.a.	0,2	n.a.
AOX	µg/l	28		32	16	n.a.
CSB	mg/l	16		15	15	n.a.
PAK	µg/l	0,15		n.a.	0,09	0,25 mg/kg
BHT	µg/l	61,1		45,7	16,7	n.a.
Phenol	µg/l	0,46		0,47	0,45	n.a.
p-Kresol	µg/l	0,22		0,025	0,025	n.a.

Tabelle 4: Laborergebnisse LKA/LLB, Oberflächenwasser

Proben-Nr. Tgb.-Nr.: Proben-Nr. LKA Matrix:		2006P01817 Spur 1 Wasser Ablauf Wasserhaltung	2006P01818 Spur 2 Wasser	2006P01819 Spur 4 Wasser Restlochwasser	2006P01820 Spur 5 Wasser
		Matrix: Oberflächenwasser			
pH-Wert		7,6	8,3	8,3	8,0
elektr. LF	µS/cm	1.138	1.015	602	206
As	µg/l	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Pb	"	1,1	0,62	0,31	0,08
Cd	"	0,15	0,09	0,12	< 0,07
Cr	"	6,4	5,4	1,8	0,32
Cu	"	2,1	1,4	1,2	0,58
Ni	"	8,9	7,1	0,85	0,34
Hg	"	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zn.	"	18,6	11,7	8,3	3,7
Mn	"	768	804	892	116
Fe	"	540	310	1.380	< 100
Al	"	183	255	234	374
B	"	454	420	286	272
S	mg/l	170	100	53,0	4,8
P	"	0,36	0,54	0,2	0,11
AOX	µg/l	64	70	20	< 10
CSB	mg/l	120	90	29	< 15
PAK	µg/l	0,32	n.a.	n.a.	n.a.
BHT	µg/l	5,1	11,6	32,4	10,3
Phenol	µg/l	0,62	0,58	1,01	0,48
p-Kresol	µg/l	4,7	7,5	0,29	0,05

„Die Gehalte an Kohlenwasserstoffen liegen bei 9 von 12 Proben deutlich über dem Zuordnungswert Z2 (1.000 mg/kg) der LAGA-TR. Der ermittelte max.- Wert erreicht 8.300 mg/kg, wobei ein möglicher biogener Anteil nicht zu quantifizieren ist. Die Gehalte an PAK liegen bei 1 Probe über dem Z2-Wert (20 mg/kg), ansonsten überwiegend im Bereich Z1.2 (5-15 mg/kg). Die Gehalte der Anionen Cl^- und SO^{2-}, liegen bei allen Eluat- und Sickerwasserproben oberhalb der Z2-Zuordnungswerte von 30 mg/l für Cl^- und 150 mg/l für SO^{2-}. Ermittelte max. Gehalte in mg/l: max. Cl^- 440 (Eluat), 1.300 (Sickerwasser); max SO^{2-}: 1.800 (Eluat), 1.200 (Sickerwasser). Die untersuchten Schwermetalle im Feststoff einschließlich Arsen können bis auf wenige Ausnahmen als unauffällig gelten. Lediglich die Gehalte der Elemente Pb und Zn liegen vereinzelt im Bereich Z2. Die Eluate weisen für die Schwermetalle Ni und Zn Gehalte der Kategorie > Z2 aus.“[2]

Tabelle 5: Laborergebnisse LKA/LLB, Sickerwasser

Tgb.-Nr. LLB / Proben-Nr. LKA		2006D00098		2006D00099	
Matrix:		Wasser		Wasser	
		Sickerwasser			
pH-Wert		6,6		6,4	
elektr. LF	µS/cm	6.590		14.720	
		gelöst	Aufschluß	gelöst	Aufschluß
As	µg/l	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Pb	"	34	174	55	143
Cd	"	3,3	4,3	1,5	3,7
Cr	"	98	94	116	133
Cu	"	58	156	50	110
Ni	"	179	161	392	424
Hg	"	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	"	1.100	1.210	2.310	3.825
Mn	"	6.755	6.665	22.070	22.200
Al	"	866	2.180	1.570	3.365
B	"	2.930	2.970	5.740	6.310
Fe	"	19.300	23.800	54.900	72.800
Cl^-	mg/l	500		1.300	
SO_4^{--}	"	810		1.200	
AOX	µg/l	140		300	
CSB	mg/l	4.700		15.000	
TOC	mg/l	1.820		5.970	

4.4 Gefährdungsbeurteilung des Gerichtsgutachters

Die Untersuchungsergebnisse des LKA wurden dem Gerichtsgutachter zur Verfügung gestellt. Der Gerichtsgutachter sollte sich zu folgenden Themen positionieren: Herkunft des Abfalls, fachgerechte Entsorgungswege, Zustand (Verrottungsgrad) der Abfälle, Indizien zu unerlaub-

tem Umgang mit gefährlichen Abfällen, auch Krankheitserreger, Geeignetheit für eine Gewässer- bzw. Bodenverunreinigung, Beeinträchtigung der Umweltmedien durch austretendes, erkennbar kontaminiertes Sickerwasser sowie austretende sauer, faulig, modrige Gerüche. Nachfolgend werden wesentliche Aussagen aus seinen Gutachten abrissartig exzerpiert.

Organoleptische Beurteilung durch den Gerichtsgutachter (zusammengefasst): Müll, <10% Steine, Glas, Papier, zerschredderte Teile aus Plast (u.a. blaue Müllsäcke), Tetrapackreste, Metall, Stoffreste, medizinische Reste (z.B. Mullbinden, Verbandmaterial, Handschuhe), zerschredderte Spanplatte und Holz, gummiertes Gewebe, organische Anteile in unterschiedlichen Verrottungsstadien. Mutmaßlich auch infektiöses Material (Escherichia coli, Enterokokken, Coliforme Keime sowie eine hohe Koloniezahl bei 200°C und Koloniezahl bei 360°C). Herkunft: Abfall (Müllreste) aus unterschiedlichen Bereichen (Privathaushalte, Gaststätten, Hotels, Krankenhäusern oder Pflegeeinrichtungen; geschredderte Abfälle aus Spanplatten und Holz, geringfügig Bodenanteil Grubenmaterial Sand/ Ton von der Abdeckung des Abfalls), Gerüche aus anaerobem Verrottungsprozess, der sich auch in den Parametern gemäß Tabelle 6 zeigt.

Tabelle 6: CSB-, BSB5- und TOC-Werte Sickerwasser

Probe	Spur 7	Spur 8
CSB-Gehalt in mg/ l	7.010	23.440
BSB_5-Gehalt in mg/ l	1.950	7.800
TOC-Gehalt in mg/ l	1.201	2.229

Feststoffproben: Sehr hoher S-Gehalt, aber sehr geringer SO^{-2}-Gehalt -> Bauschuttanteile vorhanden. Sulfid-Gehalt marginal -> Ursprung S-Gehalt mutmaßlich organisch (z. B. S-haltige Aminosäuren, mutmaßlich Stoffgewebe, Mullbinden z. B. mit Blutanteil, Haare, Federn, Knochen, Organoschwefelverbindungen, wie z.B. Sulfonamiden, hochwirksame Chemotherapeutika). Anaerober Schadstoffabbau lässt sich anhand Schwefelabbau darstellen, Tabelle 7.

Tabelle 7: Schwefel- und Sulfatgehalt des Abfalls

Probe	Spur 1	Spur 2	Spur 3	Spur 4	Spur 5	Spur 6
S-Gehalt in mg/kg	2.046	3.041	7.974	3.314	6.996	6.113
SO_4-Gehalt in mg/kg	190	138	203	258	138	435
Einstufung nach LAGA	Z 1.2	Z 1.1	Z 1.2	Z 1.2	Z 1.1	Z 2

Tabelle 8 bis Tabelle 10 enthalten die Ergebnisse der Labortanalytik der vom LKA entnommenen und vom Gerichtsgutachter ausgewerteten Proben.

Tabelle 8: Analytik Feststoff Abfall (Gerichtsgutachter) – rot Überschreitungen

Parameter	Einheit	074/06 1-P 601538	074/06 2-P 601539	074/06 3-P 601540	074/06 4-P 601541	074/06 5-P 601542	074/06 6-P 601543	BBodSchV- Ind.-u. Park- u.Freizeitanl. Prüfwert	Brbg. L. Kat. 1b Prüfwert	Bergbauerlaß Reststr. aus Baubereich Z 0/ Z 1.2	Bergbauerlaß Reststr. aus Baubereich Z 2
Arsen	mg/kg	2,41	3,48	4,67	2,77	3,47	3,36	125	7	20/ 50	150
Blei	mg/kg	55,2	106	27,6	121	83,2	123	1000	100	100/ 300	1000
Cadmium	mg/kg	0,426	2,49	1,88	0,427	2,14	0,665	50	1,5	0,6/ 3	10
Chrom, ges.	mg/kg	155	3700	19,4	35,8	44,7	35,1	1000	100	50/ 200	600
Cobalt	mg/kg	n.n.	49,7	3,49	3,65	3,84	3,65	-	100	-	-
Kupfer	mg/kg	33,3	156	28,7	163	178	61,9	-	100	40/ 200	600
Molybdän	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	-
Nickel	mg/kg	19,1	2250	10,3	19,0	46,4	24,2	350	50	40/ 200	600
Selen	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	-
Quecksilber	mg/kg	0,236	0,314	0,291	0,200	0,493	0,417	50	0,5	0,3/ 3	10
Thallium	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	0,5/ 3	10
Zinn	mg/kg	n.n.	11,6	4,08	20,5	6,58	4,15	-	100	-	-
Zink	mg/kg	192	349	161	409	444	419	-	300	120/ 500	1500
Vanadium	mg/kg	10,1	25,1	18,7	17,0	14,4	14,3	-	-	-	-
pH-Wert	-	7,03	7,07	7,12	7,23	6,47	6,78	-	-	-	-
MKW	mg/kg	601	263	2648	6081	3769	803	-	300	100/ 500	700
PAK	mg/kg	3,95	4,72	4,92	8,96	11,3	4,24	-	1	<1/ 3	20
PCB	mg/kg	0,010	0,012	0,227	0,055	0,046	0,012	2	1	0,02/ 0,5	1
Phenole	mg/kg	1,65	0,263	7,06	9,11	3,20	1,01		10	-	-
EOX	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,23	n.n.	-	-	-	-
Cyanid, ges.	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	1,17	n.n.	n.n.	50	25	1/ 30	100
Cyanid, l.f.	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	1	-	-
Phosphor, ges.	mg/kg	369	354	534	459	973	468	-	-	-	-
Schwefel, ges.	mg/kg	2046	3041	7974	3314	6996	6113	-	-	-	-
Stickstoff, ges.	mg/kg	740	910	650	1190	2880	900	-	-	-	-
Fluor, ges.	mg/kg	157	92	166	76	79	96	-	-	-	-
Chlor, ges.	mg/kg	639	8287	35430	5762	2912	1683	-	-	-	-
Heizwert	mJ/kg	n.n**.	n.n**.	n.n**.	n.n**.	n.n**.	n.n**.	-	-	-	-
TOC	%TS	5,3	13,7	8,0	3,4	12,8	5,1	-	-	-	-
TS Orig.Substanz	%	85,4	82,6	77,8	72,0	65,8	76,7	-	-	-	-
Phthalate	mg/kg	4,10	4,02	51,2	9,98	8,18	3,92	-	-	-	-
Organochlorpestizide								-	0,5	-	-
β-HCH	mg/kg	0,230	0,060	0,038	0,102	0,231	0,048	25	-	-	-
Dieldrin	mg/kg	0,028	n.n.	n.n.	n.n.	0,029	n.n.	-	-	-	-
4,4' DDT	mg/kg	0,061	n.n.	n.n.	n.n.	0,083	n.n.	200	-	-	-
Glühverlust	%TS	26,5	11,1	23,9	20,3	29,4	9,4	-	-	-	-
HCl-Test	-	+	++	+	++	+	++	-	-	-	-
Aussehen/Farbe	-	Abfall/bunt	Abfall/bunt	Abfall/bunt	Abfall/bunt	Abfall/bunt	Abfall/bunt	-	-	-	-
Mikrobiologie											
Escherichia coli	Anzahl/g	$1,0x10^4$	$1,0x10^1$	$2,0x10^2$	$2,1x10^1$	$9,0x10^1$	n.n.	-	-	-	-
Enterokokken	Anzahl/g	10^{-3} pos	10^{-3} pos	10^{-3} pos	10^{-3} pos	10^{-3} pos	10^{-3} pos	-	-	-	-
Coliforme Keime	Anzahl/g	10^{-3} pos	10^{-1} pos	10^{-3} pos	10^{-3} pos	10^{-3} pos	10^{-3} pos	-	-	-	-
Koloniezahl 20°C	Anzahl/g	$1,4x10^6$	$8,0x10^5$	$2,2x10^6$	$1,6x10^6$	$5,4x10^7$	$1,4x10^6$	-	-	-	-
Koloniezahl 36°C	Anzahl/g	$1,6x10^6$	$4,8x10^7$	$6,5x10^7$	$9,2x10^7$	$6,9x108$	$8,2x10^5$		-	-	-

Tabelle 9: Analytik Eluat Abfall und Sickerwasser (Gerichtsgutachter) – rot Überschreitungen

Parameter	Einheit	074/06 1-P 601538	074/06 2-P 601539	074/06 3-P 601540	074/06 4-P 601541	074/06 5-P 601542	074/06 6-P 601543	074/06 7-P 601536	074/06 8-P 601537	BBodSchV Wirk.Pfad Bo-GW Prüfwert	Brbg. L. Kat. I Prüfwert	Bergbauerlaß Reststr. aus Baubereich Z 0/ Z 1.2	Bergbauerlaß Reststr. aus Baubereich Z 2
Antimon	µg/l	4,9	5,12	8,04	8,52	9,71	4,70	6,79	7,02	10	-	-	-
Arsen	µg/l	7,25	5,44	4,75	n.n.	6,70	n.n.	2417	1919	10	40	10/ 50	100
Barium	µg/l	-	-	-	-	-	-	314	647	-	-	-	-
Blei	µg/l	16,4	11,7	7,47	4,38	12,7	14,9	581	250	25	40	20/ 100	200
Cadmium	µg/l	0,205	n.n.	n.n.	n.n.	2,03	n.n.	3,35	4,24	5	5	2/ 5	10
Chrom, ges.	µg/l	51,9	9,34	127	26,6	35,0	6,32	315	132	50	50	15/ 75	150
Chrom(VI)	µg/l	n.n.	n.n.	100	n.n.	30,0	n.n.	-	-	8	20	-	-
Cobalt	µg/l	6,24	4,31	11,1	12,2	19,0	3,22	28,3	54,2	50	50	-	-
Kupfer	µg/l	90,7	22,1	43,4	13,7	95,6	11,4	224	284	50	40	50/ 200	400
Molybdän	µg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	50	-	-	-
Nickel	µg/l	66,6	30,1	50,1	89,8	169	31,3	188	378	50	50	40/ 150	200
Selen	µg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	10	-	-	-
Quecksilber	µg/l	0,429	1,01	n.n.	n.n.	0,262	0,295	2,59	6,50	1	1	0,2/ 1	2
Silber	µg/l	-	-	-	-	-	-	4,14	2,04	-	-	-	-
Thallium	µg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	5
Zinn	µg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	112	144	40	40	-	-
Zink	µg/l	236	n.n.	126	53,3	609	53,8	1823	2226	500	1000	100/ 300	600
Vanadium	µg/l	-	-	-	-	-	-	39,8	105	-	-	-	-
Eisen	mg/l	0,946	0,344	0,475	3,86	1,05	1,54	26,7	81,4	-	-	-	-
Mangan	mg/l	0,936	0,703	0,808	1,67	3,15	1,45	7,14	17,4	-	-	-	-
Phosphor, ges.	mg/l	-	-	-	-	-	-	7,28	10,0	-	-	-	-
MKW	µg/l	n.n.	n.n.	n.n.	550	n.n.	n.n.	1563	6976	200	500	-	-
PAK	µg/l	1,62	0,625	1,37	3,89	1,02	1,23	6,96	23,5	0,20	5	-	-
PCB	µg/l	n.n.	n.n.	0,046	0,155	0,014	n.n.	n.n.	n.n.	0,05	0,5	-	-
Phenole	µg/l	7,15	1,14	6,38	4,49	2,72	2,43	18,7	17,4	20	10	-	-
AOX	µg/l	47	43	67	42	42	78	n.n.	320	-		<10/ 50	100
Phenolindex	µg/l	39	n.n.	48	292	243	70	-	-	-	-	<50/ 50	100
Fluorid	mg/l	0,3	0,1	0,4	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	750	1500	-	-
Chlorid	mg/l	18	7	22	20	19	15	139	136	-	-	200	
Sulfat	mg/l	190	138	203	258	136	438	n.n.	125	-	240	240	
Sulfid	mg/l	n.n.	n.n.	0,03	n.n.	0,02	n.n.	0,62	0,27	-	-	-	
Nitrat	mg/l	4	2	6	7	12	2	8	14	-	40	11,3/ 60	100
Nitrit	µg/l	60	10	110	90	100	40	800	440	-	100	30/ 500	1000
o-Phosphat	µg/l	200	100	300	200	400	200	2720	830	-	500	1000/ 3000	5000
Cyanid, ges.	µg/l	12	22	38	38	33	25	176	106	50	50	<10/ 50	100
Cyanid, l.f.	mg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,003	527	56	10	5	-	
pH-Wert	-	7,25	7,58	8,21	8,42	7,60	7,70	7,00	6,42	-	-	5-8/5-12	5-12
Leitfähigkeit	µS/cm	1060	845	864	3772	3200	1854	5470	10750	-	-	500/ 1000	1500
Ammonium	mg/l	1,0	n.n.	1,7	0,9	0,1	0,9	0,13	n.n.	-	500	-	-
Stickstoff, ges.	mg/l	-	-	-	-	-	-	0,12	n.n.	-	-	-	-
CSB	mg/l	-	-	-	-	-	-	7010	23440	150*	-	-	-
BSB_5	mg/l	-	-	-	-	-	-	1950	7850	40*	-	-	-
TOC	mg/l	121	20,0	318	290	710	110	1201	2229	-	-	-	-
lipophile Stoffe	mg/l	50	26	54	54	34	16	-	-	-	-	-	-
wasserl. Anteil	mg/l	0,005	0,082	0,183	0,241	0,265	0,217	-	-	-	-	-	-
Färbung	-	gelb	gelb	gelb	gelb	gelb	gelb	-	-	-	-	-	-
Trübung	-	trüb	trüb	trüb	trüb	trüb	trüb	-	-	-	-	-	-
Geruch	-	müllartig	müllartig	müllartig	müllartig	müllartig	müllartig	-	-	-	-	-	-

*nach Neufassung der Abwasserverordnung vom 14.10.2004 [17]

Tabelle 10: Analytik Grundwasser (Gerichtsgutachter) – grün Überschreitungen

Parameter	Einheit	GWM BP1	GWM BP2	BBodSchV Wirk.Pfad Bo-GW Prüfwert	Brbg. L. Kat. I Prüfwert	Bergbauerla ß Reststs. aus Baubereich Z 0/ Z 1.2	Bergbauerla ß Reststs. aus Baubereich Z 2
Arsen	µg/l	<5	14	10	40	10/ 50	100
Blei	µg/l	<5	35	25	40	20/ 100	200
Cadmium	µg/l	<0,05	<0,05	5	5	2/ 5	10
Chrom, ges.	µg/l	<5	<5	50	50	15/ 75	150
Chrom(VI)	µg/l	<10	<10	8	20	-	-
Cobalt	µg/l	-	-	50	50	-	-
Kupfer	µg/l	<10	<10	50	40	50/ 200	400
Nickel	µg/l	<10	24	50	50	40/ 150	200
Quecksilber	µg/l	<0,5	<0,5	1	1	0,2/ 1	2
Thallium	µg/l	0,61	<0,3	-	-	<1/ 3	5
Zinn	µg/l	<100	<100	40	40	-	-
Zink	µg/l	<20	49	500	1000	100/ 300	600
MKW	µg/l	<100	<100	200	500	-	-
Phenolindex	µg/l	<5	<5	-	-	<50/ 50	100
AOX	µg/l	<10	<10	-		<10/ 50	100
Fluorid	mg/l	-	-	750	1500	-	-
Chlorid	mg/l	-	-	-	-	200	-
Sulfat	mg/l	77	1520	-	240	240	-
Sulfid	mg/l	<0,1	<0,1	-	-	-	-
Nitrat	mg/l	21,7	<5	-	40	11,3/ 60	100
Nitrit	µg/l	<0,02	0,13	-	100	30/ 500	1000
o-Phosphat	µg/l	-	-	-	500	1000/ 3000	5000
Cyanid, ges.	µg/l	<0,01	0,01	50	50	<10/ 50	100
DOC	mg/l	11	16	-	-	-	-
TOC	mg/l	11	18	-	-	-	-
CSB	mgO_2/l	28,2	42,4	150*	-	-	-
BSB_5	mgO_2/l	<3	<3	40*	-	-	-

*nach Neufassung der Abwasserverordnung vom 14.10.2004 [17]

Der Gerichtsgutachter bejaht und begründet den unerlaubten Umgang mit gefährlichen Abfällen anhand der Beweiserhebung und bezieht sich dabei auf die Art der Abfälle selbst sowie auf die festgestellten Überschreitungen der einschlägigen Prüf- und Grenzwerte der BBodSchV und des brandenburgischen Baurestmassenerlasses.

Er bejaht auch die Geeignetheit für eine Gewässer- und Bodenverunreinigung anliegender Flächen einschließlich der Gefahr für das Grundwasser. Zu den hydrogeologischen Gegebenheiten führt er aus:

„Aufgrund der geologischen Situation steht im Liegenden des Bändertones gespanntes Grundwasser an. Deshalb sollte der Bänderton maximal nur 1 m über dem Liegenden abgebaut werden. Hydraulischer Kontakt zu GWL 2 existiert außerhalb des Restloches. Die Grundwasserfließrichtung wird durch die Havel als lokaler Vorfluter bestimmt und zwar von NW nach SE. Die Ergebnisse von Stichtagsmessungen im Jähre 1995 an den Pegeln PE 1 bis PE 3 ergab eine nach NNE orientierte GW-Fließrichtung. Diese Ergebnisse belegen, dass sich infolge der

Grundwasserabsenkung durch laufendes Abpumpen im Restloch die GW-Fiießrichtung im Untersuchungsgebiet und dessen Randbereichen von einer natürlichen NW-SE-Richtung auf eine SSW-NNE-Richtung geändert hat"[3].

4.5 Gefährdungsbeurteilung und Handlungsbedarf gemäß Bergamtsgutachter und vorgenommene ad-hoc-Maßnahmen

4.5.1 Gefährdungsbeurteilung

Bezüglich der Art der verbrachten Abfälle (Gemische aus Chemikalien aus industriellen Produktionsrückständen, Kühl- und Schmiermitteln, Farben und Lacken, Baustoffen, Altreifen, Kunststoffen, Schlacht[abfälle] und aus dem Gesundheitswesen) kam auch der Bergamtsgutachter mehr oder weniger unisono zu dem Ergebnis, dass es sich um problematische umweltgefährdende - insbesondere für Grund- und Oberflächenwasser - keimbelastete sowie kanzerogen, mutagen und fruchtschädigend wirkende Abfälle handelte. Der Bergamtsgutachter hatte die Aufgabe herauszuarbeiten, wie die Auswirkungen auf die Schutzgüter sein können und welche geeigneten (ad hoc) Abwehr- bzw. Überwachungsmaßnahmen vorgenommen werden sollten [8], [10], [11], [12], [14], [15]. Die Gefährdungsabschätzung kommt zu folgenden Ergebnissen:

„Nach den Untersuchungsergebnissen werden die zugelassenen Einlagerungskriterien überschritten. In Auswertung der vorliegenden Ergebnisse ergeben sich jedoch keine direkten Gefahren für den Wirkpfad Boden - Mensch durch die Inhaltsstoffe. Für die vor Ort festgestellten Gasemissionen infolge mikrobieller Zersetzung der organischen Inhaltsstoffe ist allerdings darauf hinzuweisen, dass das kleinräumige Auftreten toxischer bzw. explosibler Gaskonzentrationen unmittelbar am Arbeitsort nicht auszuschließen ist… Für den Wirkpfad Boden - Grundwasser konnten Kontaminationen durch Phenole, die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe, sowie Pentachlorphenol nachgewiesen werden. …[Der] *Phenolindex* [liegt] *erheblich über dem Prüfwert von 20 µg/l. Die CC-MS-Untersuchungen weisen deutlich Phenol und Kresole aus. Die Summe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (15 PAK nach EPA) überschreitet den Prüfwert von 0,2 µg/l erheblich. Pentachlorphenol wird mit Konzentration von 2,53 bzw. 1,10 µg/l festgestellt. …Auffällig ist die hohe Konzentration gelöster organischer Verbindungen (DOC) bzw. die Summe chemisch oxidierbarer Verbindungen (CSB). …Phenol und Kresole sind sehr gut biologisch abbaubar und werden mit hohen Geschwindigkeiten umgesetzt. …Der Nachweis von elementarem Schwefel in den Wasserproben und der Sedimentprobe gibt einen zusätzlichen Hinweis auf die Anwesenheit lösevermittelnder Komponenten und bereits abgelaufener anaerober Prozesse. Dies kann auch das Fehlen der Schwefelwasserstoffbildung erklären. Die festgestellten Stoffe und Stoffgruppen lassen sich Anstrichstoffen, Farben und Polymeren sowie biogenen und anthropogenen Fäkalinhaltsstoffen und Fettabbauprodukten zuordnen. Eine Vermischung von sog. Rechengut und Klärschlämmen aus Kläranlagen und unsortierten Gewerbe- und Baustellenabfällen ist möglich. …"[12]*

[3] Anmerkung des Autors: Wie in Kapitel 5 gezeigt wird, existieren zwei Grundwasserleiter mit unterschiedlicher Fließrichtung, aber nahezu gleicher Druckhöhe, getrennt durch den bezeichneten Liegendton. Dass die Grundwasserhydraulik durch die Wasserhaltung im Tagebau lokal gestört wurde und sich diese Störung zum betrachteten Zeitpunkt noch bemerkbar machte, ist nicht zu bestreiten. Der Gerichtsgutachter hebt auf den oberen GWL1 ab, der in Richtung Tornowfließ entwässert. Der untere GWL2 entwässert in die vom Gerichtsgutachter zuvor genannte Fließrichtung. Für die weitere Bewertung der Aussagen des Gerichtsgutachters ist die korrekte Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse bedeutsam.

4.5.2 Handlungsbedarf

„Die nachgewiesenen Stoffe der Feststoff- und Wasserproben sind den sog. kmf - Substanzen (kanzerogen - mutagen - fruchtschädigend) nach der Gefahrstoffverordnung zu zuordnen und erzeugen die Schutzstufe 4 bei Abriss- und Sanierungstätigkeiten. …Durch die Elution von vornehmlich hoch kondensierten PAK, wie Fluoranthen, Benzo(a)anthracen, Benzo(a)pyren sowie Benzo(ghi)perylen und Phenol und Kresolen sowie Pentachlorphenol ist Handlungsbedarf für das Schutzgut Grundwasser gegeben. … [Ein] *Unterbinden der Elution der Gefahrstoffe* [aus der Ablagerung] *sowie das Dekontaminieren des bereits kontaminierten Wasserkörpers* [ist erforderlich]*. Das Unterbinden der Elution der Gefahrstoffe muss für die aufgehaldete Ablagerung* [rückgewonnener Teil] *… und die noch vorhanden möglicherweise überdeckten Ablagerungen auf der Grubensohle … erfolgen. … Für die … noch vorhandenen Ablagerungen ist die Unterbrechung des Gefährdungspfades durch Unterbrechung des Sickerwasseraustritts vor Ort und/ oder die Entsorgung zu erreichen. Die Bereiche mit Schwarzfärbung in den Wasseransammlungen („Westsee") sind als kontaminierter Wasserkörper anzusehen. … Somit wird eine Abtrennung der schwarzgefärbten Wasserfläche von den noch nicht kontaminierten Bereichen unter Berücksichtigung der statischen und baulichen Gegebenheiten empfohlen. Unabhängig davon sind nach Entfernen der Ablagerungen Maßnahmen der Wasserreinigung durchzuführen. Dazu sind vorrangig in - situ - Maßnahmen zur Dekontamination unter Berücksichtigung des Grundwasseranstiegs zu diskutieren. Für die endgültige Festlegung der Sanierungsmaßnahmen sind technische Sanierungsuntersuchungen erforderlich.“[12]*

4.5.3 Maßnahmen 2006-2008

Seitens des Gutachters wurden Gefahrenabwehr- und Monitoringmaßnahmen empfohlen und im Zeitraum 2006 bis 2008 seitens des Bergamtes realisiert. Diese sind in [13], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [21], [22], [23], [24], [26], [26] dokumentiert. Nachfolgend wird die Zusammenfassung der Ergebnisse der Maßnahmen in [20] wiedergegeben. Abbildung 6 bis Abbildung 10 zeigen zeichnerische Darstellungen und Fotos der Maßnahmen:

„…Zur Vorbereitung des Monitorings wurden 7 Grundwassermessstellengruppen (GWM) mit insgesamt 23 Einzelmessstellen nach den Vorgaben des LBGR ausgebaut, sowie 2 Oberflächenwassermessstellen mit Lattenpegel (OWM) errichtet und untersucht. Die nunmehr vorliegenden Ergebnisse der Monitoringrunde vom Juni 2007 ergänzen und bestätigen die bisherige Bewertung der geohydraulischen Situation und Grundwasserbeschaffenheit.

Die Trendlinie zum Anstieg der Oberflächenwassers im Westsee wird durch die Messungen 06/2007 bestätigt. Eine erste Etappe der Auffüllung wird im Juni 2007 mit Erreichen der Höhenlinie 45,6 m erreicht. Die Hydroisohypsen im ersten Grundwasserleiter zeigen deutlich die entlastende Wirkung der Tongrube. Bis zum Ausgleich der Höhendifferenz und erfahrungsgemäß darüber hinaus fließt das Grundwasser von allen Seiten der Tongrube zu. Derzeit besteht kein hydraulischer Kontakt zum umliegenden Siedlungsgebiet. Der sich künftig einstellende Abstrom des Oberflächenwassers wird nach Osten auf den Havelbogen gerichtet sein. Damit ist eine Beeinflussung des Grundwassers im Bereich der westlich und nördlich gelegenen Siedlungen Marienthal und Tornow durch Oberflächenwasser der Tongrube nicht möglich.

Die Laboranalytik wurde entsprechend der „Technischen Regeln für die Überwachung von Grund-, Sicker- und Oberflächenwasser sowie oberirdischer Gewässer bei Abfallentsorgungsanlagen, WU 98, Teil I", der LAGA sowie nach den Prüfwerten nach BBodSchV; Anhang 2, 3.1 Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkpfades Boden-Grundwasser ausgewählt. Durch diese Parameterauswahl wurde sichergestellt, dass mögliche Einflüsse von Deponie und Ablagerung auf das Grundwasser erfasst werden. Die Anwendung der Prüfwerte nach BBodSchV zielt auf die Beurteilung möglicher Austräge aus dem Boden ab. Aufgrund der geringen Konzentrationen der untersuchten Parameter wurden Hintergrundwerte für Grundwasser aus dem „Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg 1995 - 2000" … herangezogen.

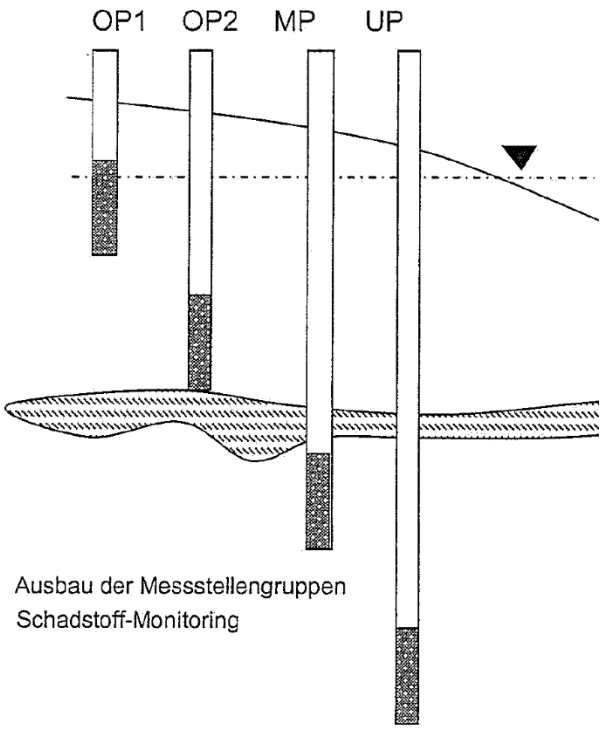


Abbildung 6: Prinzipdarstellung Grundwassermessstellenausbau

Abbildung 7: Grundwassermessstellengruppe

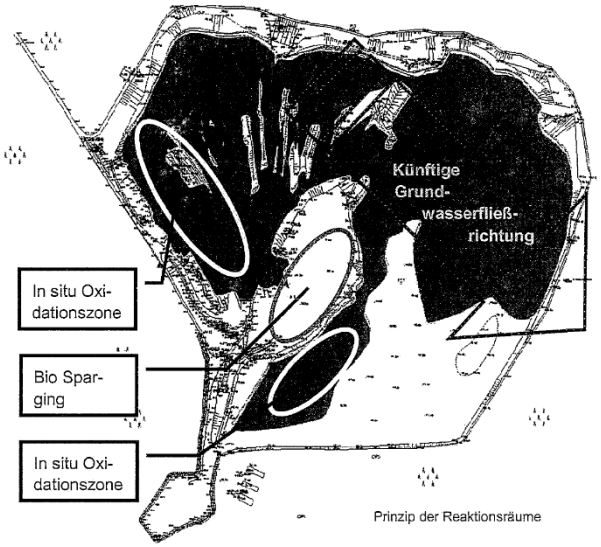


Abbildung 8: Prinzipdarstellung Gewässersanierung, Lageplan

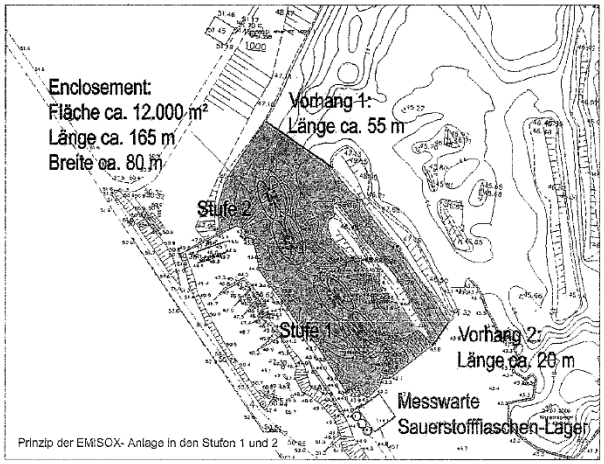


Abbildung 9: Prinzip Enclosememt Tagebausee, Lageplan

Abbildung 10: Enclosememt Tagebausee

An den Grundwassermessstellen GWM 7 MP im Anstrom sowie GWM5-OP2 im künftigen Abstrom der Tongrube liegen formal Überschreitungen des Prüfwerte von 0,01 mg/l für Arsen nach BBodSchV zur Beurteilung des Wirkpfades Boden-Grundwasser mit 0,013 bzw. 0,015 mg/l vor. Ein Einfluss der Ablagerungen im Westsee auf diese Messstelle wird unter Verweis

auf die hydraulische Situation ausgeschlossen. Ein vorbergbaulicher Einfluss der Havelsedimente kann für GWM5-OP2 diskutiert werden. Bei den im 1. Grundwasserleiter entnommenen Grundwasserproben wurden teilweise die Hintergrundwerte im Land Brandenburg … für die Parameter Ammonium, Nitrat, Sulfat und Kalium überschritten. Dieser Umstand zeigt, dass bereits das anströmende Grundwasser anthropogen beeinflusst ist. Die geringfügige Überschreitung der Prüfwerte nach BBodSchV für den Parameter Arsen wird mit dem Herbstmonitoring überprüft.

Aufgrund der gemessenen Wasserstände wird im Bereich des Westsees eine Entlastung des 2. Grundwasserleiters in den 1. Grundwasserleiter bestätigt. Als Ursache kann eine Störung der Tonschicht, die den 1. vom 2. Grundwasserleiter trennt, diskutiert werden. Großräumig ist der Abstrom des Grundwassers im 2. Grundwasserleiter nach Südost in Richtung Havelbogen ausgebildet, Damit ist zu keinem Zeitpunkt eine Beeinflussung des Grundwassers im Bereich der westlich und nördlich gelegenen Siedlungen Marienthal und Tornow durch den Abstrom im 2. Grundwasserleiter möglich, Auch im zweiten Grundwasserleiter sind anthropogene Beeinflussungen erkennbar. …

Das Oberflächenwasser wird im Bereich des durch die Ablagerung beeinflussten Westsees (OWM1) und im Bereich des künftigen Abstroms im Osten (OWM3) beprobt. Im Gegensatz zu den mit Beginn der Grubenauffüllung analysierten Proben werden im Oberflächenwasser keine gefahrdrohenden Stoffkonzentrationen gemessen. Die Grundwasseranalysen weisen ebenfalls keine gefahrdrohenden Stoffkonzentrationen auf. Die Prüfwerte nach BBodSchV; Anhang 2, 3.1 Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkpfades Boden-Grundwasser werden von keiner Oberflächenwasserprobe überschritten. Insgesamt wurden bei der Monitoringrunde geringe Konzentrationen der untersuchten Parameter ermittelt.

Gemäß der Empfehlung des Bergamtsgutachters für Gefahrenabwehrmaßnahmen für das ansteigende und durch die verbliebene Ablagerung anfangs erheblich beeinträchtigte Oberflächenwasser im Restloch wurden gemäß [23] folgende Maßnahmen geplant und realisiert:

„1. Stufe: Formierung eines Enclosements und Betrieb eines EMISOX-Systems (Enclosed mixed in-situ Oxidation) im Süden des Westsees und Gewinnung von Basisinformationen für eine ggf. großflächige Maßnahme.

2. Stufe: Monitoringweiterführung im Enclosement und Realisierung von Sauerstoffgaseinträgen in die Ablagerungen im Uferstreifen zu deren Aerobisierung.“

Die Methodik wird in [23] wie folgt beschrieben:

„In der Stufe 1 (01.11.2006 - 16.03.20072 wurde das Enclosement durch die Installation einer vertikalen Teichfolie im südlichen Teil des Westsees formiert. Es kam ein EMISOX-System, bestehend aus 2 Injektorbelüftern mit Wirkstoffleitungen zur zusätzlichen Dosierung von Wasserstoffperoxid zum Einsatz. Im Reaktionsraum wurden seeintegrierte Sensorketten schwimmfähig verankert und stündlich Messdaten zur Kontrolle der Beschaffenheit gewonnen. Zusätzlich wurden nach einer Nullbeprobung am Ende verschiedener Versuchsetappen Seewasserproben gewonnen und diese auf pH-Wert, Temperatur, Sauerstoffgehalt, Eh-Wert, Leitfähigkeit sowie die Inhaltsstoffe PAK, Phenolindex, Abdampfrückstand, CSB, BSB und DOC untersucht. Zeitgleich erfolgten Kohlendioxid- und Methanmessungen in der Luft. …

In der Stufe 2 (02.07.07 - 31.03.08) wurde das Monitoring im Enclosement weitergeführt (Schadstoffuntersuchungen im Seewasser - Programm Stufe 1 - im monatlichen Abstand, insitu Parametergewinnung stündlich, Untersuchung einer Grundwasserprobe aus dem Uferbereich und einer Feststoffprobe aus der Kolmationsschicht, Luftanalysen über dem Seewasser auf Kohlendioxid und Methan). Im Grundwasserzustrom zum Enclosement wurden drei Gaslanzen für Direktgasinjektionen mit Sauerstoff errichtet. Der Standort lag im Bereich vermuteter Abfälle. Zur Überwachung der Gaseinträge, der Ausgasungsintensität und der Änderung der Gaszusammensetzung kam u.a. ein subaquatischer Gaskollektor zum Einsatz.“

Zu den Ergebnissen der Maßnahmen bezüglich des Restlochwassers wurde in [20] weiter ausgeführt:

„Im Ergebnis der 1. Stufe zur Gefahrenabwehr Seewasser konnte nachgewiesen werden, dass sich aerobe Verhältnisse im Oberflächenwasser bereits nach kurzzeitigen Luftinjektionen erzeugen lassen, so dass bereits Anfang März 2007 die aktive Oberflächenwasserbelüftung eingestellt werden konnte. Die permanent aus dem Seeboden aufsteigenden Gase deuten jedoch weiter auf mikrobiologische Abbauprozesse unter Sauerstoffzehrung im Untergrund hin. Die gemessenen Konzentrationen für Methan, Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid können im Winter und bei Inversionswetterlagen zu gefahrdrohenden Gasansammlungen unter Eisflächen bzw. direkt über dem Seewasserspiegel führen.

Die Gefahrenabwehrmaßnahmen im Westsee - 2. Stufe werden ab Mai 2007 als Monitoringphase unter Vorhaltung einer Wasserstoffperoxid-Zudosierung weitergeführt. In der Stufe 2 soll mit der Errichtung von 3 Gaslanzen geprüft werden, ob durch die direkte Zufuhr von gasförmigem Sauerstoff in den Untergrund eine ausreichende Aerobisierung der verkippten Abfälle erreichbar ist und ob sich durch eine solche Maßnahme die weitere Ausgasung durch den Seeboden absenken lässt. Dadurch würde eine weitere Reduzierung des Gefahrenpotenzials der Ablagerung erreicht werden."

Die Weiterführung des Grund- und Oberflächenwassermonitorings 2007 ist in [22], [23], [26] mit folgenden Aussagen dokumentiert (zusammengefasst):

Der Wasseranstieg im Restloch nähert sich dem erwarteten Ruhewasserspiegel. *„…Das Grundwasser des oberen Grundwasserleiters floss im Frühsommer noch aus allen Richtungen der Tongrube zu, so dass zu diesem Zeitpunkt kein hydraulischer Kontakt zum umliegenden Siedlungsgebiet bestand. … Im Herbstmonitoring ist im oberen Grundwasserleiter ein Zustrom des Grundwassers vom Südwesten, Westen und Nordwesten zur Tongrube erkennbar. Im östlichen Bereich deutet sich seit Oktober 2007 ein Abstrom Osten (in Richtung Havelbogen) an. Nach wie vor ist keine Beeinflussung des Grundwassers im Bereich der westlich und nördlich gelegenen Siedlungen Marienthal und Tornow durch Oberflächenwasser der Tongrube möglich. … Im 2. Grundwasserleiter ist ein Abstrom nach Südost in Richtung Havelbogen ausgebildet. …"* Im oberen Grundwasserleiter gibt es Überschreitungen der Hintergrundwerte im Land Brandenburg für Ammonium, Nitrat, Sulfat und Kalium, was aber, da auch im Anstrom festgestellt, auch auf äußere Einflüsse zurückgeführt wird. Bei Ammonium, Kalium, Arsen, Blei, Cadmium und Nickel sowie in allen Proben für die Parameter Eisen gesamt und Mangan werden die TVO-Werte überschritten. Bei Arsen wird der Prüfwert nach BBodSchV überschritten. *„…Ein Einfluss der Ablagerungen im Westen wird unter Verweis auf die hydraulische Situation ausgeschlossen"…*

In [26] sind folgende Aussagen dokumentiert:

„Die Tongrube Marienthal-Trottheide ist mit zuströmendem Grundwasser bis zu einer Höhe von 46,4 m NHN aufgefüllt, was in etwa dem vorbergbaulichen Niveau entspricht. … [Im] *Pegel GWM 2/2006 0P* [ist eine] *ungewöhnlich hohe Konzentration an Kalium …* [und] *mit 23,4 mg/l noch eine erhebliche Konzentration an Nitrat* [vorhanden]. *Offensichtlich werden hier sehr nährstoffhaltige Einträge in das Grundwasser erfasst. … Sehr hohe Konzentrationen an Kalzium weisen die Pegel GWM 6/2006 0P, 7/2006 0P und 2/2007 auf. Betrachtet man aber die Konzentrationen der anderen Kat- und Anionen, scheint es sich um unterschiedliche Beeinflussungen zu handeln. Während an den Pegeln GWM 6/2006 0P und 7/2006 0P sehr hohe Konzentrationen an Sulfat und auch deutlich erhöhte Konzentrationen an Chlorid gemessen werden, sind diese Anionen am Pegel GWM 2/2007 völlig unauffällig. Aber auch zwischen den Pegeln GWM 6/2006 0P und 7/2006 0P sind leichte Unterschiede in der Zusammensetzung der Kationen, insbesondere bei Magnesium, zu verzeichnen.*

In einigen der Grundwässer wurden teils erhebliche Konzentrationen an Arsen gemessen. … [D]*[d]ie Konzentrationen an Arsen und Eisen* [korrelieren] *sehr gut [korrelieren]. Möglicherweise wird unter den stark anaeroben Bedingungen einiger Pegel geogen bedingtes Arsen gelöst.*

Insgesamt ist festzustellen, dass die pH-Werte aller Pegel im Bereich der Sättigungs-pH-Werte liegen. Aufgrund der vergleichsweise hohe Konzentrationen an Hydrogencarbonat sind die

Grundwässer gut gepuffert. Aktuell besteht nach meiner Ansicht keine Gefahr einer Versauerung der Wässer und der damit verbundenen Möglichkeit einer Freisetzung von Schwermetallen."

Die Aussagen werden in [26] mit leichten Verschiebungen im Wesentlichen bestätigt.

4.5.4 Resümee über die Gutachten und Maßnahmen zur Gefahrenabwehr 2006-2008

Die seitens des Bergamtes nach der Aufdeckung des Tatbestands der illegalen Abfallverbringung im Tagebaurestloch ergriffenen Maßnahmen sind nach Einschätzung des Autors in den Archivunterlagen des Bergamtes hinreichend und aller Wahrscheinlichkeit nach nahezu vollständig dokumentiert. Die Arbeit des Bergamtsgutachter ist durch zahlreiche Dokumente belegt. Seine in den Abschnitten 4.5.1 bis 4.5.3 exzerpierte fachliche Tätigkeit belegt seine fachgutachterlich sorgfältige Arbeit.

Der geborgene Teil der Abfälle wurde ordnungsgemäß entsorgt. Der auf der Restlochsohle verbliebene Teil der Abfälle geriet allerdings durch das aufsteigende Grubenwasser unter Wasser. Das Sickerwasser konnte somit weiterhin in das Grubenwasser einwandern. Anhand gutachterlicher Untersuchungen wurden Maßnahmen der Eingrenzung und in situ-Reinigung des betroffenen Wasserkörpers durchgeführt. Es sind 7 Mehrfach-Grundwassermessstellen um das Restloch installiert worden. Das anschließende Grundwassermonitoring konnte zeigen, dass keine signifikante Gefahr durch Übertritt des Grubenwassers in das Grundwasser besteht. Insbesondere wurde gezeigt, dass beide Grundwasserleiter zwar in unterschiedliche Richtungen, jedoch immer in Richtung Vorflut entwässern. Insbesondere die Befürchtung, dass Hauswasserbrunnen in den Anrainerortschaften betroffen sein könnten, konnte ausgeschlossen werden. Insgesamt betrachtet durfte ab Ende 2008 davon ausgegangen werden, dass die akute Gefahrenabwehr erfolgreich ausgeführt worden ist und dass die Weiterführung des Grund- und Oberflächenwassermonitorings hinreichend für die weitere Überwachung des Standortes ist.

4.6 Einlassung des Gerichtsgutachters auf die Feststellungen und Empfehlungen des Bergamts-Gutachters

Vom Staatsanwalt im zeitlich parallel stattfindenden Gerichtsverfahren verlangt, erstellte der Gerichtsgutachter Stellungnahmen zu den vom Bergamtsgutachter vorgelegten Gutachten, so zunächst das Gutachten vom 16.10.2006 [6]. Da die Aufforderung an ihn nur pauschal und telefonisch vorgetragen worden war, sah sich der Gerichtsgutachter veranlasst (möglicherweise auch mit Blick auf die Beförderung einer angemessenen Verurteilung), weitgreifende Gefahrenszenarien für die Umwelt und die Gesundheit der Bevölkerung zu diskutieren, wobei er gegenüber den Gutachten des Bergamtsgutachters nicht an Kritik sparte, siehe Ausführungen in Abschnitt 4.2.

Schlussfolgernd sieht er den Umfang der Untersuchungen des Bergamtsgutachters als nicht annähernd hinreichend an: *„Die Probennahme entspricht damit nicht der BBodSchV und kann deshalb keine ausreichende Basis für eine fundierte Gefährdungsabschätzung liefern."* Er diskutiert weitere Schadstoffparameter, insbesondere auch organische, und formuliert *„Bei der organoleptisch bekannten Zusammensetzung der in die Tongrube eingebrachten Abfälle ist das Nichtuntersuchenlassen der organischen Komponenten und die Aussage, dass für den Menschen keine Gefahr von den eingebrachten Abfällen ausgeht, unakzeptabel."*

Aus seinen Bewertungen leitet er ab, dass für die vom Bergamtsgutachter vorgeschlagenen *„Sanierungsmaßnahmen, die jetzt ergriffen werden sollen, eine Umweltverträglichkeitsprüfung unumgänglich* [ist]. *Blinder Aktionismus richtet nur Schaden an.“*[4]

Zu sich wieder einstellenden hydrogeologischen Verhältnissen schreibt er: *„Geologische Profile des Tagebaurestloches des Ergebnisberichtes zur Kontamination im östlichen Bereich des Tontagebaurestloches Marienthal …*([8]) *zeigen auf, dass der Wasserspiegel im Teich damals oberhalb der Schluffschicht stand und im Bereich der Mittel-/Feinsande Kontakt mit dem Grundwasser existierte. Es ist nicht auszuschließen, dass dieser Kontakt beim weiteren Ansteigen des Wasserstandes wieder erfolgt. Die geologischen Schichtenschnitte* [A. d. Autors: unverritztes Gelände vor Tagebaubetrieb] *… weisen einen zu erwartenden Wasserspiegelstand nach Einstellung der Wasserhaltung adäquat des Havelwasserstandes im Bereich der Talsande aus.“* Hieraus leitet er ohne weitere Betrachtung der weitergreifenden hydrogeologischen Verhältnisse (siehe Kapitel 5) ab: *„Da in Marienthal noch Trinkwasser aus dem ersten, unbedeckten Grundwasserleiter entnommen wird, besteht hier eine große Gefahr. Eine Flutung der Grube im jetzigen Zustand kann zu einer wesentlichen Verschlechterung der jetzigen Situation führen. Entsprechend dem Verteilungsgleichgewicht wird eine Nachlieferung an PAK, Phenolen, Kresolen und Pentachlorphenol sowie auch an Organochlorpestiziden, wie Dr. Beerbalk schon ausführte, durch Elution aus dem abgelegenen Müll erfolgen. Entscheidend für einen Sanierungserfolg ist die Unterbindung der weiteren Elution“.*

In einem weiteren Gutachten zu vom Bergamtsgutachter vorgelegten Dokumenten, datiert vom 18.10.2007 [7], lässt er sich wie folgt ein:

„Er [Bergamtsgutachter] *führt dann aus:*

1. *‚Mit dem Anstieg des Grundwassers wurden Schadstoffe aus der verbliebenen Ablagerung extrahiert und das aufgehende Grundwasser zusätzlich mit organischen Inhaltsstoffen und Faulgasen belastet. Dies führte neben der Einlösung krebserregender Substanzen in des Oberflächenwasser zu großflächigen Sauerstoffzehrungen und Milieuänderungen des Wasserkörpers.‘*
2. *Durch die Sicherungsmaßnahme (Grund- und Oberflächenwassermonitoring sowie Biooxidation im Oberflächenwasser) werden derzeit der Rückgang der gelösten Schadstoffe im Oberflächenwasser und der Sauerstoffanstieg sowie die Manifestation der Schadstoffe im Sediment dokumentiert. Deutlich sichtbar sind jedoch die Ausgasungen im Westsee mit erheblichen Methan- und / oder Schwefelwasserstoffgehalten wechselnder Konzentrationen.‘*

Keinerlei Aussage wird aber zur Problematik der verbliebenen Abfälle und der Reaktionen unter Wasser getroffen. Die Aussage unter 2. ist ausgesprochen falsch, der Gutachter widerspricht sich in diesem Absatz selbst:

a. *Eine Sicherungsmaßnahme ist ein Monitoring nur dann, wenn damit nachgewiesen werden kann, dass eine Ausbreitung der Schadstofffahne in Richtung der Oberflächenfließgewässer und der Trinkwasserbrunnen vermieden wird. Da alle Monitoringpegel aber nach der im zweiten Bericht* [des Bergamtsgutachters] *beiliegenden Karte sich innerhalb der ehemaligen Tongrube befinden*[5]*, ist keine Aussage hinsichtlich eines Mobilitätsstops der gelösten Schadstoffe möglich.*

---

[4] Anmerkung des Autors: Eine Umweltverträglichkeitsuntersuchung wird für weitergehende Sanierungsmaßnahmen, die auf der Grundlage eines neuen Abschlussbetriebsplans erfolgen müssen, schon wegen der naturrechtlichen Einordnung des Gebiets erforderlich werden. Bei ad hoc Maßnahmen, die eine unmittelbar Gefahrenabwehr bedeuten, wäre mit einer vorauslaufenden Umweltbetrachtung eine Verzögerung mit einer weiter fortschreitenden Gefahrenerhöhung verbunden gewesen.

[5] Anmerkung des Autors: Tatsächlich kann mit allen errichteten Grundwassermessstellen das An- und Abstromverhalten des Grundwassers kontrolliert werden. Das schematische geologische Leitprofil (Abbildung 11) zeigt, dass es keine „Ränder“ um das Restloch gibt, die einen Einfluss auf die Strömungs-

b. Es fehlen Pegel außerhalb der Grube in südlicher Richtung (der natürlichen Grundwasserabflussrichtung vor der bergbaulichen Sumpfung), um als Vorwarnpegel zu dienen und so eine Ausbreitung oder Nichtausbreitung der Schadstofffahne zu dokumentieren. Das würde eine wirkliche Sicherungsmaßnahme darstellen.

c. Von einer Manifestation der Schadstoffe im Sediment kann nicht ausgegangen werden, da der Gutachter selbst davon spricht, dass deutlich sichtbar jedoch die Ausgasungen im Westsee mit erheblichen Methan- und / oder Schwefelwasserstoffgehalten wechselnder Konzentrationen sind'. Diese Aussage beweist damit das glatte Gegenteil, d.h., es finden weiterhin Lösungs- und Reaktionsprozesse unter Wasser statt. Desweiteren wäre es erforderlich, dass der Gutachter den Mechanismus der Ausfällung oder der Adsorption der im Juni 2006 ermittelten Schwermetalle sowie organischen Schadstoffe naturwissenschaftlich erklärt, um diese Manifestation im Sediment zu belegen.

d. Außerdem ist eine Manifestation von Schadstoffen in einem Gewässersediment als Sicherungsmaßnahme in Deutschland verboten! Die Rechtsauffassung des Bundesumweltministeriums ist, dass ein Umlagern von Baggergut oder Gewässersedimenten nur zulässig ist, wenn bereits vor Beginn der Maßnahme feststeht, dass den umgelagerten Sedimenten im Gewässer eine verkehrliche, hydrologische, morphologische oder gewässerwirtschaftliche Funktion zukommt. Das ist im dargestellten Fall nicht der Grund, sondern es würde sich um eine illegale Ablagerung von gefährlichen Abfällen handeln, wenn die Manifestation der Schadstoffe im Sediment vorgenommen wird.

Es wird kein Vorschlag unterbreitet, wie mit den verbliebenen Stoffen umgegangen werden sollte. Und das insbesondere unter Berücksichtigung der Trendbetrachtung im zweiten Bericht, ‚es ist davon auszugehen, dass der Seewasserspiegel mit Erreichen der Höhenlinie 45,60 m im Juni/Juli 2007 das Wasserspiegelniveau zur Havel ausgleicht. Bis zum Ende 2007 kann mit ersten Anzeichen einer beginnenden Einstellung der vorbergbaulichen Abflussverhältnisse gerechnet werden.'."

4.7 Streitpunkt „objektive, akzeptable" Gefährdungsbeurteilung

Die Dokumente zeigen, dass der Bergamtsgutachter die Umweltauswirkungen im Sinn einer Gefährdungsabschätzung beurteilte. Er benannte die Emissionspfade Grund- und Oberflächenwasser sowie Luft und empfahl die Beseitigung aller noch über Wasser zugänglichen Abfallablagerungen, die Dekontamination des bereits verunreinigten Wasserkörpers und ein Monitoring nach Errichtung von 7 Mehrfachgrundwassermessstellen um das Restloch. Die Maßnahmen wurden sofort in die Wege geleitet, erste Ergebnisse der Dekontamination und des Monitorings lagen innerhalb eines Dreivierteljahres vor. Die Untersuchungen und Empfehlungen des Bergamtsgutachters sorgten dafür, dass vor dem Hintergrund des steigenden Wasserspiegels im Restloch nach Einstellung der Wasserhaltung eine rasche Entsorgung des geborgenen Teils der Ablagerung bzw. eine Einhegung der ausgehenden Emissionen in das Oberflächen- und Grundwasser sowie die Luft stattfinden konnten.

Die unterschiedlichen Sichtweisen der beiden Gutachter können aus heutiger Sicht folgendermaßen eingeordnet werden: Die Aufgabe und das Ansinnen des Bergamtsgutachters war es, unmittelbare Gefahrenabwehr zu betreiben. Das bedeutete, so rasch wie mögliche eine Verringerung der verbleibenden Abfallmenge an sich und für den verbleibenden Teil eine weitgehende Eindämmung der Emissionen zu erreichen. Insbesondere darf man, auch mit Blick auf den seitens des Gerichtsgutachters für erforderlich gehaltenen totalumfänglichen Sanierungsansatz, den Aspekt der Verhältnismäßigkeit nicht vernachlässigen. Entsprechend den vorliegenden Monitoringgutachten hatten sich stationäre hydro(geo)logische Verhältnisse eingestellt, die eine hinreichende Überwachung zuließen. Der Umfang der Schadstoffemission in

situation See-Grundwasser haben können, sieht man von möglichen grundsätzlich typischen Grenzflächenanomalien am Tagebaurand ab, die jedoch in allen Fällen zwischen Seewasser und Grundwassermessstelle liegen, weshalb die Messstellen das Grundwasser und nicht das Seewasser erfassen. Die obigen übrigen Punkte sind ebenfalls vor diesem Hintergrund zu lesen.

die Hydrosphäre konnte zunächst als nicht erheblich für die Schutzgüter eingeschätzt werden. Insbesondere konnte keine Schadstoffausbreitung im Grundwasser festgestellt werden, die sich signifikant vom Hintergrundbild abhob.

Hinzu kommt, dass der Ansatz des Gerichtsgutachters, eine Totalberäumung vorzunehmen, zunächst eine erhebliche zusätzliche Mobilisierung von Schadstoffen und einen massiven Eingriff in den umliegenden Naturraum bedeutet hätte. Insofern erscheint es im Rückblick vernünftig gewesen zu sein, mittels engmaschigen periodischen Monitorings die Entwicklung der Schadstoffemission in das See- und Grundwasser zu überwachen.

Nun hatte sich eine Bürgerinitiative mit dem Ziel gegründet, implizit die Totalsanierung des Restlochs zu erzwingen. Sie stützt sich dabei ausschließlich auf die Aussagen des Gerichtsgutachters, der eine erhebliche potenziell zunehmende Gefährdungslage für die Schutzgüter, insbesondere für die menschliche Gesundheit gezeichnet hatte. Insgesamt hielt jener die vom Bergamtsgutachter vorgenommenen Untersuchungen und abgeleiteten Handlungsempfehlungen für in keiner Weise hinreichend und bezeichnete sie als ungenügend, fehlerhaft und widersprüchlich. Er entwarf progressiv verlaufende Schädigungsszenarien infolge weitreichender erheblicher Emissionen in das Grundwasser und postulierte eine zunehmend kritischer werdende gesundheitliche Bedrohungslage, insbesondere für die in den Ortschaften vorhandenen Hauswasserbrunnen. So diskutierte er die Elution von hoch kondensierten PAK, Phenolen, Kresolen und Pentachlorphenol in den Wasserkörper, aber auch die Verbreitung von gesundheitsgefährdenden Keimen über das Grundwasser in Richtung dieser Brunnen als auch in Richtung weiter entfernt liegender abstromiger Wasserfassungen. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die beiden Grundwasserkörper jeweils in die nahe gelegene Vorflut (Tornowfließ bzw. Havel) entlasten, sich die bezeichneten Wasserfassungen aber eher in anstromiger Richtung bzw. jenseits der Vorflut befinden.

Der Gerichtsgutachter unterbreitete in Richtung Staatsanwaltschaft in [5] einen eigenen Sanierungsvorschlag, der einer Totalsanierung mit umfangreichem, weit reichendem nachsorgenden Monitoring entsprach. Er könnte damit als Vorlage für den Fall dienen, dass sich aus dem initiierten und nach wie vor stattfindenden Monitoring eine wieder zunehmende Gefahrenlage abgezeichnet hätte. Die massiven Einlassungen des Gerichtsgutachters können dementsprechend nur als Beitrag für eine empfindliche Verurteilung der Schadensverursacher als fachlich akzeptabel angesehen werden. Tatsächlich konnte aber bis heute eine Wiederzunahme der Gefährdungen nicht verifiziert werden.

Die Bürgerinitiative beharrt allerdings bis heute auf ihrem Standpunkt, einzig den Darstellungen des Gerichtsgutachters folgen zu wollen, und lehnt jegliche anders geartete Aussagen aller übrigen Gutachter ab, indem sie jene, auch basierend auf Aussagen des Gerichtsgutachters, entweder als völlig unzureichend oder als willfährig abtut. Über den Weg fortgesetzten Insistierens und mit Unterstützung eines Umweltverbandes (e.V.) wirft sie dem Bergamt mittels Eingaben in Verbindung mit Klagedrohungen und einseitig-populistischer und herabwürdigender Öffentlichkeitsarbeit anhaltende Untätigkeit vor und versucht implizit, die Vornahme der Totalsanierung zu erzwingen.

An dieser Stelle soll auf Punkt c im Abschnitt 4.6 näher eigegangen werden. Das dort diskutierte Szenario eines potenziellen Austrags über das Sediment in das Seewasser erscheint aus späterer Sicht tatsächlich seinerzeit nicht hinreichend betrachtet worden zu sein, wohl auch, weil zunächst angenommen werden durfte, dass mit den getroffenen Sicherungs- und Überwachungsmaßnahmen hinreichend Vorsorge getroffen sei. Tatsächlich kann man jedoch solche Entwicklungen nur am Ort des Geschehens hinreichend beurteilen.

Es darf daher festgehalten werden, dass es, auch im Nachhinein beurteilt, vernünftig war, dass das Bergamt dem fortgesetzten Drängen der Bürgerinitiative schließlich nachgab. Ab 2011 wurde eine erneute Gefährdungsabschätzung vorbereitet und 2015 beauftragt. Der zunächst mit der Bürgerinitiative abgestimmte Gutachter aus dem UFZ Halle-Leipzig stand dann wohl nicht mehr zur Verfügung, weshalb nach beschränkter Ausschreibung das Institut für Wasser

und Boden Dr. Uhlmann Dresden mit einer „Gefährdungsanalyse Trottheide“ als abschließende Gefährdungsabschätzung zum Schutzgut Wasser beauftragt wurde. Die Aufgabenstellung ergab sich aus einer seitens des Bergamtes verfassten Leistungsbeschreibung unter Einbeziehung der damals vom UFZ verfassten ‚Eckpunkte der erweiterten Untersuchung zum Tontagebaurestloch Marienthal-Trottheide‘. Diese Gefährdungsanalyse [27] wurde nach wissenschaftlich-normativen Methoden erarbeitet und wird in Kapitel 5 vorgestellt.

Obwohl diese neue Gefährdungsanalyse die Ergebnisse der Untersuchungen 2006ff. weitgehend bestätigte und auch den diskutierten potenziellen Schadstoffübergangspfad Abfall-Sediment-Seewasser beleuchtete, verblieb die Bürgerinitiative auf ihrem kritischen Standpunkt. Sie begründete das damit, dass es, dem Gerichtsgutachter folgend, noch weitere, bisher nicht entdeckte Gefahrenszenarien gäbe, die jederzeit akut und unvorhersehbar gefährlich werden könnten.

Daher entschloss sich das Bergamt 2023 ein weiteres Mal, eine Gefährdungsbeurteilung vornehmen zu lassen, diesmal nach intensiver Abstimmung mit der Bürgerinitiative. Die erneuten Untersuchungen wurden als quasi „Black-Box“ konzipiert, d. h. es wurde das globale Substanzspektrum ohne Einschränkung auf einzelne Stoffe oder Stoffgruppen mit entsprechenden chemischen und biologischen Analyseverfahren untersucht und einer Bewertung in Bezug auf jeweilige Auswirkungen auf vor allem das Schutzgut Wasser als Oberflächen- und Grundwasser unterzogen. Kapitel 6 enthält eine Zusammenfassung dieser Untersuchungen und Ergebnisse.

5 Gefährdungsabschätzung des IWB 2015ff.

Die Gefährdungsanalyse [27] ist nach wissenschaftlich-normativen Methoden erarbeitet worden. Als Bezugsdokument wird sie gleichzeitig für eine Verifizierung der These herangezogen, dass solche üblicherweise für Schadstoffuntersuchungen im Schutzgut Grundwasser angewendeten wissenschaftlich-normativen Methoden in vielen Fällen hinreichend für eine Beurteilung der Gefährdungslage sind.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Untersuchungen sind wesentliche Auszüge aus den Gutachten des IWB [27], [28] und [29] und werden der Lesbarkeit halber nicht gesondert als Zitate gekennzeichnet.

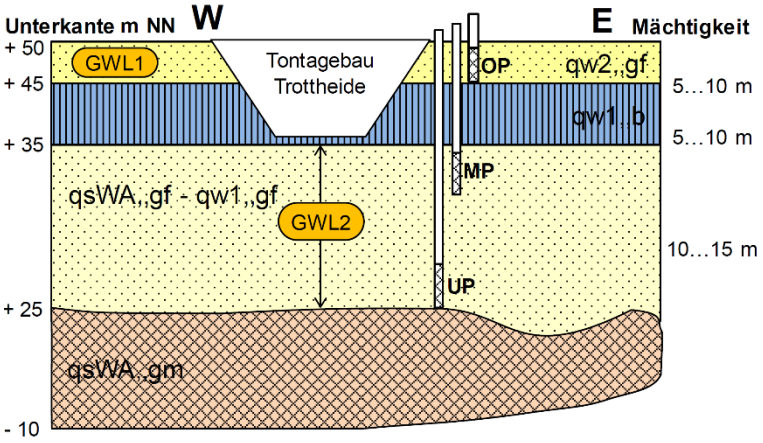


Abbildung 11:Schematisches geologisches Leitprofil

Die ehemalige Tonlagerstätte Marienthal-Trottheide liegt aus regionalgeologischer Sicht im Gransee-Zehdenicker Becken. Die lagerstättenbildenden Beckentone qw1,,b lagen hier als Bändertonmergel mit einer Schichtmächtigkeit von durchschnittlich 10 Meter vor. Der Bändertonmergel wurde bergmännisch abgebaut. Aus betriebstechnischen Gründen wurde eine Ausbaubank von mindestens 1 Meter Mächtigkeit belassen. Die Mächtigkeit des obersten unbedeckten, aus weichselkaltzeitlichen Schmelzwassersanden bestehenden 1. Grundwasserleiters (qw2,,gf) beträgt 5 bis 10 Meter. Die glazifluviatilen Sande (qsWA,,gf-qw1,,gf) im Liegenden der Lagerstätte bilden den 2. Grundwasserleiter am Standort. Der GWL2 ist gespannt, sein Druckniveau liegt überwiegend über der Spiegelhöhe des GWL1. Ein hydraulischer Kontakt zwischen den beiden Grundwasserleitern im Bereich des Tontagebaus wird nicht ausgeschlossen.

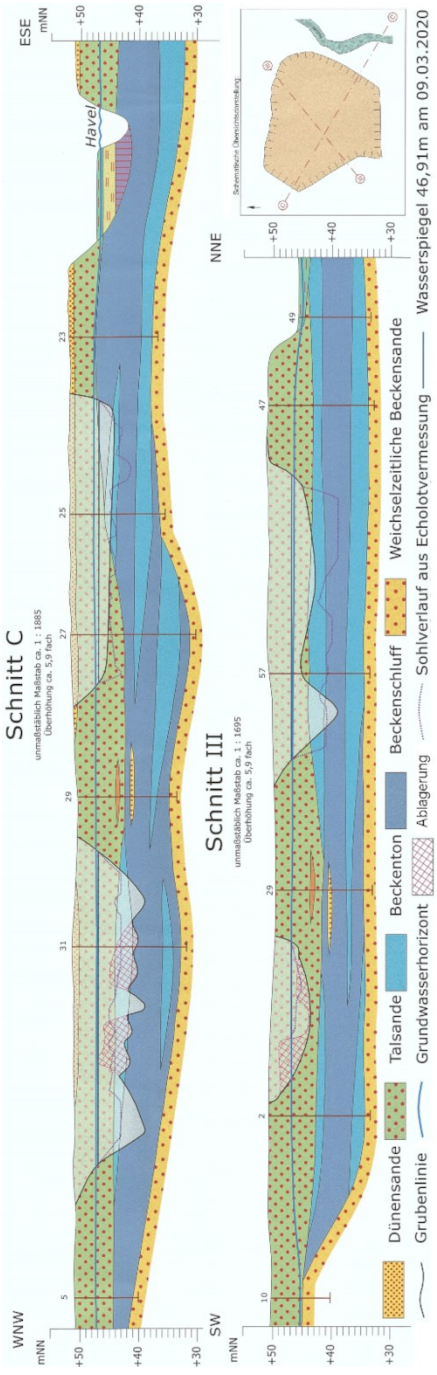


Abbildung 12: Geologische Schnitte

Das Tagebaurestloch Marienthal-Trottheide wurde im Herbst 2015 einer limnologischen Untersuchung unterzogen. Die Probennahme- und Analytikmethodik wurde nach normierten Verfahren unter Berücksichtigung der bis dahin bekannten Spezifik der Ablagerung vorgenommen, wobei auch die sich nach dem abgeschlossenen Wiederanstieg des Grubenwassers eingestellt habenden hydrogeologischen Verhältnisse aufgeklärt wurden.

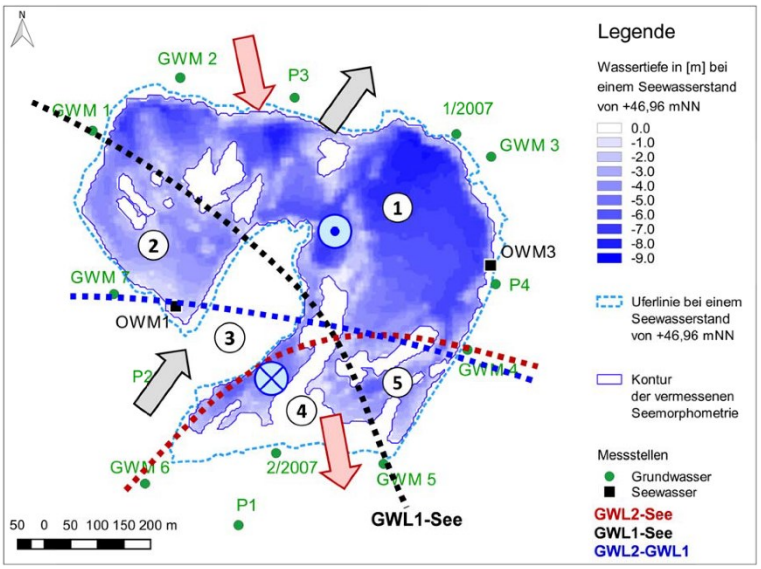


Abbildung 13: Überlagerung der geohydraulischen Wechselwirkungen zwischen den Grundwasserleitern GWL1 und GWL2 sowie dem Restsee; Äquipotential- bzw. Kipplinien

Der Restsee wird aus hydrochemischer Sicht zu 90 % aus dem GWL2 gespeist. Die Ablagerung ist nur vom Zustrom aus dem oberen Grundwasserleiter GWL1 betroffen. Das Tontagebaurestloch Marienthal-Trottheide entwässert bevorzugt in den oberen GWL1 nach Nord(Ost)en zum Tornowfließ. Der untere GWL entwässert nach (Süd)Osten zur Havel (Abbildung 13).

Aus ausgewählten Messstellen und Messprofilen (Abbildung 14) wurden Wasser- und Sedimentproben entnommen und hydrochemisch sowie ökotoxikologisch untersucht. Zur Beurteilung der langfristigen Schadstoffexposition wurden Passivsammler eingesetzt.

Der Restsee ist morphometrisch in zwei Teilbecken untergliedert und mit instabilen Innenkippen durchsetzt. Im Bereich der Ablagerung, im westlichen Becken, beträgt die maximale Wassertiefe ca. 4 Meter. Im östlichen Teilbecken und an der nördlichen Böschung betragen sie z. T. mehr als 8 Meter. Im gesamten Restsee Marienthal-Trottheide wurde eine Faulschlammauflage mit einer Mächtigkeit zwischen 5 und 20 Zentimeter gefunden. Im Bereich der Ablagerung wurden zudem im Sediment Plastikabfälle gefunden sowie ein starker Geruch und Gasbildung festgestellt.

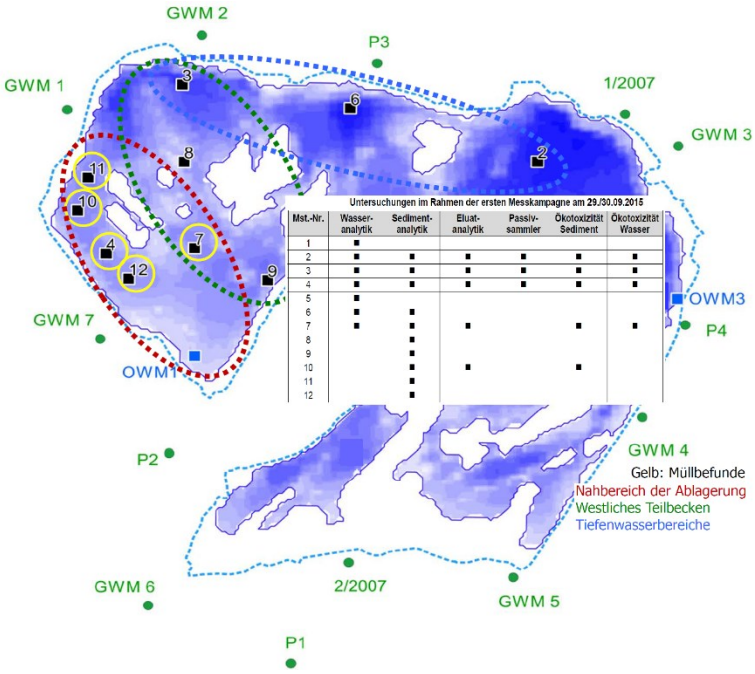


Abbildung 14: Grundwassermessstellen, Probennahmeorte Seewasser und Sediment, Probenauswahl für Analytik Seewasser und Sediment

Im Bereich der Ablagerung wurden im Feststoff der autochthonen Seesedimente relevante Schadstoffgehalte nachgewiesen. Als Schadstoffe wurden MKW, PAK_{16}, Benzo (a)pyren und Metalle (Zink, Blei, Kupfer und Arsen) gefunden. Die Schadstoffgehalte überschreiten im Einzelfall die höchsten Zuordnungswerte Z2 nach LAGA. Die umweltrelevanten und humantoxikologischen Schadstoffe erwiesen sich in den wässrigen Eluaten der autochthonen Sedimente jedoch als wenig mobil. Nur für PAK_{15}+Naphthalin wurden im Eluat Konzentrationen über dem Geringfügigkeitsschwellenwert nach LAWA gefunden. Von den Halbmetallen und Schwermetallen überschritten lediglich Arsen und Kupfer im Eluat den Zuordnungswert Z0 nach LAGA. Ansonsten sind die umweltrelevanten Halbmetalle und Metalle in den autochthonen Seesedimenten weitgehend immobil.

Im ganzen See sind im Feststoff und im Eluat des Sediments sowie im Freiwasser Einzelkomponenten der Alkylphenole Phenol, 2-Methylphenol, 3-Methylphenol und 4-Methylphenol quantitativ nachweisbar. Die Konzentrationen liegen jedoch deutlich unter den Geringfügigkeitsschwellenwerten.

Durch die Ablagerung werden Nährstoffe und biologisch leicht abbaubare Zehrstoffe in den Restsee abgegeben. Diese führen während der Sommerstagnation im geringmächtigen Tiefenwasser zu starken Zehrungsprozessen bis zur Sulfatreduktion und zur Bildung von Faulschlämmen. Das Tiefenwasser unterhalb von 6 Meter Wassertiefe ist anaerob. Im Tiefenwasser ist Sulfid nachweisbar. Unter anoxischen Bedingungen wurden außerdem hohe Eisen- und Mangankonzentrationen sowie hohe Phosphor- und Ammoniumkonzentrationen gemessen. Im Tiefenwasser fanden sich vereinzelte Schadstoffbefunde von Arsen, PAK und Alkylphenolen. Die Konzentrationen liegen jedoch überwiegend unter den entsprechenden Schwellenwerten der LAWA.

Das oberflächennahe Seewasser ist mit pH ≈ 8 schwach alkalisch, mit $K_{S4,3}$ ≈ 2,9 mmol/L gut gepuffert und mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 450 µS/cm vergleichsweise schwach mineralisiert. Das oberflächennahe Seewasser ist praktisch nährstofffrei. Im Freiwasser wurden keine Schadstoffe nachgewiesen. Die über eine Expositionszeit von sechs Wochen installierten Passivsammler bestätigten die hydrochemischen Befunde zum Seewasser hinsichtlich einer geringen stofflichen Belastung und erhöhter Eisen- und Mangankonzentrationen im Tiefenwasser.

Die ökotoxikologischen Untersuchungen weisen weder in den grundnahen Wasserproben noch in den Sedimentproben toxische Effekte nach. Mit dem grundnahen Seewasser wurde beim Algentest sogar eine Wachstumsförderung aufgrund der hohen Nährstoffkonzentrationen festgestellt.

Die Abbauversuche an einer Sedimentmischprobe aus dem Bereich der Altablagerung haben gezeigt, dass unter anaeroben Bedingungen der Abbau nur mit etwa einem Zehntel der Geschwindigkeit des aeroben Abbaus stattfindet. Da im Tiefenwasserbereich von Marienthal-

Trottheide zeitweise anaerobe Bedingungen vorliegen, ist die Abbaurate deutlich reduziert und es kommt zu einer Akkumulation zehrender Stoffe, was zur Faulschlammbildung im gesamten See führt. Daraus resultieren ein internes Eutrophierungs- und ein Saprobisierungsproblem.

Fazit der Gefährdungsabschätzung 2015

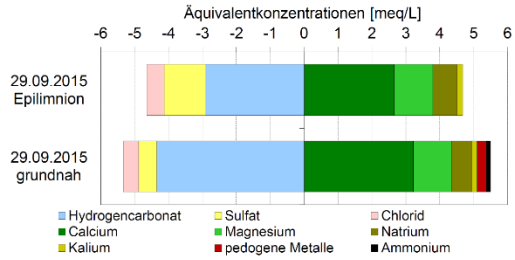
Nach den vorliegenden (vorläufigen) Erkenntnissen besteht für den Tagebausee Marienthal-Trottheide kein Schadstoffproblem, dafür ein Eutrophierungsproblem und ein daraus folgendes Saprobisierungsproblem. Als mögliche Maßnahmen zur Eindämmung der Eutrophierung werden die (Unter-Wasser-)Abdeckung der ungenehmigten Ablagerungen mit inertem Bodenmaterial und eine Tiefenwasserbelüftung empfohlen. Die Abdeckung sollte im Zusammenhang mit den geotechnischen Sicherungsmaßnahmen als Massenumlagerung im See durchgeführt werden. Für das Grundwasser im Abstrom des GWL1 und GWL2 und für die Vorflut Havel besteht ebenfalls kein Schadstoffproblem. Eine Auswahl von Messergebnissen ist in Tabelle 11 bis Tabelle 22 und Abbildung 15 dargestellt.

Seewasser:

Tabelle 11: Mittelwerte der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Seewassers

Kennwert	Maß-einheit	29.09.2015		12.11.2015	2011-2015	2011-2015
		Epilimnion	grundnah	Epilimnion	OWM1	OWM3
Anzahl der Proben	-	10	4	6	9	9
Wassertemperatur	°C	15,8	13,3	9,8	11,8	11,5
pH-Wert vor Ort	-	8,0	7,5	7,8	8,2	8,2
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	445	499	448	466	458
Sauerstoffkonzentration	mg/L	8,5	2,6	7,8	7,0	6,7
Sauerstoffsättigung	%	84	25	69	k.A.	k.A.
KS4,3	mmol/L	2,9	4,4	3,0	3,5	3,4
Hydrogencarbonat	mg/L	177	266	182	214	207
TIC	mg/L	35,1	56,4	36,9	k.A.	k.A.
DOC	mg/L	9,2	8,8	8,8	10,2	10,2
Chlorid	mg/L	18,3	16,1	17,8	19,9	19,3
Sulfat	mg/L	58,8	25,3	58,8	54,5 *)	53,6
Natrium	mg/L	16,2	13,9	16,6	16,1	15,6
Kalium	mg/L	6,8	6,0	7,0	7,3	7,3
Calcium	mg/L	53,2	64,5	56,9	63,9 *)	62,1
Magnesium	mg/L	13,9	13,8	14,0	13,5	13,2
Eisen, gelöst	mg/L	0,0	1,8	0,1	0,1	0,1
Mangan, gelöst	mg/L	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0
Ammonium (als N)	mg/L	0,1	1,7	0,1	0,1	0,1

*) nicht plausible Werte des Jahres 2013 wurden nicht berücksichtigt



Allgemeine Kennzeichnung:

- Schwach alkalisch: pH ≈ 8,0
- Stark gepuffert: $K_{S4,3}$ ≈ 2,9 mmol/L
- Kalkübersättigt
- Gering mineralisiert: LF ≈ 450 µS/cm

Kennzeichnung des Tiefenwassers:

- Sulfid im Tiefenwasser → Sulfatreduktion
- Erhöhte Konzentrationen pedogener Metalle (Fe, Mn) und von NH_4-N → anoxische Verhältnisse

Abbildung 15: Ionenmuster des Seewassers als Äquivalenzkonzentrationen

Tabelle 12: Planktongehalte und Kennwerte zur Klassifizierung der Trophie

Messstelle	Sichttiefe	Phosphor gesamt	Chlorophyll a	Phyto-plankton	Zooplankton
	[m]	[µg/L]	[µg/L]	[mm³/L]	[Ind/L]
SWM 2	4,4	34	18	1,3	1.110
SWM 3	4,1	16	36	1,7	1.360
SWM 4	3,3	23	12	4,2	1.690
SWM 6	4,1	24	19	1,5	1.210
Trophieklassifikation nach [LAWA 2003]		*oligotroph*	*mesotroph*	*eutroph*	*polytroph/hypertroph*

Tabelle 13: Schwermetalle und Metalloide im Seewasser

Kennwert	Maß-einheit	GFSW [LAWA 2004]	Seewasser	
			Median	Maximum
Arsen (As)	µg/L	10	< 5	34
Cadmium (Cd)	µg/L	0,5	< 0,2	< 0,2
Chrom-gesamt (Cr)	µg/L	7,0 (Cr III)	< 5	< 5
Kupfer (Cu)	µg/L	14	< 10	< 10
Quecksilber (Hg)	µg/L	0,2	< 0,1	< 0,1
Molybdän (Mo)	µg/L	35	< 30	< 30
Nickel (Ni)	µg/L	14	< 10	< 10
Blei (Pb)	µg/L	7	< 3	< 10
Antimon (Sb)	µg/L	5	< 5	< 5
Selen (Se)	µg/L	7	< 5	< 5
Zinn (Sn)	µg/L	k.A.	< 100	12.500 *)
Zink (Zn)	µg/L	58	< 10	< 10

GFSW = Geringfügigkeitsschwellenwerte (für Grundwasser)

*) Drei höhere Befunde der Erstbeprobung wurden als Artefakte identifiziert

→ Schwermetallkonzentrationen mehrheitlich marginal
→ Keine Kontamination im Freiwasser des Restsees mit umweltrelevanten Schwermetallen und Metalloiden

Datum	Messstelle	Entnahme-tiefe	Arsen	Eisen-gesamt
		m u. WSp	µg/L	mg/L
29.09.2015	1	6,6	< 5	0,38
	2	8,2	34	6,8
	3	7,3	< 5	0,52
	6	7,3	9,7	1,57

→ Erhöhte Konzentrationen nur im anoxischen Tiefenwasser
→ Hohe Affinität des Arsens zum Eisen

Tabelle 14: Natürliche und synthetische organische Stoffe im Seewasser

Kennwert	Maß-einheit	GFSW nach [LAWA 2004]	Seewasser	
			Mittelwert	Maximum
TOC	mg/L	-	10,1	12,5
DOC	mg/L	-	9,1	10,2
Kohlenwasserstoffe (C_{10}-C_{40})	µg/L	100	< 100	< 100
Σ AOX	µg/L	-	11	20
Σ BTEX	µg/L	-	< 0,5	< 0,5
Σ PAK_{15}	µg/L	0,2	0,038	0,276
Naphthalin	µg/L	1,0	0,018	0,036
Phenolindex	µg/L	-	< 5	< 5
Phenol	µg/L	8	0,762	0,917
Alkylphenole, Summe	µg/L	-	1,266	1,469
davon 2-Methylphenol	µg/L	-	0,104	0,141
davon 3-Methylphenol	µg/L	-	0,192	0,208
davon 4-Methylphenol	µg/L	-	0,239	0,248

→ Keine Kontamination des Seewassers mit synthetisch-organischen Stoffe

Sediment

Tabelle 15: Feststoffgehalte (Halb-)Metalle im Sediment

Kennwert	Maßeinheit	LAGA M20 TR Boden			Feststoff des Sediments
		Z0 *)	Z1	Z2	
Arsen	mg/kg TM	15	45	150	3,0 - 27
Blei	mg/kg TM	70	210	700	5,0 - 131
Cadmium	mg/kg TM	1	3	10	<0,3 – 1,4
Chrom	mg/kg TM	60	180	600	8,0 - 48
Kupfer	mg/kg TM	40	120	400	5,0 - 138
Nickel	mg/kg TM	50	150	500	5,0 - 24
Thallium	mg/kg TM	0,7	2,1	5,0	<0,4 - 0,41
Quecksilber	mg/kg TM	0,5	1,5	5,0	0,04 - 0,81
Zink	mg/kg TM	150	450	1.500	17 - 639

→ nachgewiesene Feststoffgehalte liegen teilweise über den Zuordnungswerten Z0, seltener über Z1 der [LAGA 2004]

*) Lehm/Ton

Tabelle 16: Eluatkonzentrationen (Halb-)Metalle im Sediment

Kennwert	Maß-einheit	Z0 / Z0*	Z1.2	Z2	Eluat des Sediments
Arsen	mg/L	0,014	0,020	0,060	< 0,01 … **0,032**
Blei	mg/L	0,040	0,080	0,200	< 0,01 … 0,015
Cadmium	mg/L	0,0015	0,003	0,006	< 0,001
Chrom	mg/L	0,0125	0,025	0,060	< 0,01
Kupfer	mg/L	0,020	0,060	0,100	< 0,01 … **0,026**
Nickel	mg/L	0,015	0,020	0,070	< 0,01
Quecksilber	mg/L	< 0,0005	0,001	0,002	< 0,0002
Zink	mg/L	0,150	0,200	0,600	< 0,01 … 0,079

Tabelle 17: Synthetisch-organische Stoffe im Sediment

Feststoffkriterium	Maßeinheit	LAGA M20 TR Boden			Feststoff des Sediments
		Z0 *)	Z1	Z2	
TOC	Masse-%	0,5	1,5	5	0,9 … 6,0
EOX	mg/kg TM	1	3	10	< 0,05 … 6,0
Kohlenwasserstoffe C_{10}-C_{40}	mg/kg TM	100	600	2.000	140 … 2.900
BTEX	mg/kg TM	1	1	1	< 0,1
PAK_{16}	mg/kg TM	3	3	30	0,006 … 30
Benzo(a)pyren	mg/kg TM	0,3	0,9	3	0,006 … 2,5

→ Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) unter der Bestimmungsgrenze
→ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoff (PAK) im Bereich der Ablagerungen am höchsten
→ Maximale Feststoffgehalte liegen mehrheitlich über den Zuordnungswerten Z1, teilweise auch über Z2

*) Lehm/Ton

Tabelle 18: Eluat-Summenkennwerte organischer und synthetisch-organischer Stoffe der Sedimente

Summenkennwerte	Maß-einheit	Mst 2	Mst 3	Mst 4	Mst 7	Mst 10
		D-15-10-0085	D-15-10-0086	D-15-10-0087	D-15-10-0089	D-15-10-0092
DOC	mg/L	5,3	4,9	4,4	3,5	8,2
MKW C_{10} bis C_{40}	mg/L	< 0,20	< 0,20	0,26	< 0,20	< 0,20
Phenolindex	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Σ Alkylphenole	µg/L	0,99	1,00	1,36	1,25	1,22
davon Phenol	µg/L	0,58	0,61	0,80	0,69	0,67
Σ BTEX	µg/L	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Σ PAK_{16} nach EPA	µg/L	< BG	0,051	1,695	< BG	3,194
AOX	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
EOX	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

> Geringfügigkeitsschwellenwert LAWA: 1,2 µg/l

Tabelle 19: Ökotoxizität des Seewassers und der Sedimente

Messstelle	Seewasser				Sedimente
	Leucht-bakterientest	Daphnientest	Fischeitest	Algentest	Wasserlinsen-hemmtest
	Hemmung der Lichtemmission	Mortalität	Mortalität	Hemmung der Wachstumsrate	Hemmung der Wachstumsrate
2	nicht toxisch (16,2%)	nicht toxisch (0%)	nicht toxisch (0%)	nicht toxisch (-8%)	nicht toxisch (4%)
3	nicht toxisch (15,6%)	nicht toxisch (0%)	nicht toxisch (0%)	nicht toxisch (-24%)	nicht toxisch (5%)
4	nicht toxisch (1,4%)	nicht toxisch (0%)	nicht toxisch (0%)	nicht toxisch (-15%)	nicht toxisch (7%)
7	nicht toxisch (5,4%)	nicht toxisch (0%)	nicht toxisch (0%)	nicht toxisch (-36%)	nicht toxisch (6%)
10	-	-	-	-	nicht toxisch (6%)

Toxisch	
Nicht toxisch	Geringe Hemmung
	Ohne Wirkung
	Förderung

→ Keine relevanten toxischen Effekte
→ Wachstumsfördernde Wirkung auf Algen

Grundwasser

Tabelle 20: Mittelwerte der Grundwasserbeschaffenheit im oberen GWL (weiß: kleinster Wert, rot: größter Wert der Spalte – ohne Grenzwertbezug)

Mess-stelle	Geohydraulische Konstellation		pH	LF	$K_{S4,3}$	HCO_3	DOC	Cl	SO_4	Na	K	Ca	Mg	NH_4-N	NO_3-N	Fe	Mn	As	Ni	Zn	AOX
				µS/cm	mmol/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1/2006 OP	Indifferent	NW	7,3	554	2,7	163	4,0	27,5	137	19,0	2,4	92	9,5	0,05	0,32	0,2	0,19	0,007	0,008	0,009	0,024
2/2006 OP	Abstrom	N	7,2	553	5,4	328	5,9	17,6	28	15,6	8,9	91	9,5	0,38	1,06	0,5	0,40	0,007	0,008	0,010	0,025
1/2007	Abstrom	NE	7,3	491	4,6	280	10,6	20,0	24	15,6	4,8	74	11,8	0,31	0,29	3,8	2,38	0,014	0,010	0,010	0,028
3/2006 OP	Abstrom	NE	7,3	470	4,6	258	6,6	18,7	20	14,9	3,3	78	10,0	0,15	0,30	0,6	1,57	0,008	0,008	0,009	0,024
4/2006 OP2	Indifferent	SE	7,1	577	5,3	326	7,7	19,9	27	16,1	2,5	98	10,2	0,34	0,29	1,3	2,10	0,008	0,008	0,010	0,024
5/2006 OP2	Indifferent	S	7,1	689	7,7	470	11,3	18,8	5	13,3	3,1	120	13,6	1,67	0,31	17,6	1,67	0,019	0,009	0,010	0,025
2/2007	Indifferent	S	7,1	944	9,8	598	13,4	27,0	42	12,7	4,7	175	20,3	0,74	0,27	8,5	2,68	0,009	0,010	0,009	0,027
6/2006 OP	Zustrom	SW	6,9	2.228	7,3	446	11,6	130,5	872	45,6	7,5	469	41,1	0,20	0,97	6,9	1,21	0,008	0,008	0,009	0,033
7/2006 OP	Zustrom	W	7,1	1.136	5,0	305	6,2	44,8	382	29,1	6,0	222	21,3	0,10	2,35	0,8	0,68	0,008	0,009	0,010	0,036

Tabelle 21: Mittelwerte der Grundwasserbeschaffenheit im unteren GWL

Mess-stelle	Geohydraulische Konstellation		pH	LF	$K_{S4,3}$	HCO_3	DOC	Cl	SO_4	Na	K	Ca	Mg	NH_4-N	NO_3-N	Fe	Mn	As	Ni	Zn	AOX
				µS/cm	mmol/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1/2006 MP	Zustrom	NW	7,6	372	3,6	217	5,2	10,5	28	5,9	1,4	74	4,2	0,30	0,30	2,5	0,26	0,007	0,008	0,010	0,023
2/2006 MP	Zustrom	N	7,7	418	3,4	209	1,7	14,2	55	6,1	1,2	79	7,8	0,15	0,31	2,0	0,17	0,007	0,008	0,009	0,023
3/2006 MP	Zustrom	NE	7,5	461	5,1	314	4,5	12,6	5	13,9	2,6	74	14,1	0,44	0,27	4,5	0,19	0,009	0,008	0,011	0,023
4/2006 MP	Indifferent	SE	7,5	467	5,1	311	4,0	10,5	5	13,4	2,2	76	11,2	0,43	0,28	3,6	0,35	0,008	0,008	0,011	0,026
5/2006 MP	Abstrom	S	7,4	581	6,0	367	5,3	16,5	27	11,6	2,8	98	17,3	0,50	0,28	7,4	0,28	0,008	0,008	0,011	0,030
6/2006 MP	Abstrom	SW	7,4	628	6,0	368	8,4	30,6	24	15,0	3,0	115	8,1	0,70	0,33	6,9	0,69	0,009	0,008	0,009	0,027
7/2006 MP	Zustrom	W	7,7	597	2,7	167	4,5	37,9	132	21,2	3,4	94	8,6	0,51	0,27	3,5	0,28	0,009	0,008	0,009	0,024

Tabelle 22: Konzentrationen von Schadstoffen im Grundwasser in der Umgebung des Tagebausees Marienthal-Trottheide für 2020 und 2023 (Maximum)

Kennwert	Einheit	Grundwasser		GFS[1] für das GW nach [LAWA 2016]	ZHK-UQN[2] nach [WRRL 2013]
		2020	2023		
Anthracen	µg/L	<0,005	< 0,005	0,1	0,1
Benzo(a)pyren	µg/L	<0,005	< 0,005	0,01	0,27
Benzo(b)-fluoranthen	µg/L	<0,005	< 0,005	∑0,03	0,017
Benzo(k)-fluoranthen	µg/L	<0,005	< 0,005		0,017
Benzo(g,h,i)-perylen	µg/L	<0,005	< 0,005	∑0,002	0,0082
Indeno(1,2,3-cd)-pyren	µg/L	<0,005	< 0,005		---
Fluoranthen	µg/L	<0,005	< 0,005	0,1	0,12
Naphtalin	µg/L	0,059	0,07	2	130
∑PAK	µg/L	0,15	0,12	0,2	---
∑ Alkylphenole	µg/L	<0,1	<0,1	---	---
Phenolindex	mg/L	<0,01	<0,01	---	---
AOX	mg/L	0,06	0,02	---	---

1) GFS: Geringfügigkeitsschwellenwert
2) ZHK-UQN: zulässige Höchstkonzentration der Umweltqualitätsnorm

6 Erweiterte organisch-chemische und bioanalytische Charakterisierung des UFZ

Das folgende Kapitel gibt wesentliche Aussagen des Berichts [30] des UFZ wieder. Zitate werden nicht gesondert gekennzeichnet.

6.1 Zusammenfassung (dem Bericht entnommen)

Hinsichtlich potentiell toxischer organischer Spurenstoffe liegen in den Ablagerungen selbst und dem umgebenden Grundwasser, Seewasser und Seesediment bisher Erkenntnisse nur zu wenigen Stoffen bzw. Stoffklassen vor. Da an der Sohle des Tagebaurestsees Abfälle unklarer Herkunft und Zusammensetzung lagern, ist es möglich, dass diese eine Quelle für eine große Zahl unterschiedlicher organischer Spurenstoffe sind. Denkbar sind darunter Chemikalien aus industriellen Produktionsrückständen, Kühl- und Schmiermitteln, Farben und Lacken, Baustoffen, Altreifen, Kunststoffen oder dem Gesundheitswesen. Diese Chemikalien können eine geringe oder auch eine große Mobilität aufweisen, vergleichsweise gut abbaubar oder über Jahrzehnte persistent sein.

Die Arbeit des UFZ hatte zum Ziel, die potenziell vorhandenen Kenntnislücken zur Belastung des Tontagebaurestlochs Marienthal-Trottheide mit organischen Spurenstoffen und deren potentiellen (öko)toxikologischen Wirkungen zu schließen. Darauf aufbauend war eine qualifizierte Gefährdungsabschätzung zu den Ablagerungen und ihren möglichen Emissionen in die Umwelt auf Basis des derzeitigen wissenschaftlich-technischen Standes vorzunehmen.

Die Untersuchung fokussierte sich auf die die Ablagerung umgebenden Kompartimente Grundwasser, Seewasser bzw. Seesediment, wobei neben potentiell kontaminierten Probennahmestellen (Abstrombereich der Ablagerung) auch unbeeinflusste (Zustrombereich) sowie Referenzgewässer aus der Umgebung einbezogen wurden.

Zur Charakterisierung wurde eine Kombination aus einem umfassenden organisch-chemischen Screening mittels Flüssigchromatographie-hochauflösender Massenspektrometrie (LC-HRMS) und Gaschromatographie (GC-HRMS) und der Anwendung von effekt-basierten Methoden mit relevanten Organismen (Grünalgen, Daphnien, Zebrafischembryos) und zellbasierten Systemen für relevante toxikologische Mechanismen (estrogene Aktivität, Dioxin-ähnliche Toxizität, Neurotoxizität, Gentoxizität, Oxidative Stress-Antwort) eingesetzt.

Im Rahmen der chemischen Analytik (889 Zielsubstanzen) wurden in Grundwasser, Seewasser, Seesediment und Referenzgewässern jeweils über 200 Chemikalien gefunden und quantifiziert. In beiden Probenarten dominante Stoffklassen waren Polymeradditive (Weichmacher, Flammschutzmittel, Vulkanisationsbeschleuniger), während u.a. Arzneimittel nur in sehr geringen Konzentrationen auftraten. Die Konzentrationen in Grund- und Seewasser waren im Vergleich zu Referenzgewässern und Fließgewässern in Deutschland und Europa geringer. Unter den vier Sedimentproben wies die über der Ablagerung entnommene Probe 10-50-fach erhöhte Konzentrationen von Polymeradditiven und polyzyklischen Aromaten im Vergleich zu den anderen Sedimentproben auf.

Die Organismentests zeigten nur in wenigen Probenextrakten bei höherer Anreicherung Effekte. Die zellbasierten Wirkungstests zeigten Effekte, welche im Vergleich zu anderen Fließgewässern eher im unteren Bereich lagen. Einzig das Seesediment direkt auf der Ablagerung wies hohe dioxinähnliche Toxizität auf, welche durch die hohen Gehalte an polyzyklischen Aromaten erklärt werden kann.

Nur einzelne der gefundenen Konzentrationen lagen über anwendbaren Grenz- und Richtwerten (Grenzwerte der Trinkwasserverordnung, Umweltqualitätsnormen, regulatorisch akzeptable Konzentrationen für Pflanzenschutzmittel für Wasserproben).

Insgesamt zeigen die chemischen und Biotest-Daten, dass aus der Ablagerung trotz der vorhandenen Belastung mit organischen Spurenstoffen unter den derzeitigen geohydraulischen Bedingungen nur geringe Austräge in Grund- und Seewasser erfolgen und keine akute Gefährdung vorliegt. Daraus darf nicht geschlussfolgert werden, dass bei Änderungen unmittelbar Gefahr droht. Vielmehr handelt es sich um einen Hinweis, zum gegebenen Zeitpunkt geeignete ergänzende Untersuchungen und Bewertungen vorzunehmen.

Um mögliche Änderungen der Bedingungen erfassen zu können, sollte das Monitoring der Grund- und Seewasserstände im bisherigen Umfang fortgeführt werden sowie in beschränktem Umfang ein Monitoring von wenigen See- und Grundwasserproben für typische Markersubstanzen aus der Ablagerung erfolgen.

(Ende Zusammenfassung aus dem Bericht)

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse dargestellt.

6.2 Standort und Probennahme

Es wurden zwei Probennahmekampagnen durchgeführt. Die erste diente der grundlegenden Erfassung von Inhaltsstoffen, die zweite einer biologischen Charakterisierung an durch die erste Kampagne identifizierten interessanten Probennahmestellen

Abbildung 16 Abbildung 17, Tabelle 23 und Tabelle 24 zeigen und nennen die Probennahmestellen.

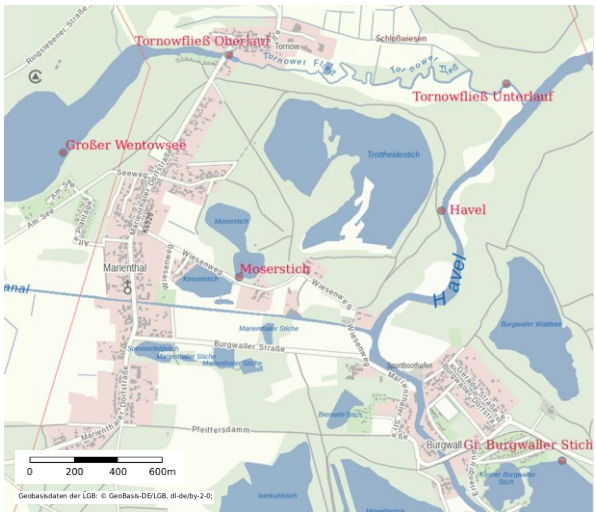


Abbildung 16: Probennahmestellen Oberflächenwasser im Umfeld des Restlochsees

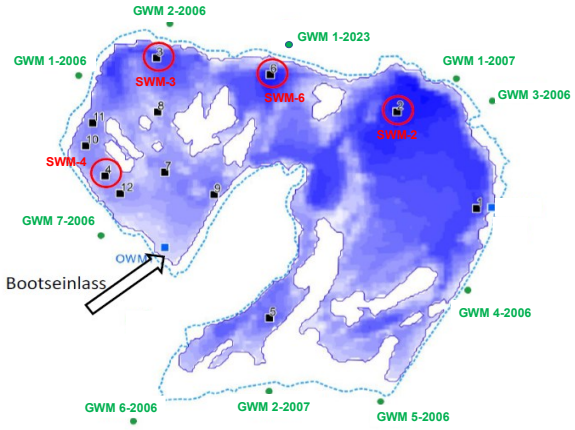


Abbildung 17: Probennahmestellen Restlochsee, Seesediment und Grundwasser

Tabelle 23: Probennahme Grundwasser am 29./30.08. und 13./14.11.2023

Messstelle	GWL	Lage	PN 08-23	PN 11-23
GWM 1-2006 OP	1	NW, indifferent	Ch.	-
GWM 2-2006 OP	1	N, Abstrom See	Ch.	Ch.+Bio.
GWM 3-2006 OP	1	NE, Abstrom See	Ch.	-
GWM 4-2006 OP2	1	SE, Abstrom See / indifferent	Ch.	Ch.+Bio.
GWM 5-2006 OP2	1	SE, indifferent	Ch.	-
GWM 6-2006 OP	1	SW, Zustrom See	Ch.	Ch.+Bio.
GWM 7-2006 OP	1	W, Zustrom Ablagerung	Ch.	Ch.+Bio.
GWM 1-2007 OP	1	NE, Abstrom See	Ch.	Ch.+Bio.
GWM 2-2007 OP	1	S, indifferent	Ch.	-
GWM 1-2023 OP	1	N, Abstrom See	-	Ch.+Bio.
GWM 1-2006 MP	2	NW, Zustrom See	Ch.	Ch.+Bio.
GWM 2-2006 MP	2	N, Zustrom See	Ch.	-
GWM 3-2006 MP	2	NE, Zustrom See	Ch.	-
GWM 4-2006 MP	2	SE, indifferent	Ch.	-
GWM 5-2006 MP	2	SE, Abstrom See	Ch.	Ch.+Bio.
GWM 6-2006 MP+UP	2	SW, Abstrom See	Ch.	-
GWM 7-2006 MP+UP	2	W, Zustrom Ablagerung	Ch.	Ch.+Bio.

Tabelle 24: Probennahme See + Referenzgewässer am 29./30.08. und 13./14.11.2023, Ch: chemische Analytik; Bio: Bioanalytik; (z) zelluläre Bioassays, S: Sedimentprobennahme

Proben	Lage	Tiefe	PN 08-23	PN 11-23	Sediment 08-23
SWM 2 o	Ostbecken	0,5 m	Ch.	Ch.	
SWM 2 u + S	Ostbecken	7,3 m	Ch.	Ch.+Bio.	Ch.+Bio.(z)
SWM 3 o	Westbecken, ehem. Sümpfungsstelle	0,5 m	Ch.	Ch.	
SWM 3 u + S	Westbecken, ehem. Sümpfungsstelle	6,4m	Ch.	Ch.+Bio.	Ch.+Bio.(z)
SWM 4 o	Westbecken über Ablagerung	0,5 m	Ch.	Ch.	
SWM 4 u + S	Westbecken über Ablagerung	3,0 m	Ch.	Ch.+Bio.	Ch.+Bio.(z)
SWM 6 o	Nordbecken	0,5 m	Ch.	Ch.	
SWM 6 u + S	Nordbecken	6,8 m	Ch.	Ch.	Ch.+Bio.(z)
Tornowfließ Oberlauf	Ablauf Gr. Wentowsee, unterhalb Wehr Mühle Tornow	0,3 m	Ch.	Ch.	
Tornowfließ Unterlauf	Ca. 300 m oberhalb der Mündung in die Havel	0,3 m	Ch.	-	
Havel	Östlich Trottheidestich	0,3 m	Ch.	-	
Großer Wentowsee	Marienthal	0,3 m	Ch.	-	
Moserstich	Marienthal	0,3 m	Ch.	-	
Großer Burgwaller Stich	Burgwall	0,3 m	-	Ch.	

6.3 Chemische Charakterisierung

See-, Grund- und Referenzgewässer

Zunächst erfolgte eine chemische Charakterisierung mittels LC-HRMS und GC-HRMS Screeninganalytik. Insgesamt wurden in den Wasserproben 889 Substanzen im Target-Screening gemessen, davon 742 mittels LC-HRMS und 147 mittels GC-HRMS. Diese umfassen Vertreter verschiedener Substanzklassen, deren Vorkommen in der aquatischen Umwelt aus der Literatur bekannt oder aufgrund ihrer Verwendung und Eigenschaften wahrscheinlich ist (Abbildung 18).

In den Sedimentproben konnten 769 Substanzen im Target-Screening gemessen werden, davon 629 mittels LC-HRMS und 140 mittels GC-HRMS. Nach softwaretechnischer Peakerkennung wurden unbekannte Substanzen als Nontarget-Screening in den LC-HRMS-Daten mittels einer Spektrendatenbanksuche annotiert.

Im Grund- und Seewasser dominieren Polymeradditve (v.a. Alkyl-/Arylphosphate), Additive und Intermediate aus Haushaltsprodukten, Farben, Lacken etc. (vmtl. Haus-/Gewerbemüll als Quelle), Kosmetikainhaltsstoffe, u.a. UV-Filter aus Sonnenschutzmitteln (Nutzung Badegewässer?) und Insektenrepellents (Hausmüll/Badegewässer?). Pestizide bzw. deren Transformationsprodukte wurde nur vereinzelt, Arzneimittel kaum detektiert.

Die Referenzgewässer weisen typische Abwassermarker wie Sucralose, Tenside und insgesamt häufiger Arzneimittel und Pestizide auf. Im Tornowfließ war 08/23 Tetrabromobisphenol A auffällig.

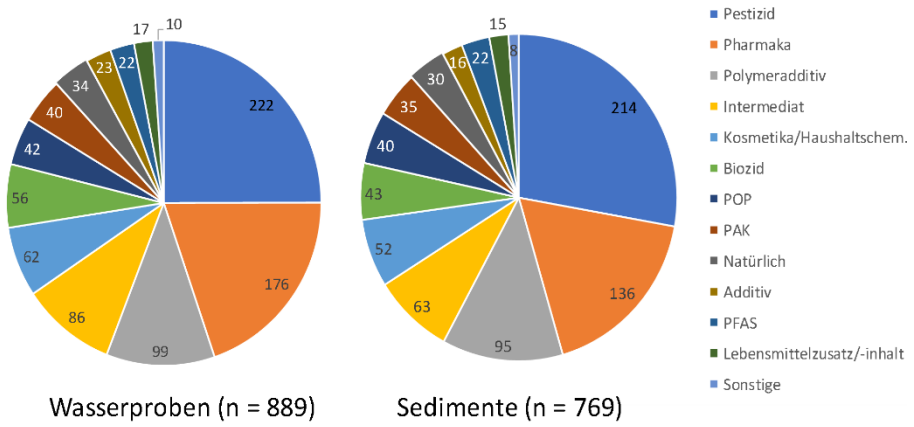


Abbildung 18: Klassifikation der Substanzen des Target-Screenings

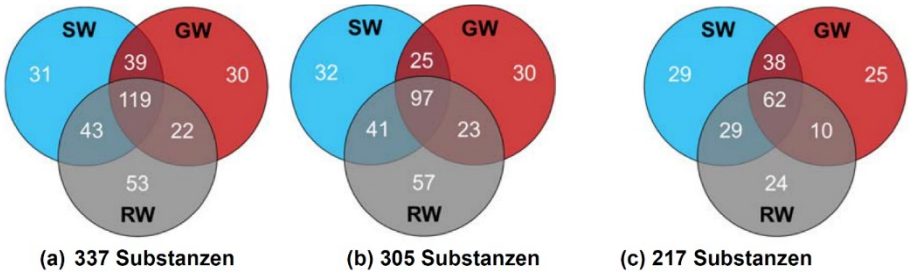


Abbildung 19: Anzahl an detektierten Verbindungen in Grundwasser (GW), Seewasser (SW) und Referenzgewässern (RW) in (a) beiden Kampagnen, (b) Kampagne 8/23 und (c) Kampagne 11/23

Während in beiden Kampagnen etwa ein Drittel der detektierten Substanzen sowohl in Grund- und Seewasser, als auch in den Referenzgewässern gefunden wurde, wurde jeweils ein weiteres Drittel nur in einer bzw. zwei der drei Probenarten gefunden, was ein sehr heterogenes Substanzspektrum anzeigt (Abbildung 19). Dabei zeigte sich, dass etwa die Hälfte der im Grundwasser detektierten Substanzen nur in einer oder zwei Proben gefunden wurden und nur sehr wenige Substanzen in mindestens jeder zweiten Probe. Ein Grund für diese meist niedrige Detektionshäufigkeit könnte sein, dass in vielen Fällen die gemessenen Konzentrationen nahe am Methodendetektionslimit lagen und damit häufig nur die Spitzenkonzentrationen dieser Substanzen gefunden wurden. Dagegen wurde im Seewasser ein hoher Anteil der Substanzen in sieben oder allen acht Proben gefunden, erwartbar durch die ausgeprägte, halbjährliche Durchmischung des gesamten Wasserkörpers.

Tabelle 25: Beurteilung anhand von Grenz- und Richtwerten Wasserproben

Grundlage	Schutzgut / Schutzziel	Regulierte/bewertete org. Chemikalien	Enthaltene Zielsubstanzen (von 889 gemessenen)
Trinkwassergrenzwerte nach TrinkwV bzw. Schwellenwerte der Grundwasserverordnung	Trinkwasser, lebenslange Exposition	56	2 222 Pauschalwerte für PSM/Biozide
Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW) für Trinkwasser	Trinkwasser, lebenslange Exposition	63	25
Trinkwasserleitwerte (LW_{TW})	Trinkwasser, lebenslange Exposition	17	6
Regulatorisch akzeptable Konzentrationen (RAK)	Aquatische Ökosysteme / Wasser (nur PSM)	169	94
Umweltqualitätsnormen (UQN)	Aquatische Ökosysteme / Wasser (WRRL)	ca. 300	178
Prüfwerte für organische Stoffe im Sickerwasser für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser nach BBodSchV	Grundwasser	ca. 55	38

Tabelle 25 zeigt die vorgenommene Beurteilung der Wasserproben anhand von Grenz- und Richtwerten auf der Basis verschiedener Regulatorien. Überschreitungen von Grenz- und Richtwerten gab es in zwei Fällen bei GOW-Werten (1x SW, 1x GW für 4-Chloranilin), 12x bei

Grenzwerten der TrinkwV für Pflanzenschutzmittel (2x GW, 10x SW für Hydroxysimazine), 1x bei Prüfwerten für Sickerwasser nach BBodSchV (Seewasser für PCB) und bei RAK-Werten für drei Insektizide in 1 bis 3 GW/ SW-Proben.

Tabelle 26: Überschreitungen (ÜS) von UQN-Werten in Grund- und Seewasser

	UQN (ng/l)	Anzahl ÜS Grundwasser	Anzahl ÜS Seewasser	Maximale ÜS Grundwasser	Maximale ÜS Seewasser
BDE-100	0,5	2	0	2,4	
BDE-47	0,5	1	0	1,02	
Benz(a)anthracene	2	6	0	1,7	
Benzo(a)pyrene	0,17	2	1	2,7	1,5
Bisphenol A	100	0	1		2,2
Cyhalothrin	0,02	17	5	44	9,3
Cypermethrin	0,03	3	2	72	67
Deltamethrin	0,017	2	0	70	
Fluoranthene	6,3	0	1		9,2
PCB 52	0,5	1	1	1,3	81
Perfluorooctanesulfonic acid	0,65	8	14	19	4,9
Permethrin	2,5	1	0	7,5	
Triphenylphosphat	30	21	0	34	

Tabelle 27: Überschreitungen von RAK-Werten in Grund- und Seewasser

	RAK (ng/l)	Anzahl Überschreitungen Grundwasser	Anzahl Überschreitungen Seewasser	Maximale Überschreitung Grundwasser	Maximale Überschreitung Seewasser
Bifenthrin	0,50	1	1	8,4	2,2
Cypermethrin	1,0	3	2	5,0	5,3
Deltamethrin	0,64	2	0	1,8	

	PNEC (ng/l)	Anzahl ÜS Grundwasser	Anzahl ÜS Seewasser	Maximale ÜS Grundwasser	Maximale ÜS Seewasser
4,4'-DDD	0,5	1	1	4,4	4,7
Avobenzone	123	0	1		1,9
Benzo(a)pyrene	0,17	2	1	2,7	1,5
Benzo(b)fluoranthene	0,17	1	5	1,9	4,5
Bifenthrin	0,095	1	1	44	11
Cyhalothrin	0,02	17	5	415	88
Cypermethrin	0,08	3	2	72	67
Deltamethrin	0,0017	2	0	700	
Etofenprox	0,54	2	0	1,8	
Fluoranthene	6,3	0	1		9,2
Methoxychlor	0,78	2	0	1,5	
Octocrylene	23	1	1	1,1	1,7
PCB 52	21	0	1		1,9
Perfluorooctanesulfonic acid	0,65	8	14	19	4,9
Permethrin	0,2	2	0	94	
Prallethrin	31	0	1		1,3
Simazine 2-Hydroxy	180	0	2		1,1
Terbuthylazine-2-hydroxy	7,3	2	7	1,6	2,1
Triphenylphosphate	170	16	0	6,1	

Tabelle 28: Überschreitungen (ÜS) von NORMAN PNEC-Werten in Grund- und Seewasser

Die Überschreitungen von UQN-Werten, RAK-Werten und NORMAN-PNEC sind in Tabelle 26 bis Tabelle 28 zusammengestellt. In den meisten Fällen und mit den höchsten Überschreitungen betrafen UQN/PNEC/RAK-Überschreitungen die Pyrethroid-Insektizide (Cyhalothrin, Cypermethrin, Deltamethrin, Permethrin, Bifenthrin) welche sehr niedrige Schwellenwerte im pg/l oder niedrigen ng/l-Bereich aufweisen. Diese Befunde decken sich mit Ergebnissen für Bäche in landwirtschaftlichen Gebieten, wo Pyrethroide ebenfalls für häufige und hohe Überschreitungen von Schwellenwerten verantwortlich sind. Die Detektion eines Pyrethroids führt häufig automatisch zu einer Überschreitung des Schwellenwerts, da diese oft unterhalb oder nahe an den Nachweisgrenzen der meisten verwendeten Methoden liegen. Für die hier verwendete Analysenmethode liegen z.B. die Methodendetektionsgrenzen für Deltamethrin und Cypermethrin bei 1 ng/l, die UQN und PNEC-Werte um den Faktor 10-50 darunter.

Weiterhin wurden die LC-HRMS-Daten der Wasserproben im Nontarget-Screening ausgewertet, um spezifische Belastungsmuster zu erkennen und darauf aufbauend ggfs. für diese Muster weitere relevante Einzelverbindungen zu identifizieren. Die Ergebnisse bestätigen die mit dem Targetscreening festgestellten Sachverhalte. Sie lassen den Schluss zu, dass die Substanzmuster im Restsee und im daraus gespeisten Grundwasser im Abstrom eine größere Ähnlichkeit aufweisen, als diejenigen im Zustrom bzw. im gesamten GWL 2, wie es auch aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten zu erwarten ist. Die Peaks im Restsee und den Referenzgewässern überlappen zwar teilweise, jedoch weisen beide Gruppen spezifische Peaks auf, die im Restsee möglicherweise auf die Ablagerung zurückgehen und sich teilweise in das abströmende Grundwasser durchprägen. Innerhalb der einzelnen Gruppen konnten basierend auf einer Spektrendatenbanksuche keine weiteren anthropogenen Substanzen identifiziert werden. Alle annotierten Substanzen wiesen auf Biomoleküle natürlichen Ursprungs hin (z.B. Fettsäuren, Lipide, Peptide, sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe).

Für eine quantifizierte Bewertung der Toxizität des Substanzspektrums (Mischungstoxizität) auf die biologischen Qualitätselemente (BQE) Algen, Crustaceen, Fische wird das Toxic Units (TU) Konzept angewendet. Dabei werden die gemessene Konzentration einer Substanz i ins Verhältnis zur toxischen Effektkonzentration der Substanz gesetzt, sog. Toxic units (TU) be-

rechnet. Unter der Annahme, dass die toxische Wirkung additiv ist, werden die TU aller quantifizierten Substanzen je BQE aufsummiert, womit eine Bewertung der gesamten Substanzmischung vorgenommen werden kann.

$$TU_{BQE,\,Chemikalie\,1} = \frac{Gemessene\ Konzentration_{\,Chem_1}}{Effektkonzentration_{BQE,\,Chem\,1}} \qquad TU_{Summe,BQE} = \sum_{i=1}^{n} TU_{BQE,i}$$

Bei TU-Werten > 0,1 ist die vorliegende Konzentration für Organismen möglicherweise akut toxisch. Für die Beurteilung der chronischen Toxizität werden für Crustaceen TU > 0,001, für Fische > 0,01 TU und für Algen >0,02 TU angesetzt. Abbildung 20 zeigt beispielhaft je eine Auswertung TUsum für Algen und Krebstiere.

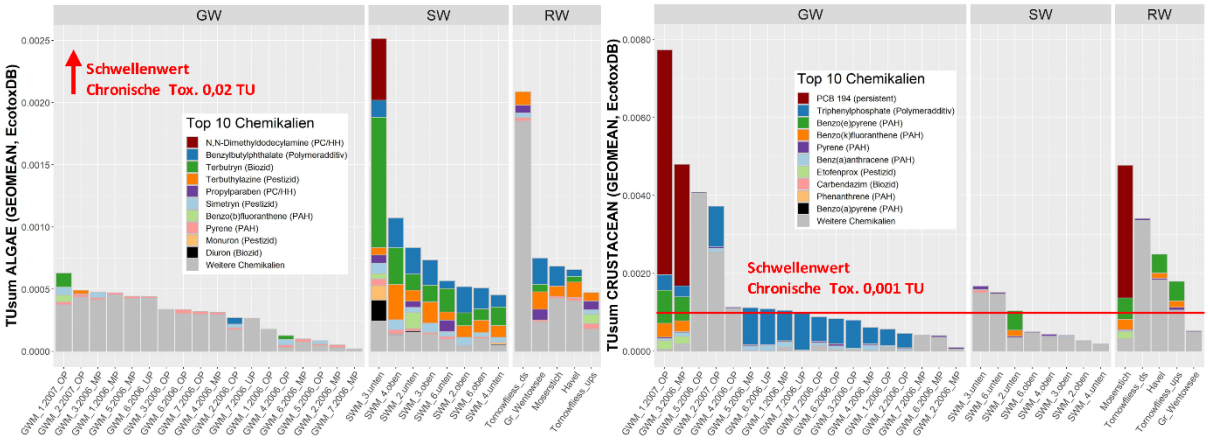


Abbildung 20: TUsum-Werte für Algen und Crustaceen, Anteile der zehn wichtigsten beitragenden Chemikalien, übrige summarisch grau

Sediment

Tabelle 29: Maximalgehalte in Sedimentproben in µg/(kg Trockengewicht), MDL: Methodendetektionslimit

Verbindung	Substanzklasse	MDL (µg/kg)	SWM-2	SWM-3	SWM-4	SWM-6
Diisoheptyl phthalate	Polymeradditiv	12			4615	22
Pyrene	PAK	0,7	14	109	3058	16
Stigmasterol	Natürlich	140	1581	3260	2383	1262
Tris(1-chloro-2-propyl)phosphate	Polymeradditiv	28,0		196	1816	96
Fluoranthene	PAK	0,4	16	116	1790	22
Dehydroabietic acid	Natürlich	14	80	78	1670	46
Chrysene	PAK	0,4	10	73	1441	15
Benzo(e)pyrene	PAK	0,4	8	53	1048	10
Benzo(a)pyrene	PAK	0,4	8	59	1013	12
Benz(a)anthracene	PAK	6,0	11	48	930	12
Phenanthrene	PAK	2,0	21	63	912	24
Triethylphosphate	Polymeradditiv	40		58	906	53
Benzo(b)fluoranthene	PAK	0,4	8	44	818	10
Tris(2-chloroethyl)phosphate	Polymeradditiv	6,0			704	
Benzo(ghi)perylene	PAK	0,4	7	50	689	6
Ursolic acid	Natürlich	4,8	408	188	662	172
Cholestanol	Natürlich	16	396	743	653	159
Benzyl-2-naphthylether	Additiv	2,8		8	647	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	PAK	0,7	1	41	646	1
Benzo(k)fluoranthene	PAK	0,6	5	35	627	8
Campesterol	Natürlich	0,8	7	44	620	6
Nonylphenol-Isomere	Intermediat	6,0	16	26	586	6
Bisphenol A	Intermediat	2,4	4	4	585	4
Anthracene	PAK	8,8	31	32	479	10
Acenaphthene	PAK	1,6	2	3	439	

Während die Sedimente an den Probennahmestellen SWM-2, SWM-3 und SWM-6 eher unauffällig sind, weisen die Sedimente der Stelle SWM-4 direkt über der Altablagerung sehr hohe Gehalte an Schadstoffen auf, die häufig um den Faktor 10-50 über denjenigen der anderen Sedimentproben liegen (Tabelle 29). Darunter befinden sich insbesondere Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bis in den unteren mg/kg-Bereich, sowie Organophosphat-Weichmacher/ Flammschutzmittel und andere Polymeradditive. In niedrigeren Konzentrationsbereichen sind in den Sedimenten von SWM-4 zudem weitere Polymeradditive (Antioxidantien, Weichmacher), UV-Filter aus Sonnenschutzmitteln, Duftstoffe, Polychlorierte Biphenyle (PCB) und bromierte Flammschutzmittel zu finden, deren Konzentrationen ebenfalls

typischerweise um den Faktor 10-20 höher sind als in den anderen Sedimentproben. Einige natürlich vorkommende Substanzen wie Stigmasterol (ein pflanzliches Sterol), Cholestanol (ein Abbauprodukt von Cholesterol, welches in Tieren und Pflanzen sowie Algen vorkommt) und Ursolic acid (ein Triterpenoid aus Pflanzen) zeigen eine gleichmäßige Verteilung über die verschiedenen Sedimentproben, während die Konzentrationen der Harzsäure Dehydroabietic acid und des pflanzlichen Sterols Campesterol ebenfalls ein Maximum in SWM-4 zeigen.

Tabelle 30: Überschreitung bei UQN-Werten

Substanz	UQN (ng/g)	Anzahl Überschreitungen	Maximale Überschreitung
Triphenylphosphate	95	1	1.8
Tricresylphosphate	9	1	13
PCB 28	20	1	1.08
PCB 153	20	1	1.14

Tabelle 31: Überschreitung bei BBodSchV-Werten

Substanz	Wert (ng/g)	Anzahl Überschreitungen	Maximale Überschreitung	Schutzziel
Benzo(a)pyrene	1000	1	1.01	Maßnahmenwert Wirkungspfad Boden-Mensch (Park- u. Freizeitanlagen)
Benzo(a)pyrene	500	1	2.0	Vorsorgewerte schädliche Bodenveränderungen
Summe 16 EPA-PAH	5000	1	6.0	Vorsorgewerte schädliche Bodenveränderungen
Summe 6 PCB+ PCB 118	100	1	1.07	Vorsorgewerte schädliche Bodenveränderungen

Tabelle 32: Überschreitungen (>10-fach) bei PNEC-Werten

Substanz	Substanzklasse	PNEC (ng/g)	Anzahl Überschreitungen	Maximale Überschreitung
Benzo(ghi)perylene	PAK	0,34	4	2003
Tefluthrin	Biozid	0,0012	1	577
Benzo(k)fluoranthene	PAK	2,3	4	275
Benzo(b)fluoranthene	PAK	3,5	4	233
Benzo(a)pyrene	PAK	7,5	4	136
Fluoranthene	PAK	20	3	91
Chrysene	PAK	29	2	49
Irgarol	Biozid	0,07	1	42
Bisphenol A	Polymeradditiv	17	1	34
Tonalide	Duftstoff	3,4	2	33
Pyrene	PAK	110	1	28
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	PAK	28	2	23
Terbuthylazine-2-hydroxy	Pestizid-TP	0,03	2	22
Benzo(e)pyrene	PAK	49	2	21
Octyl-methoxycinnamate	UV Filter	1,3	4	20
Dicofol	POP	0,3	1	17
Terbutryn	Biozid	2,4	1	16
Dioctyldiphenylamine	Polymeradditiv	2,7	1	16
Stigmasterol	Natürlich	227	4	14
Chlorpyrifos	Pestizid	0,11	1	13
Fipronil	Biozid	0,02	1	13
Michler's ketone	Intermediat	1,9	1	13
Propoxur	Pestizid	0,04	1	13
N-isopropyl-N-phenyl-p-phenylenediamine	Gummiadditiv	2,2	2	12
UV-320	Polymeradditiv	0,82	2	12
Triclocarban	Biozid	0,23	1	11
4,4'-DDE	POP	1,3	2	10
4-Methylbenzylidene camphor	UV-Filter	14	1	10
Avobenzone	UV-Filter	3,6	1	10

Ein Vergleich der gefundenen Konzentrationen in Sedimenten mit UQN-Werten bzw. Vorsorge- und Maßnahmenwerten nach BBodSchV (Tabelle 30, Tabelle 31) zeigt Überschreitungen für PAK, PCB und zwei Akrylphosphate ausschließlich in der Probe SWM-4, während die anderen drei Sedimentproben nicht auffällig waren. Die aus den PNEC-Werten für Wasserproben anhand eines einfachen Gleichgewichtsverteilungsmodells abgeleiteten PNEC-Werte für Sedimente wurden für insgesamt 74 Substanzen in mindestens einer Probe überschritten, darunter war in allen Fällen die Probe SWM-4. In Tabelle 32 sind die 29 Substanzen dargestellt, welche den PNEC um mindestens einen Faktor von 10 überschritten, weitere 35 überschritten den PNEC in der Probe SWM-4 mit Faktoren zwischen 1 und 10. Die höchsten Überschreitungen wurden vor allem für höhermolekulare PAK gefunden.

Für eine Abschätzung, in wie weit das darüberliegende Seewasser durch das belastete Sediment an der Stelle SWM-4 betroffen ist, wurden aus den Konzentrationen in den Sedimenten (Festphase) über organische Kohlenstoff-Wasser-Verteilungskoeffizienten (K_{OC}-Werte) Konzentrationen im Sediment-Porenwasser berechnet, die auf der Annahme eines Verteilungsgleichgewichts beruhen, und denjenigen im Seewasser SWM-4 unten gegenübergestellt (Abbildung 21). Trotz einer gewissen Unsicherheit bei dieser Berechnung zeigen die Ergebnisse, dass es nur zu einem geringen Austrag der (meist hydrophoben) Substanzen aus dem Sediment kommt. Das lässt auf eine geringe

Störung/Durchmischung der Grenzfläche Sediment-Seewasser und einer nur langsamen Diffusion aus dem Sediment schließen, wobei dem eine relativ starke Verdünnung im See durch Zufluss von unbelastetem Grundwasser gegenübersteht.

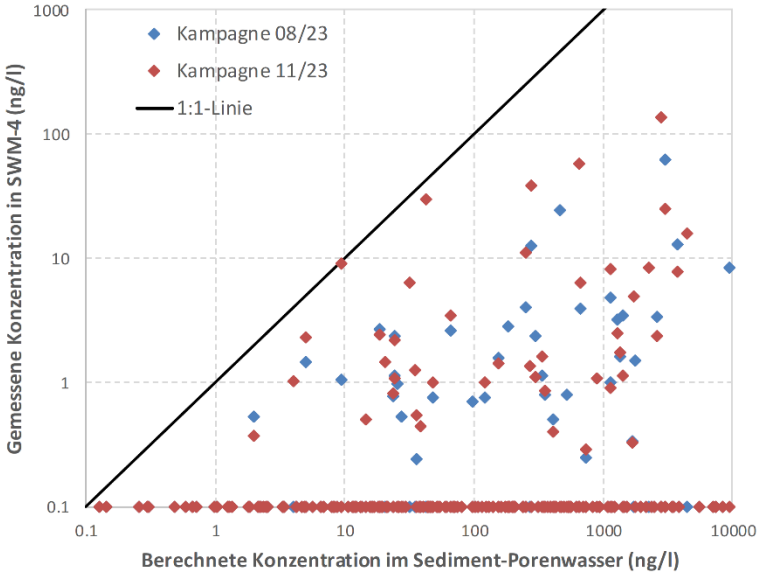


Abbildung 21: Vergleich gemessene vs. berechnete Gleichgewichtsverteilung der Konzentration Sediment-Festphase/Porenwasser und darüber liegendes Seewasser (nicht detektierte Substanzen = 0,1 -x-Achse)

6.4 Biotests

Effekt-basierte Charakterisierung mit Organismen-Biotests

Im Rahmen dieser Studie wurden in den Laboren des Departments Ökotoxikologie (vormals „Bioanalytische Ökotoxikologie“) entwickelte bzw. verfeinerte und für den Zweck des Monitorings angepasste OECD-Verfahren zur ökotoxikologischen Analyse angewandt. Dafür wurden mittels Festphasenextraktion angereicherte Extrakte aus zehn Grund- und drei Seewasserproben mit drei organismischen Biotests (Grünalgen, Daphnien und Fischembryonen) untersucht.

Hintergrund der Nutzung organismischer Biotests ist der ökologische bzw. ökosystemische Schutzgedanke, der auf der Annahme beruht, das bestimmte Biotests bzw. Pflanzen-/ Algen- und Tierarten eine Aussage über die möglichen akuten oder chronischen Giftwirkungen von Substanzen oder Chemikalien in den Proben zulässt. Dabei beruht die Auswahl der Biotests (Algen, Daphnien, Fisch(eier)) in diesem und anderen Projekten auf dem Ansatz, dass diese Organismen eine Art Mikronahrungskette abbilden. Organismentests erfassen allgemeine (letale) und z.T. spezifische Effekte und erlauben Rückschlüsse auf das Ökosystem. Insgesamt wurden zehn Grundwasser-, drei Seewasser- und vier Blindwertproben mit allen drei Biotests analysiert.

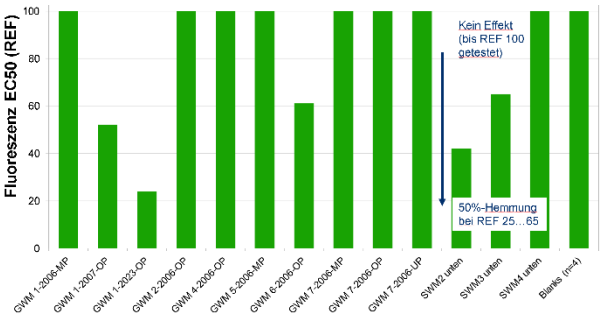


Abbildung 22: EC_{50} Werte, berechnet aus den Dosis-Wirkungskurven exponierter Algen und deren Fluoreszenz nach 24 Stunden Exposition. Eine hohe EC_{50} zeigt eine geringe Toxizität an. Die Fluoreszenz ist ein Maß für die Algenpopulationsdichte und damit ein Anzeiger für chronische Wirkungen

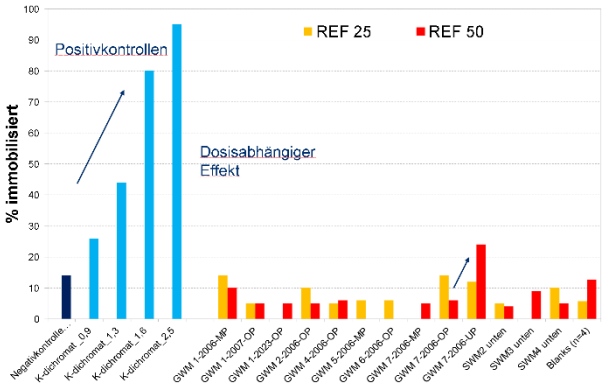


Abbildung 23: Effekte der Extrakte auf die Schwimmfähigkeit („Immobilisierung") der Daphnien: Dargestellt sind die Effekte (% Immobilisierung) jeweils für REF_{25} und REF_{50} nach 24 bzw. 48 h Exposition in allen untersuchten Proben

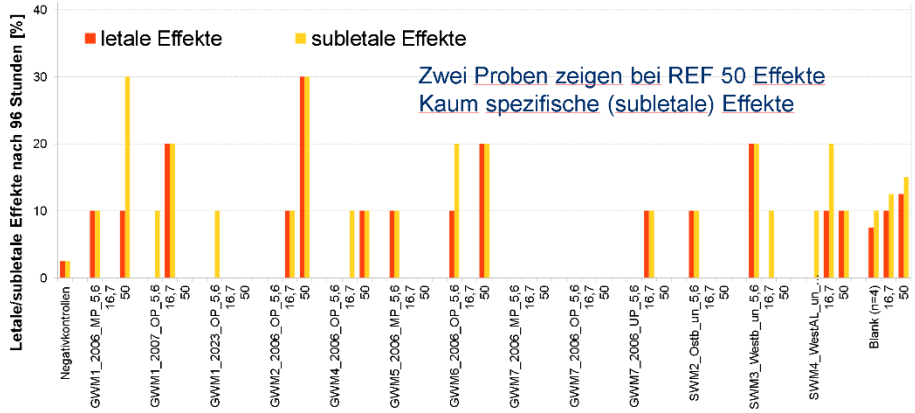


Abbildung 24: Effekte der Extrakte auf die Entwicklung von Zebrafischembryonen nach einer Testdauer von 96 h. Dargestellt sind die % der subletalen und letalen Effekte bei REF 5.6, 16.7 und 50

Effekt-basierte Charakterisierung mit zellbasierten Biotests

Tabelle 33: Verwendete zellbasierte Biotestverfahren

Wirk-mechanismus	Endpunkt	In vitro Biotest	Zielchemikalien	Referenz-Verbindung
Östrogenität	Aktivierung des Östrogenrezeptors (ER) (EC_{10})	ERα GeneBLAzer	Natürliche und künstliche Hormone	17β-Estradiol
Dioxin-ähnliche Aktivität	Aktivierung des Arylhydrocarbon receptorS (EC_{10})	AhR CALUX	Dioxinähnliche Chemikalien, PAK, natürliche AhR-Aktivatoren	2,3,7,8-TCDD
Genotoxizität	Induction of tumor suppression factor p53 via ß-lactamase reporter ($EC_{IR1.5}$)	CellSensor p53RE-*bla* HCT-116	Eine breite Palette von genotoxischen Stoffen und Mutagenen	Mitomycin
Oxidative Stressantwort	Induction of Nrf2 protein ($EC_{IR1.5}$)	AREc32 gene reporter assay (basierend auf MCF7)	Chemikalien, die direkt oder indirekt reaktive Sauerstoffspezies produzieren	t-Butylhydro quinone (tBHQ)
Neurotoxizität	Inhibition der Neuritenlänge in differenzierten neuronalen Zellen (EC_{10})	SH-SY5Y	Insektizide, viele Pharmaka, allgemein neurotoxische Stoffe	Narciclasine

Die mit Biotests gemessenen Effekte können für Umweltproben nicht echt konzentrationsbasiert angegeben werden, wie dies für Einzelstoffe (z.B. 50% Hemmung bei 10 ng/L einer Substanz) der Fall ist. Daher wird für Umweltproben als Konzentrationsmaß der Relative Anreicherungsfaktor (Relative Enrichment Factor, REF) verwendet, der die Anreicherung (REF > 1) oder Verdünnung (REF <1) der originalen Wasserprobe in jedem Biotest darstellt (Einheit: [Liter Wasserprobe/Liter Biotestmedium]).

Zelluläre oder zellbasierte Assays können zur effizienten Quantifizierung von Zytotoxizität, biologischer Aktivität, biochemischen Mechanismen und Off-Target-Interaktionen eingesetzt werden. Zellbasierte Assays bieten Vorteile bei der Generierung komplexer und biologisch relevanter Daten. Im Gegensatz zu herkömmlichen biochemischen Assays sind zellbasierte Assays physiologisch relevanter und bieten die Möglichkeit, die Eigenschaften von Substanzen gleichzeitig zu bewerten. Folgende Ergebnisse können beschrieben werden (Abbildung 25):

Östrogenität ERα GeneBLAzer: Die Grundwasserproben waren nicht oder wenig zytotoxisch und zeigten eine leichte Aktivierung des Östrogenzeptors, die Seewasserproben waren oft

zytotoxisch und aktivierten den Östrogenzeptors schon bei geringeren REF. Die aktiven Proben waren nur schwach spezifisch, wie es typisch bei komplexen Mischungen von Substanzen ist, die nur einen kleinen Anteil an östrogen wirkenden Komponenten haben. Die Sedimentextrakte wiesen eine etwas höhere Spezifität auf.

Dioxin-ähnliche Toxizität AhR CALUX: Die Wasserproben waren in erster Linie zytotoxisch, viele aktivierten jedoch auch den AhR mit relativ geringem Spezifitätsverhältnis. Die Sedimentextrakte zeigten eine extrem hohe Spezifität mit Spitze bei SWM-4.

P53 GeneBLAzer für Genotoxizität: Effekte waren schwach und die simulierte metabolische Aktivierung zeigte keine große Auswirkung auf die p53 Aktivierung und keine eindeutigen Trends. Die Zytotoxizität stieg aber meist nach der metabolischen Aktivierung an.

AREc32 für die oxidative Stressantwort: Die Wasserprobenextrakte wurden bis REF 100 dosiert, zeigten jedoch keine oder nur geringe Effekte. Die Sedimentextrakte zeigten stärkere spezifische Effekte.

Neurotoxizität: Insbesondere die Seewasser- und einige Grundwasserproben zeigten eine spezifische Hemmung des Neuritenauswuchses, während in den Sedimentproben keine spezifische Toxizität festgestellt wurde.

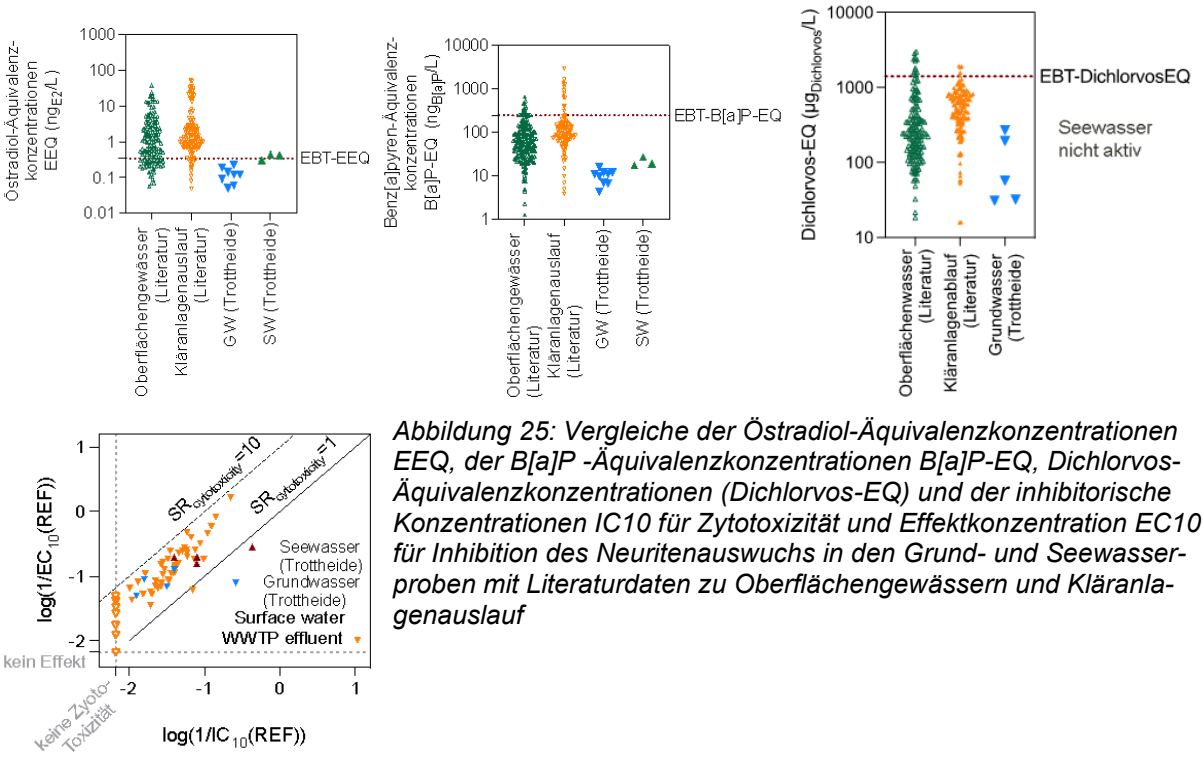
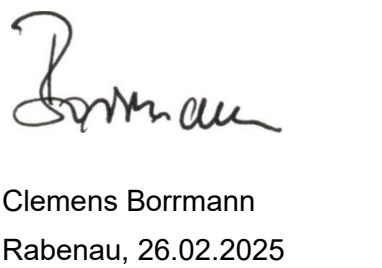


Abbildung 25: Vergleiche der Östradiol-Äquivalenzkonzentrationen EEQ, der B[a]P -Äquivalenzkonzentrationen B[a]P-EQ, Dichlorvos-Äquivalenzkonzentrationen (Dichlorvos-EQ) und der inhibitorische Konzentrationen IC10 für Zytotoxizität und Effektkonzentration EC10 für Inhibition des Neuritenauswuchs in den Grund- und Seewasserproben mit Literaturdaten zu Oberflächengewässern und Kläranlagenauslauf



Clemens Borrmann

Rabenau, 26.02.2025

Name und Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing. Clemens Borrmann
Beratender Ingenieur
CBIConsult Clemens Borrmann
01734 Rabenau
Brückengasse 3
Tel.: +49 171 4414261
E-Mail: borrmann@cbiconsult.de