

Untersuchungen von Komposten und Gärsubstraten auf organische Schadstoffe in Baden-Württemberg

Förderkennzeichen BWR 24026

B. Kuch¹, S. Rupp¹, K. Fischer², M. Kranert², J.W. Metzger¹

¹)Abteilung Hydrochemie, ²)Abteilung Siedlungsabfall, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart

Kurzbeschreibung des Projektes

Die Belastung von Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen mit verschiedenen organischen Schadstoffen wurde in einer Vielzahl von Untersuchungen belegt. Aus diesem Grund wird die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm kontrovers diskutiert. Bei Komposten und Gärsubstraten liegen für eine abschließende Beurteilung möglicher Gefahren bei einer landwirtschaftlichen Verwertung zu wenige Erkenntnisse vor.

Im Rahmen der vorliegenden Monitoringstudie wurden reife Komposte und Gärsubstrate aus ausgewählten baden-württembergischen Kompostierungs- und Vergärungsanlagen mit dem einen Ziel untersucht, die Belastungssituation in Hinblick auf verschiedene organische Schadstoffe aufzuzeigen. Des Weiteren sollte die bestehende Datenlage erweitert werden, um den ökologischen und ökonomischen Nutzens der Klärschlamm- oder Kompostausbringung vergleichend beurteilen zu können. Mit Beprobungen im Sommer und im Winter sollten potenzielle saisonale Abhängigkeiten erfasst werden.

Für die Auswahl der organischen Mikroverunreinigungen wurden folgende, teilweise sich überschneidende, Auswahlkriterien berücksichtigt:

- Vergleichbarkeit mit anderen Studien und vorliegenden Literaturbefunden
- Vorkommen in Klärschlämmen
- Bestätigte oder vermutete (öko)-toxikologische Relevanz
- große Produktionsmengen
- Verwendungszweck und Einsatzbereich
- Vorhandene gesetzliche Regulationen für Kompost und/oder andere Matrices

Aus diesen Gründen wurden klassische Umweltkontaminanten wie die polychlorierten Biphenyle (PCB) und die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) ausgewählt. Aus der Liste der prioritären Stoffe der EU-Wasserrahmenrichtlinie wurden Halogenbenzole, der Phthalatweichmacher Di-(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP), 4-*tert*-Octylphenol, die 4-Nonylphenole und die als Flammschutzmittel eingesetzten polybromierten Diphenylether (PBDE) ausgewählt. Das Reaktivflammschutzmittel Tetrabrombisphenol A (TBBPA) wurde wie DEHP wegen großer Produktionsmengen und seiner (vermuteten) hormonellen Wirksamkeit ebenfalls in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Bei Triclosan handelt es sich um ein weitverbreitet eingesetztes Desinfektionsmittel, das in (gereinigtem) Abwasser, Oberflächengewässern und Klärschlämmen nachweisbar ist.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde bei allen Proben ein Screening nach auffälligen Substanzen und Substanzklassen durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen dieser Messungen wurde das Programm um weitere Substanzen wie das z.B. das DDT-

Abbauprodukt p,p'-DDE, der synthetische Duftstoff AHTN (7-Acetyl-1,1,3,4,4,6-hexamethyl-tetralin), das Phosphorflammschutzmittel TCPP (Tris-(chlorpropyl)-phosphat) und die Flammschutzmittel 2,4,6-Tribromphenyl-allylether und -(2,3-dibrompropyl)-ether erweitert. Insgesamt wurden 16 Anlagen in Baden-Württemberg beprobt. In Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, dem Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg sowie der Bundesgütegemeinschaft Kompost wurden 10 Bioabfallkompostierungsanlagen, drei Vergärungsanlagen sowie drei Anlagen, die ausschließlich Grünabfälle verarbeiten, ausgewählt.

Kurzbeschreibung des Forschungsergebnisses

Die Konzentrationen der untersuchten Analyten werden im Folgenden zur Übersicht in verschiedene Bereiche eingeteilt, wobei in die Ergebnisse die Werte von 19 Biokomposten, fünf Grüngutkomposten und fünf Vergärungsrückständen eingehen. Im Konzentrationsbereich zwischen 500 µg/kg TS_{lyo} und 5000 µg/kg TS_{lyo} lagen die ökotoxikologisch relevanten polycyclischen Kohlenwasserstoffe (PAK₁₆ nach US EPA), DEHP und die estrogenwirksamen 4-Nonylphenole vor. Polychlorierte Biphenyle (PCB₆) und polybromierte Diphenylether (PBDE₁₁) konnten in allen untersuchten Proben in einem Konzentrationsbereich von 5 µg/kg TS_{lyo} bis 50 µg/kg TS_{lyo} bestimmt werden. Bei den PCB ist allerdings zu beachten, dass die Gesamtkonzentration etwa in der Größenordnung von 150 µg/kg bis 200 µg/kg liegt (PCB_{gesamt} = PCB₆ × 5). Die Konzentrationen des DDT-Abbauprodukts DDE und der Halogenbenzole (Chlorbenzole Chlorierungsgrad 3 bis 6, Brombenzole Bromierungsgrad 2 bis 6) lagen überwiegend im Konzentrationsbereich von < 10 µg/kg TS_{lyo}. Die bei den obengenannten Analyten ermittelten Konzentrationen liegen in den aus der aktuellen Literatur bekannten Größenordnungen.

Das Desinfektionsmittel Triclosan, das aufgrund seiner weitverbreiteten Anwendung als Marker für eine anthropogene Belastung in Oberflächengewässern einsetzbar wäre, konnte in vier Biokompostproben und einem Vergärungsrückstand in Konzentrationen von maximal 12 µg/kg TS_{lyo} nachgewiesen werden, das phenolische Flammschutzmittel Tetrabrombisphenol A in der Mehrzahl der untersuchten Biokomposte mit einer mittleren Konzentration von 1,3 µg/kg TS_{lyo}. Der synthetische Duftstoff AHTN und das Phosphorflammschutzmittel TCPP konnten in den Biokomposten und den Vergärungsrückständen detektiert werden. Mit Ausnahme der beiden letztgenannten Substanzen waren keine Zusammenhänge zwischen den Konzentrationen einzelner Substanzen/Substanzgruppen aufstellbar. Abhängigkeiten der Konzentrationen von der Kapazität der untersuchten Anlagen konnten ebenfalls nicht festgestellt werden. Im Vergleich zu kommunalen Klärschlämmen waren die Konzentrationen der meisten Zielanalyten in den Komposten und Vergärungsrückständen erheblich niedriger. Lediglich in den Vergärungsrückständen wurden bei den 4-Nonylphenolen die in Klärschlamm vorliegenden Größenordnungen erreicht. Grenzwerte für Kompost, die nur für wenige Substanzen in einigen EU-Ländern existieren, werden in den meisten Fällen erheblich unterschritten. Lediglich die PAK₁₆ überschreiten in einigen Fällen den strengen dänischen Richtwert für Bioabfallkomposte von 3000 µg/kg TS.

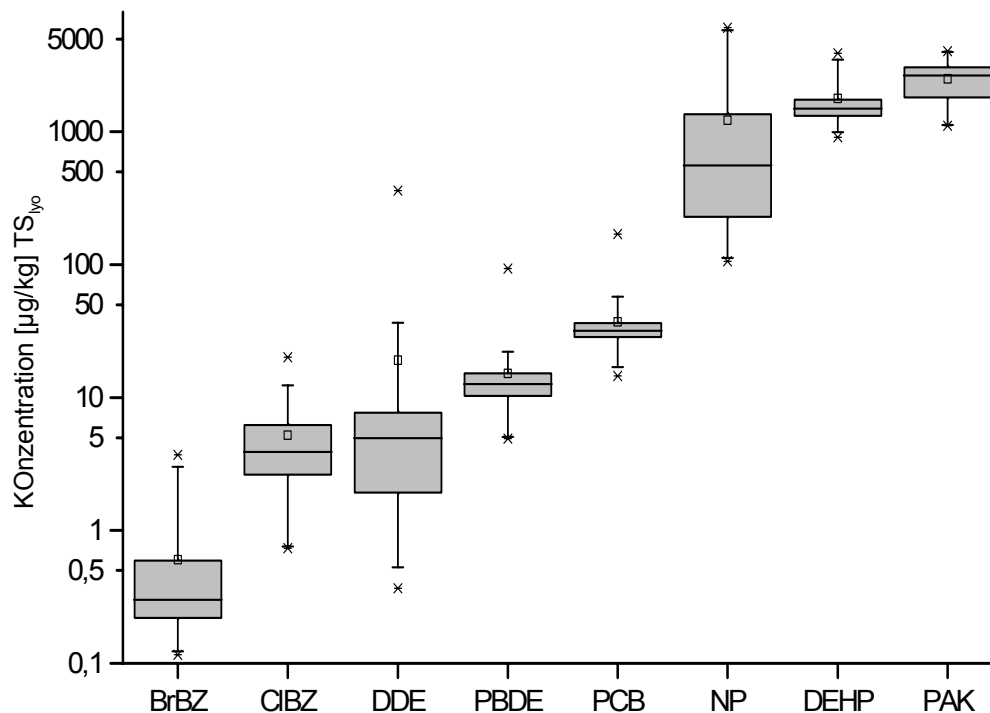


Abbildung 1: Konzentrationen ausgewählter Mikroverunreinigungen in Kompost

N = 29 (19 Biokompostproben, 5 Grüngutkomposte und 5 Vergärungsrückstände);

BrBZ: Brombenzole ($\Sigma\text{Br}_2\text{-Br}_6$), ClBZ: Chlorbenzole ($\Sigma\text{Cl}_3\text{-Cl}_6$), DDE: Dichlordiphenyldichlorethylen, PBDE: Polybromierte Diphenylether ($\Sigma\text{Br}_2\text{-Br}_7 = \text{PBDE}_{11}$), PCB: Polychlorierte Biphenyle (Σ Indikator-PCB = PCB₆), NP: 4-Nonylphenole, DEHP: Di-(2-ethylhexyl)-phthalat, PAK: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK₁₆)

Für eine statistisch abgesicherte Bewertung von Unterschieden zwischen den Kompostarten liegen an sich zu wenig Werte vor; dies gilt vor allem für die Grüngutkomposte und Vergärungsrückstände. Bei nahezu allen untersuchten Analyten konnte aber als Trend festgestellt werden, dass die Grüngutkomposte weniger belastet waren. Lediglich beim Weichmacher DEHP lagen die bei den Grüngutkomposten ermittelten Konzentrationen im gleichen Bereich wie bei den untersuchten Biokomposten.

Eine vergleichbare Belastung der Biokomposte und der Vergärungsrückstände konnte bei den PCB, den PBDE und den Halogenbenzolen beobachtet werden. Erhöhte Konzentrationen in den Vergärungsrückständen wurden bei den PAK, 4-*tert*-Octylphenol, den 4-n-Nonylphenolen, bei den Chlorbenzolen, beim Weichmacher DEHP, dem DDT-Abbauprodukt DDE, dem synthetischen Duftstoff AHTN und dem Phosphorflammschutzmittel Tris-(chlorpropyl)-phosphat (TCPP) festgestellt. Auffallend war, dass die Flammschutzmittel Tetrabrombisphenol A, 2,4,6-Tribromphenyl-allylether und -(2,3-dibrompropyl)-ether in den Vergärungsrückständen nur in sehr geringen Konzentrationen oder nicht nachgewiesen werden konnten. Zu vermuten ist, dass die spezifischen Bedingungen während der Fermentierung zu einem geänderten Abbau- und Volatilierungsverhalten führen. Detailliertere Aussagen zum Einfluss der Kompostierungs- bzw. Fermentierungsmethode sind nicht möglich, da im Rahmen der vorliegenden Projektierung keine Analyse der Ausgangsmaterialien durchgeführt wurde. Dies gilt auch im Wesentlichen

für die Charakterisierung der Eintragsarten bei den untersuchten Komposten: ohne Kenntnis der Belastung der Ausgangsmaterialien können nur Vermutungen angestellt werden.

Eine der Zielstellungen der Projektierung war die Erfassung von saisonalen Effekten. Jahreszeitenabhängige Belastungen können prinzipiell durch unterschiedlichen Eintrag oder durch unterschiedliches Verhalten der Substanzen im Behandlungsprozess verursacht werden. Bei den untersuchten Anlagen wurden Sommerproben (Probennahme Herbst) und Winterproben (Probennahme Frühjahr) entnommen. Lediglich bei den Biokompost standen annähernd ausreichend Einzelproben für die Erfassung saisonaler Effekte zur Verfügung.

Bei den PCB, PBDE und den Halogenbenzolen konnten keine saisonalen Effekte festgestellt werden. Bei den PAK und auch beim Weichmacher DEHP lag ein Trend zur höheren Belastung der Winterproben vor. Stark ausgeprägte saisonale Konzentrationsunterschiede konnten bei 4-*tert*-Octylphenol, den 4-Nonylphenolen, dem DDT-Abbauprodukt DDE und dem Flammschutzmittel 2,4,6-Tribromphenyl-allylether ermittelt werden: hier waren die Konzentrationen in den Sommerproben gegenüber den Winterproben erhöht.

Zur Deutung der Befunde können verschiedene Erklärungsversuche herangezogen werden. Die in den Winterproben erhöhten Konzentrationen der PAK können mit höheren Emissionen während der kalten Jahreszeiten zusammenhängen, wobei die in diesem Projekt gefundene saisonale Abhängigkeit interessanterweise im Widerspruch zu Literaturbefunden steht. Die signifikant in den Sommerproben erhöhten Konzentrationen der Alkylphenole und von DDE lassen auf einen spezifischen Eintrag während der Sommermonate (z.B. über Schädlingsbekämpfungsmittel, behandelte Lebensmittel usw., aber auch Eintrag während des Kompostierungs- bzw. Fermentierungsprozesses) rückschließen. Die beobachteten saisonalen Schwankungen könnten aber ebenso durch ein verändertes Abbau- bzw. Volatisierungsverhalten der Substanzen oder durch unterschiedliche Einflüsse während der Behandlung der Ausgangsmaterialien und Endprodukte verursacht werden. Als hypothetisches Beispiel sei hier der Einsatz von dieselbetriebenen Fahrzeugen genannt. In den Wintermonaten könnte hier temperaturbedingt bei der Kompostbehandlung eine stärkere Sorption der Abgasinhaltsstoffe auftreten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die untersuchten Komposte im Wesentlichen geringer mit den untersuchten Substanzen bzw. Substanzgruppen belastet sind als kommunale Klärschlämme. Zu beachten ist aber, dass zur Gewährleistung der Nährstoffzufuhr bei der landwirtschaftlichen Verwertung im Vergleich zu Klärschlamm mehr Kompost ausgebracht werden muss. Es ist davon auszugehen, dass bei einigen der untersuchten Verbindungen wie z.B. den PAK ein großer Teil der Belastungen des Komposts und seiner Ausgangsmaterialien über die Atmosphäre erfolgt. Dies lässt sich aufgrund der im Vergleich zu den untersuchten Bioabfallkomposten und Vergärungsrückständen niedrigeren Belastung der fünf untersuchten Grüngutkomposte vermuten. Eine zusätzliche Belastung erfolgt bei den erstgenannten Probenarten aus dem Eintrag kontaminierter Ausgangsmaterialien. Im Fall der PCB und der PBDE lassen sich die Befunde annähernd als eine diffuse, „zirkulierende“ Hintergrundbelastung beschreiben. Die saisonalen Effekte, die z.B. beim DDT-Abbauprodukt DDE und den 4-Nonylphenolen auftreten, lassen zum einen auf einen jahreszeitenabhängigen Eintrag – z.B. durch importierte Früchte – rückschließen. Zum anderen kann ein atmosphärisch erfolgender Eintrag auch bei diesen Substanzen nicht ausgeschlossen werden.

Empfehlungen

Die vorliegende Studie hat – nicht zuletzt wegen der im Untersuchungsprogramm nicht vorgesehenen Analyse der Ausgangsmaterialien – lediglich den Charakter einer Monitoringstudie. Die ebenfalls in der genehmigten Projektierung reduzierte Probenanzahl und die Laufzeit von einem Jahr erschweren den Vergleich der unterschiedlichen Kompostierungsarten und die Bewertung saisonaler Abhängigkeiten.

Insbesondere die Erfassung saisonaler Effekte und eine gezielte Quellencharakterisierung sollten aber in Hinblick auf eine Minimierung des Eintrags organischer Spurenstoffe in den Kompost durch Abtrennung ungeeigneter Materialien eine Zielstellung weiterführender Projektierungen sein. Detaillierte Untersuchungen der unterschiedlichen Kompostierungs- und Fermentierungsprozesse einschließlich der Ausgangsmaterialien könnten eine nicht nur orientierende Bewertung der Methoden erlauben. Mit Untersuchungen, die über einen längeren Zeitraum an ausgewählten Anlagen und mit einer größeren Probenanzahl durchgeführt werden, könnten saisonale Effekte und Schwankungsbreiten besser erfasst werden. Das nach wie vor bei vielen Substanzen bzw. Substanzgruppen nicht geklärte oder nur vermutete Verhalten im Kompostierungsprozess ließe sich mit der gezielten Durchführung in kleinerem Maßstab und mit definiertem Ausgangsmaterial verfolgen.

Eine Bewertung von ermittelten Belastungen in Kompost erfolgt oftmals aus dem Vergleich mit den in „unbelasteten“ Böden ermittelten Werten, die als Hintergrundbelastung definiert werden. Bei schon aus der aktuellen Literatur Bewertungen zu einigen Substanzen bzw. Substanzgruppen fällt auf, dass verschiedene Studien die Relevanz von vorliegenden Belastungen unterschiedlich beurteilen. Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass andere Datensätze als Bewertungsgrundlage verwendet wurden. Hier scheint eine vergleichende Bewertung der Datengrundlagen notwendig zu sein. Nicht zuletzt aus diesem Grund sollten bei zukünftigen Untersuchungen auch Vergleichsmessungen an Böden durchgeführt werden.