

Praxisbeispiel in situ Belüftung: Bestimmung des Abschaltzeitpunktes der Belüftung durch Bilanzierung der Stoffumsetzung im Deponat

Klemens Finsterwalder, Daniela Sager, Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, 83233 Bernau a. Ch. / Hittenkirchen

Einleitung

Gegenstand dieses Beitrages ist der Westteil einer ehemaligen Rotteballendeponie von vorrangig vorgerottetem Hausmüll, der von 1982 bis 1990 verfüllt wurde. Eine belastete Fläche von ca. 18 ha wurde von 2010 bis Oktober 2016 durch eine in situ Belüftung des Deponiekörpers saniert. Das Sanierungsziel lag in der Reduzierung der Ammoniumbelastung im Grundwasser. Angepasst an die Milieu- und Randbedingungen am Standort wurde die Belüftung so geplant, dass sich die ungesättigte Bodenzone und der Deponieinhalt, Schüttmächtigkeit durchschnittlich 3 m, wie ein biologischer Festbettreaktor verhalten. Als natürliche Verteilerschicht dient die ungesättigte Bodenzone unter der Deponie, die aus eiszeitlichem Schotter besteht. Die Deponieoberfläche stellt einen Biofilter für die austretende Porenluft dar. Generell wird die vorgestellte Belüftungstechnik nicht nach Druck, sondern über die zugeführte Luftmenge gesteuert, sodass sich eine für den Stickstoffabbau optimale Temperatur im Deponiekörper realisieren lässt. Die Rotteballendeponie wurde über 208 Brunnen belüftet. Der sich einstellende Belüftungsdruck im Untergrund ist abhängig von der Durchlässigkeit der belüfteten Schichten und der Lage des Grundwasserspiegels zur Deponiesohle. Die Kontrolle des Sanierungserfolges erfolgt über die Überwachung der Grundwasserqualität am Standort. Im Abstrom der Deponie wird langfristig ein Sanierungszielwert für Ammonium von 3 mg/l und für Nitrat von 45 mg/l offiziell gefordert. Zudem erfolgte die Überwachung der Stoffumsetzungen im Deponiekörper über kontinuierliche Messung der Porenluftzusammensetzung an insgesamt 35 Bodenluftmessstellen. Die Oberflächen konnten nach der Installation der Belüftungsbrunnen und der Bodenluftmessstellen weiterhin landwirtschaftlich (Viehzucht und Ackerbau) sowie als Recyclinganlage für Baustoffe, Modellflugplatz und Hundeschule ohne Unterbrechungen genutzt werden.

Grundlage der Beurteilung des Gefährdungspotentials

Generell ist es für die Beurteilung einer bautechnischen Situation wesentlich, dass der ungünstigste Zustand erfasst wird (Grenzzustand der Tragfähigkeit,

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit). Diese ingenieurwissenschaftliche Praxis auf Grundlage eines probabilistischen Bemessungsansatzes wird in diesem Beitrag für die Anwendung im Deponie- und Altlastenbereich vorgestellt. Boden- und grundwasserverunreinigende Substanzen werden in allen drei Phasen des Bodens als Funktion der Eigenschaften der Substanzen und des Untergrundes bis in das Grundwasser verlagert. Die Herausforderung liegt in der zeitabhängigen Entwicklung von Grenzzuständen, z.B. Frachten und Emissionen in den Grundwasserleiter (GW) [1]. In diesem Zusammenhang gilt es, mögliche kurz- bis langfristige Gefährdungen zuverlässig zu bewerten und den Sicherungs- oder Sanierungsumfang nach Erfordernis abzuleiten. Auf Grundlage von Emissionsgrenzwertanalysen (EGrA) wird der gegenwärtige und zukünftige Zustand eines Standortes ganzheitlich erfasst [2]. Die Entscheidung der Einsetzbarkeit und des Ausmaßes einer Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahme basiert auf einer Variantenuntersuchung unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen und der Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Aufwand/Nutzen im Einzelfall. In der Planungsphase wurde u. a. die standortspezifische Wirksamkeit der in situ Sanierung durch Belüftung des Deponiekörpers, von Wasserhaushaltsschichten (WHS) sowie von mineralischen Abdichtungen oder polymervergüteten Dichtungsmaterialien untersucht. Der Ist-Zustand des Grenzzustandes der Grundwasserbelastung ohne Sanierung für die gesamte Lebensdauer der Rotteballendepone ist dargestellt in Abb. 1 (links), eingetragen sind auch die von der Behörde vorgegebenen Beurteilungsstufen, wobei als ökologische Zielvorgabe mindestens die Unterschreitung der Stufe III gilt. Bei der Beibehaltung des Ist-Zustandes kann dieses Ziel langfristig nicht erreicht werden.

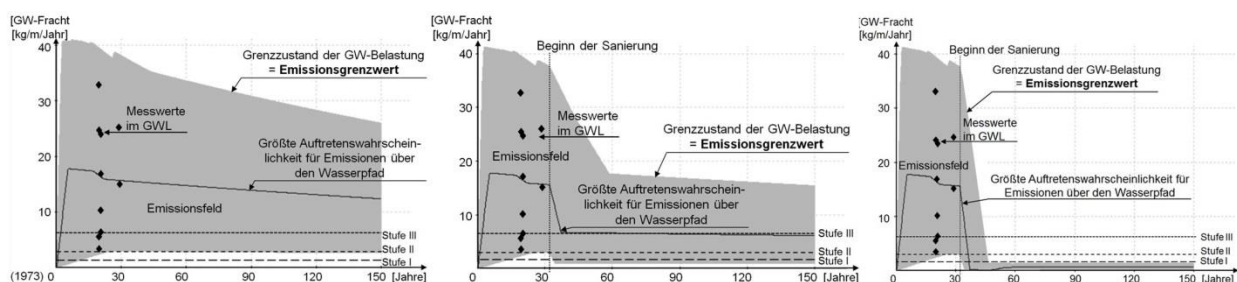


Abb. 1: EGrA der Ammoniumfrachten im GW bei Fortführung des Ist-Zustandes (links) - Abdeckung als WHS mit Waldnutzung (Mitte) - biologischer in situ Sanierung durch Belüftung (rechts), Betrachtung der gesamten Lebensdauer

In Abb. 1 (Mitte) ist exemplarisch die Prüfung der Wirksamkeit einer WHS, hier Waldnutzung, dargestellt. Die Emissionsgrenzwerte, welche entscheidend für den

Nachweis der Wirksamkeit und damit der Emissionssicherheit sind, liegen noch erheblich über der behördlichen Zielvorgabe. Die Abb. 1 (rechts) stellt die Veränderung der Ammoniumfrachten im Grundwasserabstrom der Deponie mit der umgesetzten in situ Sanierung durch Belüftung dar. Die Ergebnisse der EGrA zeigen ein Absinken der Ammoniumfracht unter den Stufe I Wert bei entsprechender Belüftungsdauer (geplant 8 – 10 Jahre).

Innovationen der Belüftungstechnik

Das vorgestellte Belüftungsverfahren zeichnet sich durch eine Volumenvorgabe der eingetragenen Luft, Druckmessung an Belüftungsbrunnen, sowie eine analytische Bestimmung der Reaktionsprodukte über die Messung der Porenluftzusammensetzung (Temperatur, CH₄-, CO₂- und O₂-Konzentrationen) an den Bodenluftmessstellen aus. Die Belüftungsbrunnen sind an vier Kompressorstationen, verteilt über die Deponiefläche, angeschlossen, in denen sich die Mess- und Regeltechnik befindet. Der Betrieb der Belüftungsanlage und die Messtechnik sind vollständig automatisiert. Die Daten werden täglich erfasst und ausgewertet. Das Verfahren bietet damit insgesamt die Steuerungsmöglichkeit der biologischen in situ Sanierung von Anfang an und verfahrensspezifische Prozessparameter (z. B. Temperatur) werden damit adaptierbar. Durch ein effizientes und kontinuierliches Prozessmonitoring kann zeitnah auf die ablaufenden Prozesse und auf die Erreichung der Zielstellungen eingewirkt werden. Die Anordnung der Brunnen und Bodenluftmessstellen im Grundriss zeigt Abb. 2 (Stand 31.05.2016).

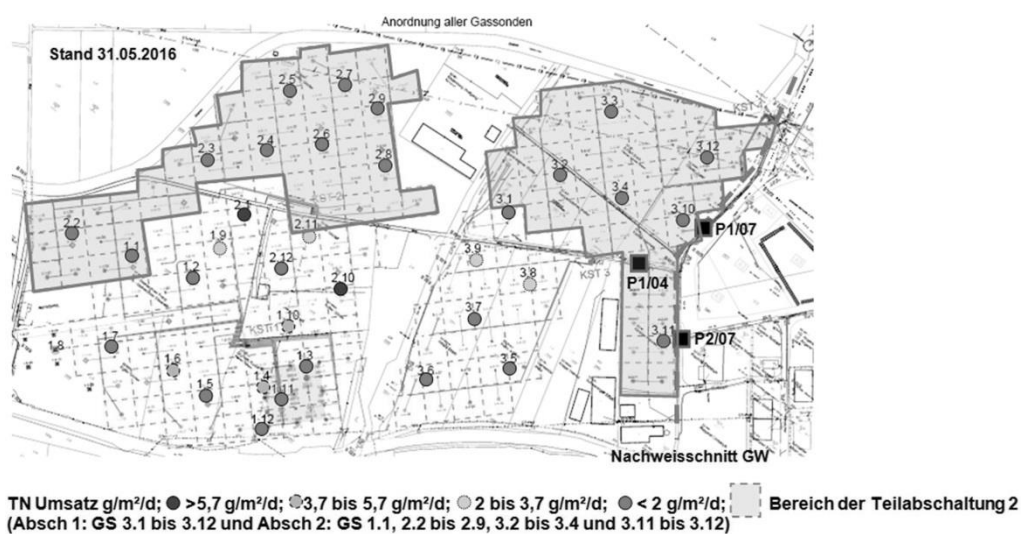


Abb. 2: Grundriss der Deponie mit 208 Belüftungsfeldern á 900 m² und 35 Bodenluftmessstellen; Erfolgskontrolle an der Nachweislinie (GW-Pegel P1/07, P1/04, P2/07)

Ergebnisse – Ammonium- und Nitratreduktion

Die Erfolgskontrolle der Sanierung erfolgt durch Messung der Ammonium- und Nitratbelastung im Abstrom der Deponie. Die in der Planung berücksichtigte Oxidation von Ammonium zu Nitrat und die Reduzierung der Ammoniumbelastung im Grundwasser erfolgt im erwarteten Umfang. Die Belastung des Grundwassers durch Ammonium wurde durch die Belüftung von bis zu 20 mg/l auf maximal 2,4 mg/l reduziert (Abb. 3, links). Die Belastung des Grundwassers durch Nitrat (Abb. 3, rechts) ist zudem deutlich geringer als erwartet. Im Abstrom der Deponie wurden zum gegebenen Zeitpunkt lediglich maximal 4,9 mg/l Nitrat gemessen (Sanierungszielwert 45 mg/l). Eine Umwandlung des Nitrats in elementaren Stickstoff N_2 und Wasser wird aufgrund der vorhandenen Milieubedingungen angenommen.

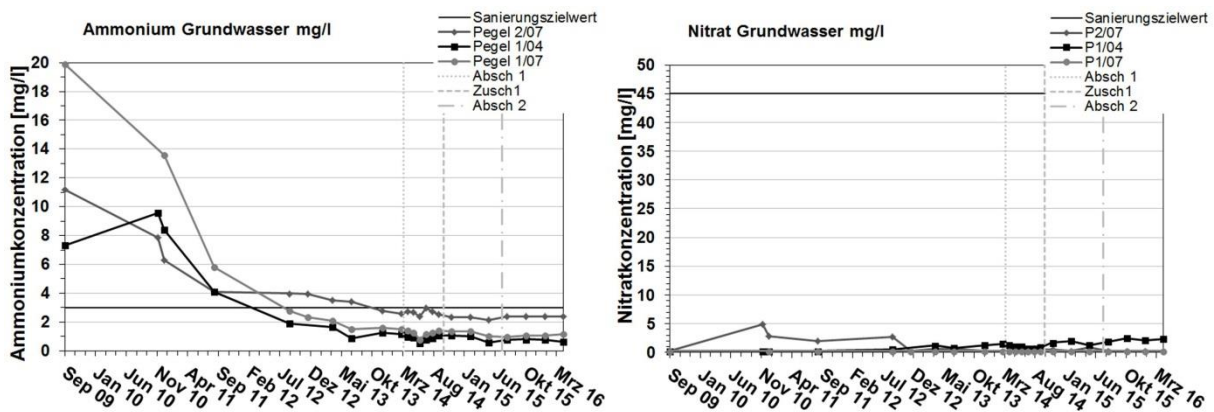


Abb. 3: Veränderung der Ammonium- (links) sowie der Nitratkonzentration (rechts) im Grundwasser an der Nachweislinie für die Pegel P1/07, P1/04 und P2/07 (Lage siehe Abb. 2) sowie Zeitpunkte der Teilabschaltungen und Zuschaltung

Ergebnisse der Überwachung der Umsetzungs-, Reaktionsvorgänge und biologischen Abbauprozesse

Die vorgestellte Belüftungstechnik wird nicht nach Druck, sondern über die zugeführte Luftmenge an jedem Belüftungsbrunnen gesteuert. Durch die besondere Technik der Belüftung ist es möglich, dass die Erfolgskontrolle auch über die Analyse von Bodenluftproben an der Grenzfläche zwischen Deponiekörper und überlagernder Vegetationsschicht erfolgt. Die Mengen der Reaktionsprodukte können abhängig von der Art der biologischen Belastung absolut und im Verhältnis zueinander bestimmt werden. Der Verlauf der Abbauprozesse, als Funktion der Zeit, ist ein Indikator für den Abschaltzeitpunkt. Aus den gemessenen Anteilen der genannten Gase in der Porenluft werden im Vergleich mit dem konstanten Volumen und der bekannten Zusammensetzung der zugeführten Luft die Reaktionsanteile von Kohlenstoff (C)

und Stickstoff (Anteil N in Nitrat) ermittelt und Massenbilanzen des Stoffumsatzes im Deponiekörper, getrennt für C und N, erstellt. Damit wird das Prüfkriterium zum Abklingen der biologischen Umsetzungs- und Reaktionsvorgänge quantifizierbar. Die Menge an gebildetem Nitrat (NO_3^-), die über das Sickerwasser ausgetragen wird, errechnet sich über die Bilanzierung des O_2 und CO_2 . Dabei wird pro Gramm C ca. 2,7 g O_2 verbraucht. Für die Oxidation pro Gramm N wird ca. 3,4 g O_2 benötigt. Am Verlauf der Summenkurve (N) wird ermittelt, wie hoch die Nitratbildung in den Belüftungsfeldern ist. Nimmt der Summenwert nicht mehr oder nur wenig zu, ist der oxidierbare Stickstoff im Umfeld der Sonde verbraucht. Dieser optimale Zustand ist z. B. für die Sonde 3.4 (Abb. 4 links - Total Carbon TC vertikale Primärachse und Total Nitrogen TN vertikale Sekundärachse) erreicht. Für die Sonden 3.1 (Abb. 4 - Mitte) und 1.10 (Abb. 4 - rechts) wird zum Stand 30.06.2016 noch ein Anstieg verzeichnet. Die Beurteilung zur Abschaltung der Belüftungsbrunnen auf Grundlage der Bodenluftmessung bezieht sich dann auf die mittlere Abbaurate von TN der belüfteten Deponiefläche, die einen Betrag von 2 g/(m²·d) erreicht (vgl. Abb. 2).

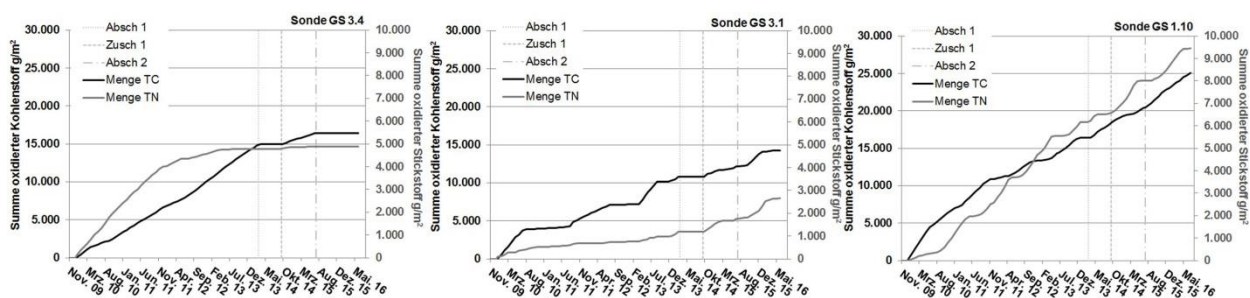


Abb. 4: Summen oxidiertes Stickstoff (vertikale Primärachse) und Kohlenstoff (vertikale Sekundärachse) in g/m² Deponiefläche (TN / Total Nitrogen; TC / Total Carbon) im Bereich der Sonden 3.4 (links) und 3.1 (Mitte) und 1.10 (rechts)

Zusammenfassung und Ausblick

Die vor der Belüftung durchgeführten Abfallanalysen ergaben ein Gesamtpotential von 2.320 Mg TN für den Deponiekörper, von denen für die Planung 230 Mg als organisch verfügbar eingeschätzt wurden. In der Abb. 5 (vertikale Sekundärachse) ist die Entwicklung des TN Abbaus als Summenwert aus allen 35 Sonden dargestellt. Mit Stand 30.06.2016 wurden auf Grundlage der durchgeführten Massenbilanzen insgesamt ca. 740 Mg TN im Deponiekörper umgesetzt. Wenn der Stickstoff verbraucht ist, kann zukünftig keine anaerobe Umsetzung erfolgen. Der Abbau von Kohlenstoff (Annahme in der Planung: Gesamtpotential ca. 44.000 t, davon abbaubar ca. 10.000 t) im Deponiekörper durch die Belüftung, der parallel zur Oxidation der

Stickstoffverbindungen stattfindet, erreichte ca. 4.700 Mg TC (Abb. 5, vertikale Primärachse). Die dargestellten Summenkurven verlaufen mit einem konstanten Faktor parallel mit einer erkennbaren Verflachung im Verlauf der Belüftung.

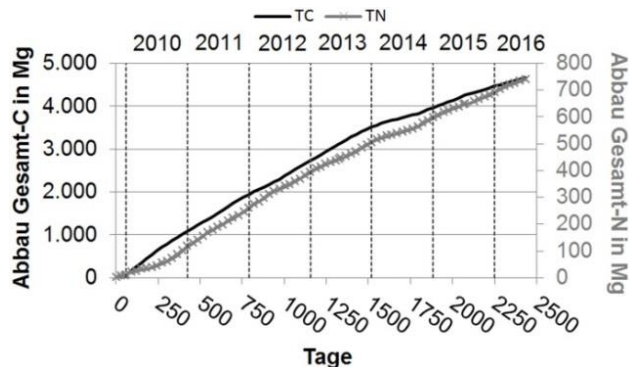


Abb. 5: Umsatz von TN (vertikale Sekundärachse) und TC (vertikale Primärachse) als Summenkurven seit Beginn der Belüftung für die gesamte Deponie

Die erste Teilabschaltung im März 2014 für sechs Monate, danach Wiederinbetriebnahme, sollte deren Einfluss auf die Grundwasserbelastung durch Ammonium und Nitrat zeigen. Danach erfolgte eine zweite Teilabschaltung im Juli 2015 ohne Wiederinbetriebnahme, um die Reaktion einer erneuten Belüftung und Abschaltung auf die Grundwasserbelastung zu beobachten (vgl. Abb. 3). Generell wurde kein erheblicher Anstieg von Ammonium im Grundwasserabstrom, Austauschzeitraum in Fließrichtung ein Jahr, beobachtet. Die Entscheidungskriterien für eine behördlich genehmigte Abschaltung der in situ Belüftung insgesamt im Oktober 2016 (Dauer verkürzt auf 7 Jahre) beruhen zum einen auf der erreichten mittleren Abbaurate von $2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, die zum Zeitpunkt der Planung behördlich festgelegt wurde, und zum andern auf der dauerhaften Einhaltung des Ammonium-Zielwertes im Grundwasser von 3 mg/l . Nach der Abschaltung der Belüftung wird der Standort für mindestens ein weiteres Jahr beobachtet (Grundwasser und Bodenluft).

Literatur

- [1] Finsterwalder, K. und Sager, D. (2015): Bemessung von Sicherungssystemen für Deponien und Altablagerungen - Ökologische und ökonomische Potentiale der Emissionsgrenzwertanalyse. Müll und Abfall 5, S. 272 – 277. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG.
- [2] Finsterwalder, K. und Sager, D. (2015): Biologische in-situ Sanierung von Deponien und Böden durch Belüftung. Altlasten spektrum August 04/2015. S. 136 – 142. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG.