

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 363 01 049
UBA-FB 000610



Neubewertung von Kompostqualitäten

von

Dr. Jürgen Reinhold

Bioplan, Dr. Reinhold und Dr. Müller GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

Vorauszahlung von 7,50 Euro

durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 432 765-104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Wolframstraße 95-96,
12105 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 5.1
Dr. Claus Gerhard Bannick
Sabine Huck
Hermann Keßler
Gerhard Smetana

Berlin, März 2004

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Neubewertung von Kompostqualitäten		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Reinhold, Jürgen		8. Abschlußdatum 28.3.2003
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Bioplan Dr. Reinhold und Dr. Müller GmbH Kemnitzer Str. 2c 14 542 Werder / OT Phöben		9. Veröffentlichungsdatum
		10. UFOPLAN-Nr.
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin		11. Seitenzahl 45
		12. Literaturangaben
		13. Tabellen und Diagramme 36
		14. Abbildungen
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Mittels einer umfangreichen statistischen Auswertung von 11.876 Kompostuntersuchungen der Gütegemeinschaft Kompost e.V der Jahre 1998 bis 2002 konnte in 376 Bioabfallbehandlungsanlagen Erwartungsbereiche für die Mittelwerte und die zugehörigen Einzelmesswerte für relevante Schwermetalle abgeleitet werden. Im Vergleich zum Stand vor Inkrafttreten der BioAbfV wurden über 10%-ige Qualitätsverbesserungen festgestellt (Zuwachs bei Nährstoffen; Rückgang bei Pb, Hg und Cd). Die Gehalte an Fremdstoffen und Cu haben sich dagegen deutlich erhöht. Die Konzentrationen der Schwermetalle folgen den Hintergrundwerten. Die Schwermetallkonzentrationen wurden in Abhängigkeit von den Parametern Feststoffgehalt, organische Substanz, Rottegrad und Nährstoffgehalte betrachtet. Etwa 32% der Anlagen weisen einen progressiven Zusammenhang von Schwermetall- und Nährstoffgehalten auf. Höhere Gehalte an organischer Substanz sind bei etwa 15% der Anlagen mit zunehmenden Schwermetallgehalt verbunden. Auf der Grundlage der statistischen Auswertung sind Gewährleistungs- bzw. Validierungsgrenzen für Anlagenmittel- und für Einzelmesswerte abgeleitet entsprechen dem Stand der Technik im Qualitätsmanagement. Geltende Grenzwerte und derzeit zur Diskussion ausgestellte Wertevorschläge wurde bei 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen auf die Gewährleistung ihrer Einhaltung geprüft. Etwa 18% der Anlagen halten die Grenzwerte nach BioAbfV § 4 (3) Satz 2 nicht ein. Die Wertvorschläge aus dem BMU/BMVEL-Konzept vom Juni 2002 können (insbesondere bei Sand- und Lehmböden) für den überwiegenden Teil der Anlagen nicht erreicht werden.		
17. Schlagwörter Bioabfallverordnung, Kompost, Schwermetalle, Düngemittel, Bodenschutz		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Revaluation of compost qualities		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Reinhold, Jürgen		8. Report Date 28.3.2003
6. Performing Organisation (Name, Address) Bioplan Dr. Reinhold und Dr. Müller GmbH Kemnitzer Str. 2c 14 542 Werder / OT Phöben		9. Publication Date
		10. UFOPLAN-Ref. No.
		11. No. of Pages 45
		12. No. of Reference
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin		13. No. of Tables, Diagrams 36
		14. No. of Figures
15. Supplementary Notes		
16. Abstract By means of an extensive statistic evaluation of 11,876 compost investigations of the Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. from the years 1998 to 2002 expected mean values and the corresponded single values for relevant heavy metals could be derived from 376 bio waste treatment plants. In comparison to the situation before the BioAbfV become effective the quality improved by 10 % (increase nutrients, reduction of Pb, Hg and Cd). However the contents of foreign matter and Cu values show a significant increase. The heavy metal concentrations follow the background values in soil. The heavy metal concentrations were regarded as a function of the parameters foreign matter, organic matter, degree of decomposition and nutrient contents. About 32 % of the plants show a progressive connection of heavy metal and nutrient contents. Higher contents of organic matter are associated with approximately 15 % of the plants with declining heavy metal concentrations. Based of the statistic warrenty values and/or validation limits were derived for plant mean values and for single values, which can be maintained by German bio waste composting plants. These values correspond to the state of the artin the quality management. Valid threshold values and values in discussion have been testet in 376 RAL-external quality controlled bio waste composting plants for their compliance with the obligations by the German BioAbfV. About 18 % of the plants cannot maintain the limit values by the German BioAbfV Art. 4 Sect. 3, clause 2. The proposal value by the BMU/BMVEL concept from June 2002 cannot be achieved (in particular with sandy and loamy soils) by majority part of the plants.		
17. Keywords soil protection, fertiliser, compost, heavy metals, biowaste ordiance		
18. Price	19.	20.

Vorwort

Die Getrenntsammlung von stofflich verwertbaren Bioabfällen hat in Deutschland einen hohen technischen Stand erreicht. Die Biotonne ist in 77 % aller deutschen Verwaltungseinheiten eingeführt. Die aus Bioabfällen hergestellten Komposte sind Düngemittel im Sinne der Düngemittelverordnung. Sie dienen aber auch der Humusversorgung von Böden und können einen wesentlichen Beitrag zum Schutz dieser Böden vor Erosion und Verdichtung leisten. Für die Landwirtschaft, den Erwerbsgartenbau und den Landschaftsbau werden Potenziale zur Einsparung von Mineraldüngern erschlossen. Über diesen Verwertungsweg wird ein wichtiges Ziel des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes – die Ressourcenschonung - erreicht.

Mit Inkrafttreten des Bodenschutzrechtes wurden neue Standards im Bereich der Bodenvorsorge gesetzt. Dies war auch der Auslöser für einen Beschluss der gemeinsamen Agrarminister- und Umweltministerkonferenz im Juni 2001. Danach soll es durch Düngemaßnahmen künftig zu keinen Schadstoffhöhungen in Böden kommen. Das neue Grenzwertkonzept der Bundesregierung für „Gute Qualität und sichere Erträge“ nimmt die Anforderungen des gemeinsamen Beschlusses auf und zielt auf die Anwendung gleicher fachlicher Grundsätze für alle organischen Düngemittel. Das beinhaltet sowohl die Berücksichtigung einheitlicher bodenschutzgerechter Vorsorgekriterien als auch die umfassende Kenntnis der stofflichen Qualität von organischen Düngemitteln. Mit dem neuen Konzept wird das Ziel einer schadlosen und ordnungsgemäßen Verwertung nach KrW-/AbfG erfüllt.

Die behördliche Überwachung von Bioabfallkomposten wird in über zwei Drittel der Kompostierungsanlagen durch eine freiwillige RAL-Gütesicherung ergänzt. Hier werden über die Anforderungen der aktuellen Bioabfallverordnung hinausgehende Qualitätsparameter erfasst und komplex ausgewertete Jahreszertifikate für die erzeugten Sekundärrohstoffdünger erstellt.

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. verfügt als Träger der freiwilligen RAL-Gütesicherung über einen für Deutschland repräsentativen Datenbestand von Untersuchungsergebnissen bei Bioabfallkomposten. In ihrer Zentralen Auswertungsstelle sind über 25.000 Datensätze gespeichert. An dieser in Deutschland einzigartigen Datensammlung hat sich der Verordnungsgeber schon 1998 bei der Entwicklung und Einführung der Bioabfallverordnung orientiert.

Das Umweltbundesamt Berlin und die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. sind überein gekommen, das Projekt „Neubewertung von Kompostqualitäten“ gemeinsam als einen Beitrag zur Wahrnehmung ihrer Verantwortung für eine umweltgerechte Bio-Kreislaufwirtschaft zu bearbeiten. Die Projektergebnisse spiegeln die Kompostqualität bei einem Qualitätsmanagement nach dem heutigen Stand der Technik wider und kennzeichnen die bei der Getrenntsammlung und Kompostierung von Bioabfällen erreichten Hintergrundgehalte und die sich daraus zur Zeit ableitbaren Gewährleistungsgrenzen von Eigenschaften und Inhaltsstoffen der erzeugten Komposte (u.a. Nährstoffe, organische Substanz, Fremdstoffe und Schadstoffe).

Dr. Claus G. Bannick
Umweltbundesamt

Dr. Bertram Kehres
Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

Dr. Jürgen Reinhold
Bioplan

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	7
Inhaltsverzeichnis	8
Kurzfassung (Zusammenfassung) des Berichtsinhaltes	9
1. Veranlassung	13
2. Material und Methoden	14
2.1 Beschreibung der statistische Datenauswertungen	16
2.1.1 Lineare Trendabschätzung	16
2.1.2 Beschreibung der Grundqualität und ihres Erwartungsbereiches	17
2.1.3 Beschreibung von Erwartungsbereichen für Einzelmesswerte und von Ausreißergrenzen	18
2.1.4 Beschreibung der Datenblätter	19
3. Ergebnisse	21
3.1 Statistische Mittelwerte ausgewählter Parameter	21
3.1.1 Grenzwertparameter nach Bioabfallverordnung	21
3.1.2 Nutzwertbestimmende Parameter	22
3.2 Gewährleistungsgrenzen der getrennten Sammlung und Kompostierung	23
3.3 Variabilität von Kompostierungsanlagen, Probenahme und Analytik	27
3.4 Grenzen bei der Gewährleistung bestimmter Kompost-Qualitäten	28
3.5 Beziehung von Schwermetallkonzentrationen zu anderen Kompostparametern	29
3.6 Erforderliche Untersuchungshäufigkeit für Einzelanlagen	30
4. Beurteilung bestehender und diskutierter Grenzwerte	31
4.1 Grenzwerte der Bioabfallverordnung	32
4.2 Grenzwerte der EU-Öko-Landbau-Verordnung 2092/91	33
4.3 Grenzwerte des BMU / BMVEL - Konzepts	36
4.4 Grenzwerte eines überarbeiteten UBA - Konzepts	38
5. Zusammenfassung	44
Anlagenverzeichnis	48

Kurzfassung (Zusammenfassung) des Berichtsinhaltes

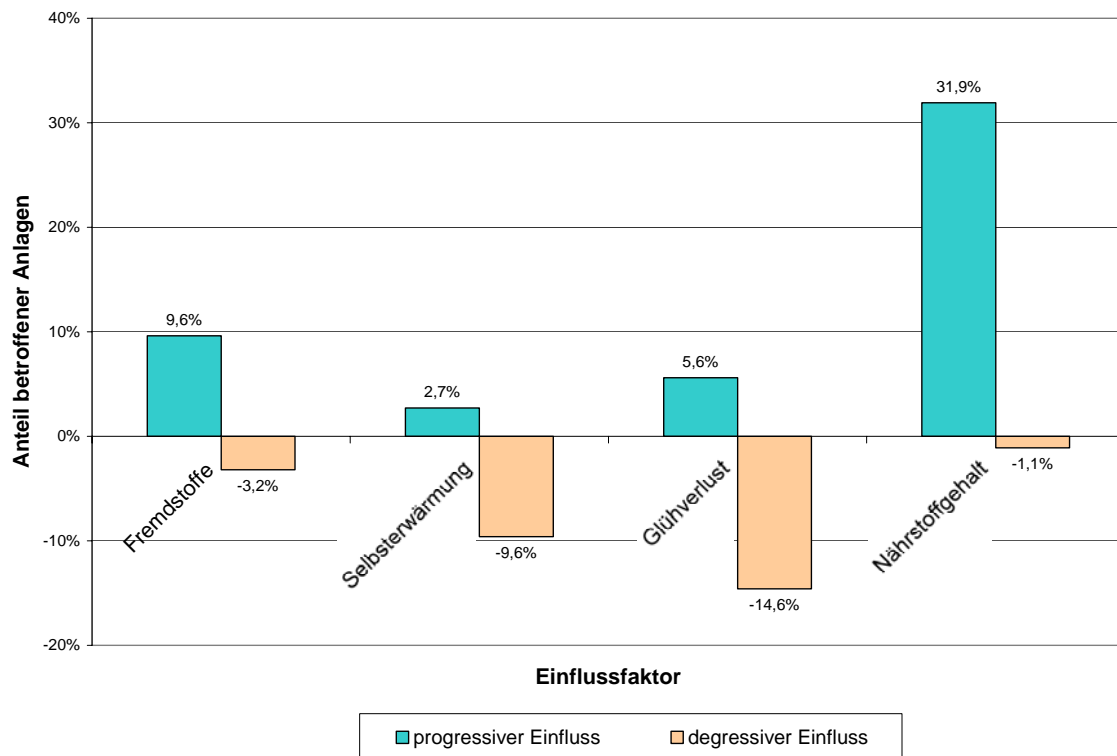
Die Ergebnisse der Kompostuntersuchungen der Jahre 1998 bis 2002 wurden für 376 Bioabfallbehandlungsanlagen einer umfangreichen statistischen Auswertung unterzogen. Dabei wurden bezogen auf das Jahr 2002 für ausgewählte Parameter bundesweit folgende mittlere Gehalte festgestellt und mit Angaben der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. zum Jahr 1997, also zum Stand vor Einführung der Bioabfallverordnung, verglichen:

Parameter	Maß-Einheit	Mittelwert 1997	2002	
			Mittelwert	%
Glühverlust (organische Substanz)	% TS	36,6	37,3	101,9
basisch wirksame Bestandteile	CaO % TS	4,46	4,79	107,4
Stickstoff, gesamt	N % TS	1,36	1,52	111,8
Phosphat, gesamt	P ₂ O ₅ % TS	0,70	0,83	118,6
Kaliumoxid, gesamt	K ₂ O % TS	1,13	1,26	111,5
Magnesiumoxid, gesamt	MgO % TS	0,82	0,84	102,4
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	0,08	0,08	100,0
Salmonellen			0,00	
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	% TS	0,15	0,20	133,3
Steine > 5mm	% TS	1,78	1,74	97,8
Blei	mg/kg TS	56,6	46,4	82,0
Cadmium	mg/kg TS	0,532	0,474	89,1
Chrom	mg/kg TS	24,7	25,3	102,4
Kupfer	mg/kg TS	48,7	57,7	118,4
Nickel	mg/kg TS	16,1	16,3	101,2
Quecksilber	mg/kg TS	0,177	0,156	88,1
Zink	mg/kg TS	196,2	203,7	103,8

Die Schwermetallkonzentrationen wurden in Abhängigkeit von den Parametern Fremdstoffgehalt, organische Substanz, Rottegrad (Selbsterwärmbarekeit) und Summe der Nährstoffgehalte betrachtet. Dabei wurden folgende Zusammenhänge gefunden (siehe Grafik nächste Seite):

Es wurde in progressiven Einfluss (Zunahme der Schwermetallkonzentration) und degressiven Einfluss (Abnahme der Schwermetallkonzentration) unterschieden. Den stärksten progressiven Einfluss üben die Nährstoffgehalte aus. Höhere Gehalte an organischer Substanz (Glühverluste) sind am häufigsten mit abnehmenden Schwermetallkonzentrationen verbunden.

Durch statistisch Auswertungen wurden Erwartungsbereiche für die oben genannten Mittelwerte und die zugehörigen Einzelmesswerte abgeleitet. Auf der Grundlage dieser Auswertungen können Validierungswerte für Anlagenmittelwerte und für Einzelmesswerte abgeleitet werden, deren Einhaltung durch die Bioabfallkompostierungsanlagen sicher gewährleistet werden kann.



Die Ergebnisse dieser Gewährleistungsgrenzenableitung sind nachstehend zusammengestellt.

Schwermetall	Maß-Einheit	Gewährleistungsgrenzen für	
		Anlagenmittelwerte	Einzelmesswerte
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	1	6
Salmonellen		0,1*	1
Fremdstoffe > 2mm	TS-%	0,6	1,7
Blei	mg/kg TS	120	190
Cadmium	mg/kg TS	1,1	1,8
Chrom	mg/kg TS	70	100
Kupfer	mg/kg TS	110	180
Nickel	mg/kg TS	60	80
Quecksilber	mg/kg TS	0,5	1,1
Zink	mg/kg TS	380	530

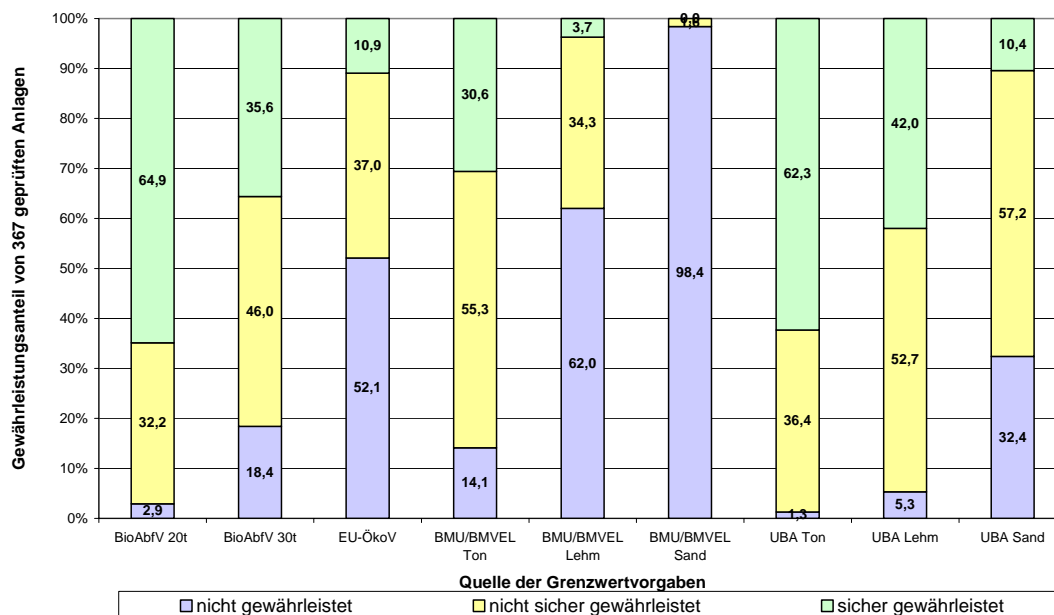
* - bzw. maximal jede 10. Probe positiv

Die oben genannten Gewährleistungs- bzw. Validierungsgrenzen sind geeignet, Grenzwertvorschläge für diese Parameter hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit durch die Kompostanlagen zu bewerten. Diese Werte stellen den aktuellen Sachstand dar. Es wird zur Zeit davon ausgegangen, dass diese Werte nicht ohne weiteres absenkbar sind, da Reduktionspotentiale ausgeschöpft scheinen. Die vor allem bei Kupfer steigenden Gehalte bedürfen einer weiteren Prüfung.

Eine Reihe von geltenden Grenzwerten und derzeit zur Diskussion gestellten Grenzwertvorschlägen wurden anhand der statistischen Datenauswertungen von Kompostuntersuchungsergebnissen aus 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen auf die Gewährleistung der Grenzwerteinhaltung geprüft (sicher, nicht sicher oder nicht gewährleistet). Nachfolgende Verordnungen bzw. Konzeptionen wurden einbezogen:

- Bioabfallverordnung für zwei Aufwandmengen
- EU-Öko-Landbau-Verordnung 2092/91
- BMU / BMVEL – Konzept für die Ton-, Lehm- und Sandböden (Juni 2002)
- Überarbeitetes UBA – Konzept für die Ton-, Lehm- und Sandböden (Dezember 2002)

Ein Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen zur Einhaltung der Gesamtheit der geprüften Grenzwertvorgaben durch Anlagenmittelwerte ist nachfolgend grafisch dargestellt (die Aussage gilt nicht für Einzelmesswertbewertungssysteme, da hier der Untersuchungsfehler zusätzlich eine erhebliche Bedeutung hat).



Entscheidend für die Aussage zur Einhaltung von Grenzwertszenarien ist der als sicher gewährleistet gekennzeichnete Bereich. Nicht sicher die Einhaltung von Grenzwerten gewährleistende Bioabfallbehandlungsanlagen bedürfen hinsichtlich ihres Qualitätsmanagements und ihrer Fremdüberwachung besonderer Aufmerksamkeit.

Durch die Abbildung wird deutlich, dass die geprüften Grenzwertvorschläge aus dem Konzept von BMU und BMVEL dazu führen (insbesondere bei den Kategorien Sand-/Lehmböden), dass der überwiegende Teil der Anlagen die Qualitätsanforderungen für die stoffliche Verwertung nicht erreicht. Lediglich für Tonböden, die jedoch in Deutschland wenig verbreitet sind, würde sich eine theoretische Chance für den fallweisen Einsatz von Bioabfallkomposten ergeben.

Die Grenzwertgewährleistungsprüfungen für die Bioabfallanwendung auf Lehmböden fallen schlechter aus, als sie sich aus den sehr stringenten Anforderungen des ökologischen Landbaus herleiten lassen.

1. Veranlassung

Durch das BMU und das BMVEL wurde unter dem Titel „Gute Qualität und sichere Erträge – wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden?“ im Juni 2002 ein Vorschlag zur Begrenzung des Eintrages von Schadstoffen bei der Düngung landwirtschaftlicher Nutzflächen öffentlich vorgetragen und zur Diskussion gestellt. Für unterschiedliche organische Düngemittel, so auch für Bioabfallkomposte, wurden auf Bodenarten bezogene Grenzwerte abgeleitet. Als Grundlage für die Grenzwertableitung dienten

- die Schwermetall-Vorsorgewerte der jeweiligen Bodenart,
- der mittlere Schwermetallentzug der Nutzpflanzen bezogen auf 50 kg Phosphatdüngung je ha und
- die Fehlertoleranz bei der Schwermetallanalytik.

Die auf dieser Basis berechneten Grenzwertvorschläge sind für Bioabfallkomposte in der Tabelle 1 zusammengestellt:

Tabelle 1: Vorschlag von BMVEL und BMU für neue Grenzwerte bei Bioabfallkomposten

Merkmal	Maßeinheit	Grenzwerte für		
		Sandböden	Lehm- /Schluffböden	Tonböden
Blei	mg/kg TS	45	75	105
Cadmium	mg/kg TS	0,4	1,0	1,6
Chrom	mg/kg TS	30	70	100
Kupfer	mg/kg TS	30	45	75
Nickel	mg/kg TS	15	50	75
Quecksilber	mg/kg TS	0,2	0,6	1,0
Zink	mg/kg TS	120	210	270

Die neuen Vorschläge stellen erhebliche Veränderungen im Vergleich zu den geltenden Grenzwerten der Bioabfallverordnung dar, wie in Tabelle 2 dargestellt.

Diese drastischen Reduzierungen der Schwermetallgrenzwerte wurden im Rahmen von Fachdiskussionen durch Vertreter der Bioabfallwirtschaft heftig kritisiert. Es wurde vereinbart, eine gemeinsame aktuelle Datenbasis zu erheben, auf deren Grundlage weitere Diskussionen erfolgen sollen. Diese Datenbasis wird mit dem vorliegenden Bericht vorgelegt.

Erste überschlägige Betrachtungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. zeigten, dass bei etwa 98 % der RAL-gütegesicherten Kompostanlagen Überschreitungen der Sandbodengrenzwerte zu erwarten sind.

Daraufhin wurde eine Studie durch das Umweltbundesamt Berlin und die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. als ein gemeinsames F&E-Projekt vereinbart, die in zwei Stufen umgesetzt wird.

Tabelle 2: Relation des Vorschlags von BMVEL und BMU für neue Grenzwerte bei Bioabfallkomposten zur geltenden Bioabfallverordnung

Merkmal	Maßeinheit	Grenzwertveränderung in Prozent zur geltenden Bioabfallverordnung		
		Sandböden	Lehm- /Schluffböden	Tonböden
Blei	mg/kg TS	30,0%	50,0%	70,0%
Cadmium	mg/kg TS	26,7%	66,7%	106,7%
Chrom	mg/kg TS	30,0%	70,0%	100,0%
Kupfer	mg/kg TS	30,0%	45,0%	75,0%
Nickel	mg/kg TS	30,0%	100,0%	150,0%
Quecksilber	mg/kg TS	20,0%	60,0%	100,0%
Zink	mg/kg TS	30,0%	52,5%	67,5%

In einer ersten Projektstufe werden für mindestens 300 RAL-gütegesicherte Kompostierungsanlagen von allen untersuchten Kompostparametern die jeweils statistisch ableitbaren Gewährleistungsgrenzen für Mittel- und Einzelmesswerte ermittelt. Anhand dieser Ergebnisse werden bundesweite Vergleiche zu den neu vorgeschlagenen Grenzwerten vorgenommen und zudem die bei guter fachlicher Kompostierungspraxis gewährleistungsfähigen Grenzen für Mittel- und Einzelmesswerte abgeleitet. Das geschieht ausschließlich in solchen Bioabfallbehandlungsanlagen, die sich freiwillig einem Selbstregulierungssystem der Wirtschaft (RAL-Gütezeichen) unterzogen haben und zudem über eine hinreichende aktuelle Datengrundlage verfügen.

In der zweiten Projektstufe sollen anschließend die ausgewerteten Bioabfallbehandlungsanlagen geogen bzw. anthropogen definierten Regionen zugeordnet werden. Ziel dieser Arbeiten ist es, die Einflüsse der jeweiligen Regionen (z.B. unterschiedliche Bodengehalte) auf die Beschaffenheit der hier erzeugten Bioabfallkomposte nachweisen zu können. Damit sind dann die Voraussetzungen geschaffen, die bodenschutzgerechte Prüfung und ggf. Festlegung von „Belastungsgebieten“ sachkundiger vornehmen zu können.

Der hier vorgestellte Bericht beinhaltet die statistischen Auswertungen und die Grenzwertgewährleistungsuntersuchungen zur ersten Projektstufe.

2. Material und Methoden

Die auszuwertenden Daten stammen aus der Zentralen Auswertungsstelle (ZAS) der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.. Insgesamt wurden in digitalisierter Form fast 18.000 Datensätze an die Bioplan GmbH übergeben. Davon sind über 11.000 ab dem Jahr 1998 (Veröffentlichungsjahr der BioAbfV) verfügbare Datensätze aus 376 Bioabfallbehandlungsanlagen in die Auswertung einbezogen worden. Damit wurden fast die Hälfte der bundesweit bekannten Kompostierungsanlagen in der statistischen Auswertung berücksichtigt. Die Standorte der Bioabfallbehandlungsanlagen sind über die gesamte Bundesrepublik Deutschland verteilt und sind als repräsentativ für den Stand der Technik in der Bioabfallwirtschaft anzusprechen.

Für die Auswertung wurden nur solche Bioabfallbehandlungsanlagen ausgewählt, die bis einschließlich 2002 mindestens über 10 vollständige Datensätze verfügen. In der Tabelle 3 sind die Parameter zusammengestellt, die als Urdaten in die statistische Auswertungen einbezogen worden sind.

Tabelle 3. Zur Auswertung im Projekt verfügbare Urdaten

lfd. Nr.	Parameterbezeichnung	Maßeinheit
1	Produkt	
2	Probenahmedatum	
3	Rohdichte	g/l
4	Wassergehalt	% FM
5	maximale Selbsterhitzung	°C
6	Rottegrad	
7	Maximal-Korn	mm
8	organische Substanz (Glühverlust)	%TS
9	basisch wirksame Bestandteile	% CaO TM
10	Salzgehalt	g/l FM
11	pH-Wert	
12	N-Ges.	% TS
13	P ₂ O ₅ -Ges.	% TS
14	K ₂ O-Ges.	% TS
15	MgO-Ges	% TS
16	NH ₄ N-Gehalt	mg /IFM
17	NO ₃ N-Gehalt	mg /IFM
18	P ₂ O ₅ , löslich	mg /IFM
19	K ₂ O, löslich	mg /IFM
20	Mg, löslich	mg /IFM
21	Pflanzenverträglichkeit 25	%
22	Pflanzenverträglichkeit 50	%
23	keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l
24	Salmonellen	
25	Fremdstoffe	% TS
26	Glas	% TS
27	Kunststoffe	% TS
28	Steingehalt	% TS
29	Blei	mg/kg TS
30	Cadmium	mg/kg TS
31	Chrom	mg/kg TS
32	Kupfer	mg/kg TS
33	Nickel	mg/kg TS
34	Quecksilber	mg/kg TS
35	Zink	mg/kg TS

Aus den Urdaten wurden die in Tabelle 4 aufgeführten Parameter berechnet.

Die Ergebnisse zur Trendabschätzung in Abhängigkeit vom Probenahmejahr sind nur in den Datenblättern der Einzelanlagen enthalten. Diese werden in diesem Bericht wegen des damit verbundenen hohen Aufwandes nicht zusammenfassend ausgewertet. Für nachfolgende Auswertungen sind die Ergebnisse der Trendschätzungen dahingehend von Bedeutung, dass aktuelle Parameterbeschreibungen durch Hinweise zu ihrer zeitlichen Entwicklung untersetzt und damit sachkundiger gewertet werden können.

2.1.2 Beschreibung der Grundqualität und ihres Erwartungsbereiches

Beim Nachweis der Grundqualität wurde von der Notwendigkeit einer aktuellen Darstellung von Mittelwerten zum zeitlichen Abschluss der Datenerfassung ausgegangen. Hier wurde so verfahren, dass diese aktuellen Mittelwerte bei Nachweis eines hoch gesicherten Zeiteinflusses aus der Trendanalyse ($p < 0,01$) für das letzte Probenahmejahr geschätzt wurde. Konnte kein hoch gesicherter Zeiteinfluss festgestellt werden, so erfolgten die Mittelwertbildungen aus allen verfügbaren Messwerten der Jahre 1998 bis 2002.

Anhand des verfügbaren Stichprobenumfangs wurden die Standardabweichung der Mittelwerte bzw. die Standardfehler der Trendschätzwerte berechnet. Diese wurden zur Gewährleistung eines konkreten Bezuges zu den geltenden Untersuchungs- und Bewertungsvorschriften der Bioabfallverordnung und des RAL-Gütezeichens 251 Kompost auf den dort jeweils geforderten Stichprobenumfang von 4 bzw. 10 Messwerten normiert. Damit wird die aus 5 Untersuchungsjahren und mindestens 10 Stichproben ableitbare Standardabweichung für jede der ausgewerteten Anlagen auf eine vergleichbare Ebene entsprechend ihrer Bewertungsbasis gehoben.

Die Erwartungsbereiche (Konfidenzintervalle) der Mittelwerte wurden getrennt nach Bioabfallverordnung (für 4 Stichproben zur Anlagenbewertung) und RAL-Gütezeichen (für 10 Stichproben zur Anlagenbewertung) ausgewiesen. Der in die Berechnung der Konfidenzintervalle einfließende kritische t-Wert ist für die Bioabfallverordnung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ (gesichertes Konfidenzintervall) gewählt worden. Eine geringere Irrtumswahrscheinlichkeit ist hier aus Gründen der geringen Stichprobenanzahl wenig zielführend. Für die Bewertung nach RAL-Gütezeichen 251 Kompost wird dagegen in Abstimmung mit der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,01$ (hoch gesichertes Konfidenzintervall) gefordert.

Für den Fall, dass die Extremwerte des gesamten Stichprobenumfangs durch den aus der Grundqualität und dem Konfidenzintervall berechneten Erwartungsbereich unter- oder überschritten werden, wurde eine Begrenzung des endgültig ausgewiesenen Erwartungsbereiches in Höhe des Minimal- bzw. Maximalwertes vorgenommen. Aussagen außerhalb des durch Einzelmessungen definierten Gültigkeitsbereiches der Stichprobe sind damit ausgeschlossen.

Für die Prüfung der aktuellen Einhaltung von Grenzwerten durch die Anlagenmittelwerte ist ein direkter Vergleich beider Werte heranzuziehen. Die unter Berücksichtigung einer definierten Irrtumswahrscheinlichkeit gesicherte Gewährleistung der Einhaltung von Grenzwerten ist dagegen nur mit Hilfe der

anlagenbezogenen kritischen Mittelwerte (untere bzw. obere Erwartungsgrenzen des Mittelwertes) aus dem vorgegebenen Stichprobenumfang zu bewerten. Über- oder unterschreitet dieser kritische Mittelwert den geltenden Grenzwert, so ist eine zufallsbedingte Gewährleistungsminderung zu erwarten, die Grenzwerteinhaltung ist dann nur in der Regel gegeben, wird aber im Einzelfall nicht sicher gewährleistet.

2.1.3 Beschreibung von Erwartungsbereichen für Einzelmesswerte und von Ausreißergrenzen

Neben der Grundqualität eines Parameters und seines Erwartungsbereiches ist auszuweisen, in welcher Spannbreite Einzelmesswerte gesichert in diese Mittelwertbildung einbezogen bzw. auszugrenzen sind. Anlagenbezogen können somit die Erwartungsbereiche von Einzelmesswerten und die Ausreißergrenzen definiert werden.

Der Erwartungsbereich (Toleranzintervall) für Einzelmesswerte wurde getrennt nach Bioabfallverordnung (für 4 Stichproben zur Anlagenbewertung) und RAL-Gütezeichen (für 10 Stichproben zur Anlagenbewertung) berechnet. Der in die Berechnung des Toleranzintervalls einfließende kritische t-Wert ist für die Bioabfallverordnung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ (gesichertes Toleranzintervall) gewählt worden. Für die Bewertung nach RAL-Gütezeichen 251 Kompost wird dagegen in Abstimmung mit der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,01$ (hoch gesichertes Toleranzintervall) gefordert.

Für den Fall, dass die Extremwerte des gesamten Stichprobenumfangs durch den aus der Grundqualität und dem Toleranzintervall berechneten Erwartungsbereich unter- oder überschritten werden, wurde eine Begrenzung des endgültig ausgewiesenen Erwartungsbereiches für Einzelmesswerte in Höhe des Minimal- bzw. Maximalwertes vorgenommen. Aussagen außerhalb des Gültigkeitsbereiches der Stichprobe sind nur für die Ausreißergrenzen möglich, für die eine Extrapolation über den Gültigkeitsbereich der Stichprobe hinaus grundsätzlich zulässig ist.

Für die Prüfung der Einhaltung von Grenzwerten zuzüglich vorgegebener Einzelwerttoleranzen durch die Anlageneinzelmesswerte ist ein direkte Vergleich mit den anlagenbezogenen kritischen Einzelmesswerten (untere bzw. obere Erwartungsgrenzen der Einzelmesswerte) heranzuziehen. Über- oder unterschreitet der kritische Einzelmesswert den geltenden Grenzwert zuzüglich Toleranzvorgabe, so ist ein zufallsbedingter Gewährleistungsausfall nicht auszuschließen.

Die Ausreißergrenze befindet sich bei kleinerem Stichprobenumfang häufig außerhalb des Gültigkeitsbereiches der Stichprobe (unter Minimalwert bzw. über Maximalwert der Stichprobe). Die Ausreißergrenze dient der Erkennung von Einzelmesswerten, die nicht der bisher definierten Grundgesamtheit der Anlage entsprechen. Solche Ausreißerwerte sind durch Nachuntersuchungen auf ihren anlagenbezogenen Wahrheitswert zu kontrollieren und bei Messwertbestätigung auf ihre Ursachen hin zu überprüfen.

Bei den Fremd- und Schadstoffgehalten wurde im Rahmen der hier vorgenommenen statistischen Auswertungen eine anlagenbezogene Ausreißerelementierung vorgenommen, woraus sich stärker belastbare Aussagen für die Gewährleistungsprüfungen zur Einhaltung von Grenzwerten und Grenzwertkonzepten ergeben.

2.1.4 Beschreibung der Datenblätter

Insgesamt sind je Anlage 18 Datenblätter erstellt worden.
Die zusammenfassenden Aussagen beinhalten Aussagen zur

- Produktkennzeichnung
 - die Unterteilung in Fertig- oder Frischkompost
 - den Geldwert
 - die wesentlich Wirkungsweise (bodenverbessernd und / oder nährstoffversorgend)
 - die Inverkehrbringung nach Düngemittelverordnung
- Löslichkeit der Nährstoffe nach Tabelle 5

Tabelle 5: Bewertungsvorgaben der Löslichkeit der Nährstoffe

Nährstoffe	Bewertung der Löslichkeit [% vom Gesamtgehalt]				
	sehr gering	gering	normal	hoch	sehr hoch
Stickstoff		< 2,5	2,5 - 10	10 - 30	> 30
Phosphat	< 5	5 - 15	15 - 50	50 - 75	> 75
Kaliumoxid	< 30	30 - 60	60 - 95	> 95	
Magnesiumoxid		< 5	5 - 20	20 - 40	> 40

- Schwermetallgehalte
 - Trendverlauf im Bewertungszeitraum
 - maximal zu erwartende Ausschöpfung der Grenzwerte nach BioAbfV
 - Rangfolge der Grenzwertrelevanz der Schwermetalle
- statistisch mögliche Anwendungsbeschränkungen
 - nach Grenzwerten BioAbfV
 - zusätzlich nach § 4 (2) Satz 2 BioAbfV

Die Beziehungen der Schwermetallgehalte in Bioabfallkomposten zu den Merkmalen Fremdstoffe, Selbsterhitzung, Glühverlust und Nährstoffe sind über alle 376 Anlagen zusammenfassend betrachtet.

Zusammenfassende Datenauswertungsblätter sind ferner zu folgenden Anlagenwerten erstellt worden:

- Mittelwerte der Bioabfallkompostierungsanlagen
- Kritische Einzelmesswerte der Bioabfallkompostierungsanlagen nach BioAbfV
- Ausreißergrenzen der Einzelmesswerte der Bioabfallkompostierungsanlagen nach BioAbfV

Diese zusammenfassenden Datenauswertungsblätter sind als Anlage zu diesem Bericht beigelegt.

Zusätzlich erfolgten zusammenfassende Bewertungen der anlagenbezogenen Gewährleistungsprüfungen auf Grenzwerteinhalten nach unterschiedlichen Vorgaben. Diese Bewertung erfolgt in drei Stufen:

- sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend
- nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend
- nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

Bei den als „nicht gewährleistet“ gekennzeichneten Anlagen wird dem jeweils zugrunde gelegten Anforderungsprofil (Grenzwertszenario) nicht oder überwiegend nicht entsprochen. Eine ordnungsgemäße Bioabfallbehandlung ist nicht möglich.

Bei den als „nicht sicher gewährleistet“ gekennzeichneten Anlagen wird das jeweils zugrunde gelegte Anforderungsprofil (Grenzwertszenario) in der Regel eingehalten. In zufallsbedingten Ausnahmesituationen kann sich eine Überschreitung des jeweils zugrunde gelegten Anforderungsprofil (Grenzwertszenario) ergeben, d.h. den Grenzwertanforderungen wird nicht mit der gebotenen Sicherheit entsprochen. Eine ordnungsgemäße Bioabfallbehandlung ist grundsätzlich möglich, kann jedoch nicht durchgängig gesichert werden.

Bei den als „sicher gewährleistet“ gekennzeichneten Anlagen wird dem jeweils zugrunde gelegten Anforderungsprofil (Grenzwertszenario) mit der gebotenen Sicherheit entsprochen. Eine ordnungsgemäße Bioabfallbehandlung ist durchgängig gesichert.

Zur Untersetzung der über alle 376 Anlagen festgestellte Erwartungsspanne von Einzelmesswerten sind die Ergebnisse von 3 Labor-Ringversuchen der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. aus den Jahren 1993, 1995 und 1999 in diesen Bericht einbezogen worden.

3. Ergebnisse

3.1 Statistische Mittelwerte ausgewählter Parameter

3.1.1 Grenzwertparameter nach Bioabfallverordnung

Für die Grenzwertparameter nach Bioabfallverordnung können die in Tabelle 6 enthaltenen aktuellen Mittelwerte, bezogen auf das Jahr 2002, ausgewiesen werden.

Anhand der Grenzwertausschöpfung nach Bioabfallverordnung ist bundesweit folgende Gruppierung der Parameter festzustellen:

Die der Durchschnitt der Anlagenmittelwerte liegt bei

- über 50 % der Grenzwerte - Kupfer
Zink
- 20 bis 50 % der Grenzwerte - Fremdstoffe
Nickel
Cadmium
Blei
Chrom
- unter 20 % der Grenzwerte - Quecksilber
keimfähige Samen und Pflanzenteile
Salmonellen

Bezogen auf die geltenden Grenzwerte der Bioabfallverordnung besteht die höchste Ausschöpfung bei Kupfer und Zink. Das spricht neben deren ubiquitärer Präsenz für eine besondere Verbreitung über die fast ausschließlich zur Bioabfallbehandlung zugelassenen pflanzlichen Abfällen.

Als besonders geringfügig können, bezogen auf die geltende Rechtslage, die Hintergrundgehalte für Quecksilber und die hygienisch relevanten Parameter festgestellt werden .

Tabelle 6: Mittelwerte der Grenzwertparameter nach BioAbfV für 376 RAL-fremdüberwachte Bioabfallkompostierungsanlagen in Deutschland

Parameter	Maßeinheit	Grenzwert	Mittelwert	Grenzwertausschöpfung
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	2,0	0,08	4,0%
Salmonellen		0	0,00	
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	% TS	0,5	0,20	39,7%
Fremdstoffe - Glas	% TS		0,12	
Fremdstoffe - Kunststoffe	% TS		0,06	
Blei	mg/kg TS	150	46,4	31,0%
Cadmium	mg/kg TS	1,5	0,474	31,6%
Chrom	mg/kg TS	100	25,3	25,3%
Kupfer	mg/kg TS	100	57,7	57,7%
Nickel	mg/kg TS	50	16,3	32,5%
Quecksilber	mg/kg TS	1,0	0,156	15,6%
Zink	mg/kg TS	400	203,7	50,9%

3.1.2 Nutzwertbestimmende Parameter

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. hat mit dem Nutzwertindex erstmals Vorgaben für die Einhaltung eines Vorsorge-Nutzen-Verhältnisses für Bioabfallerezeugnisse in die Gütesicherung eingeführt. In diese vergleichende Bewertung werden neben den oben genannten Grenzwertparametern der Bioabfallverordnung zwei Gruppen nutzwertbestimmender Parameter einbezogen:

- bodenverbessernde Inhaltsstoffe - organische Substanz
Kalziumkarbonat
- pflanzendüngende Inhaltsstoffe - Gesamtstickstoff
Gesamtphosphat
Gesamtkaliumoxid
Gesamtmagnesiumoxid

Für diese Parameter sind die mittleren Gehalte aus 376 Bioabfallkompostierungsanlagen in Tabelle 7 zusammengestellt.

Anhand der aufgeführten Mittelwerte ist erkennbar, dass Bioabfallkomposte im Komplex bodenverbessernd, insbesondere humusversorgend, und nährstoffversorgend wirken. Der Anteil der bodenverbessernden Wirkung, insbesondere durch Humusversorgung, ist im Vergleich zu den Wirtschaftsdüngern der Landwirtschaft als besonders hoch zu bewerten.

Tabelle 7: Mittelwerte der Nutzwertparameter nach Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. für 376 RAL-fremdüberwachte Bioabfallkompostierungsanlagen in Deutschland

Parameter	Maßeinheit	Grenzwert	Mittelwert
Glühverlust (organische Substanz)	% TS	>15/>30**	37,3
basisch wirksame Bestandteile	CaO % TS	< 15***	4,79
Stickstoff, gesamt	N % TS	>1,0/<1,5*	1,52
Phosphat, gesamt	P ₂ O ₅ % TS	>0,3/<0,5*	0,83
Kaliumoxid, gesamt	K ₂ O % TS	>0,5/<0,75*	1,26
Magnesiumoxid, gesamt	MgO % TS		0,84

Legende: * - nach Düngemittelverordnung Mindestgehalt für Düngemittel
 - bzw. Höchstgehalte für Bodenhilfsstoffe
 ** - nach RAL-GZ 251 Mindestgehalte für Fertig- bzw. Frischkompost
 *** - nach Düngemittelverordnung Höchstgehalt für organische Dünger

In der Düngemittelverordnung ist eine Bewertung der Humusversorgung nicht vorgesehen. Die Inverkehrbringung von Bioabfallkomposten erfolgt fast durchgehend als organische NPK- bzw. als organische PK-Dünger.

3.2 Gewährleistungsgrenzen der getrennten Sammlung und Kompostierung

Gewährleistungsgrenzen für Bioabfallkomposte sind vor allem für die Grenzwertparameter der Bioabfallverordnung von Bedeutung. Hier sind sowohl Betrachtungen zu kritischen Anlagenmittelwerten als auch zu kritischen Einzelmesswerten für die Kompostierungsanlagen erforderlich.

Aus den zusammenfassenden Datenauswertungsblättern resultieren die in Tabelle 8 zusammengestellten Grenzen für kritische Anlagenmittelwerte. Dabei wurden folgende statistische Ansätze gewählt, der auf die Definition eines Anlagenmittelwertes abzielt, der gesichert ($p < 0,05$) durch die Gesamtheit der überprüften Anlagen gewährleistet werden kann.

Aus der Gesamtheit von 376 Anlagenmittelwerten erfolgt eine Schätzung des kritischen Einzelanlagenwertes bei Normierung der Erwartungstreue nach Bioabfallverordnung für den dort geforderten Stichprobenumfang von 4 Datensätzen. Dieser Gewährleistungsansatz wird durch die Streubreite der Anlagenmittelwerte bestimmt.

Tabelle 8: Grenzen für kritische Anlagenmittelwerte der Grenzwertparameter nach BioAbfV für 376 RAL-fremdüberwachte Bioabfallkompostierungsanlagen in Deutschland

Parameter	Maßeinheit	geltender Grenzwert	Grenze für den kritischen Anlagenmittelwert*
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	2,0	0,76
Salmonellen		0	0,06
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	% TS	0,5	0,56
Blei	mg/kg TS	150	111,8
Cadmium	mg/kg TS	1,5	1,075
Chrom	mg/kg TS	100	62,9
Kupfer	mg/kg TS	100	109,4
Nickel	mg/kg TS	50	54,4
Quecksilber	mg/kg TS	1,0	0,459
Zink	mg/kg TS	400	372,9

Legende: * - kritischer Einzelanlagenwert nach BioAbfV (4 Stichproben) aus den Mittelwerten der 376 Anlagen

Für einige Grenzwertparameter nach Bioabfallverordnung liegen die Gewährleistungsgrenzen für kritische Anlagenmittelwerte unter den bisher geltenden Grenzwerten. Das betrifft:

- o keimfähige Samen und Pflanzenteile
- o Quecksilber
- o Chrom
- o Cadmium
- o Blei
- o Zink

Eine Reihe von Grenzwertparametern nach Bioabfallverordnung liegen dagegen mit ihren die Gewährleistungsgrenzen für kritische Anlagenmittelwerte leicht über den bisher geltenden Grenzwerten. Das betrifft:

- o Salmonellen
- o Fremdstoffe
- o Kupfer
- o Nickel

Die kritischen Einzelmesswerte für die Kompostierungsanlagen lassen sich aus den entsprechenden Datenblättern nach Bioabfallverordnung ableiten. In Tabelle 9 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 9: Grenzen für kritische Anlageneinzelmesswerte der Grenzwertparameter nach BioAbfV für 376 RAL-fremdüberwachte Bioabfallkompostierungsanlagen in Deutschland

Parameter	Maßeinheit	Grenzwert*	Grenze für kritische Anlageneinzelmesswerte
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	2,5	5,67
Salmonellen		0	0,68
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	% TS	0,625	1,64
Blei	mg/kg TS	187,5	180,3
Cadmium	mg/kg TS	1,5	1,792
Chrom	mg/kg TS	125	99,9
Kupfer	mg/kg TS	125	180,0
Nickel	mg/kg TS	62,5	73,5
Quecksilber	mg/kg TS	1,25	1,008
Zink	mg/kg TS	500	529,6

Legende: * - bei 25 % Toleranzvorgabe nach BioAbfV (außer Cadmium)

Für nur drei Grenzwertparameter nach Bioabfallverordnung liegen die Gewährleistungsgrenzen für kritische Anlageneinzelmesswerte geringfügig unter den bisher geltenden Grenzwerten. Das betrifft:

- o Chrom
- o Quecksilber
- o Blei

Die meisten Grenzwertparameter nach Bioabfallverordnung weisen dagegen mit ihren die Gewährleistungsgrenzen für kritische Anlageneinzelmesswerte teils erhebliche Überschreitungen der bisher geltenden Grenzwerte auf. Das betrifft:

- o Salmonellen
- o keimfähige Samen und Pflanzenteile
- o Fremdstoffe
- o Kupfer
- o Zink
- o Nickel

Insgesamt kann für die bundesweiten Gewährleistungsgrenzen der getrennten Sammlung und Kompostierung von Bioabfällen die grundsätzliche Einhaltung bzw. Unterschreitung der Mittelwertvorgaben nach Bioabfallverordnung bestätigt werden. Die kritischen Einzelmesswerte können bei einer Reihe von Parametern über den bisherigen Toleranzvorgaben der Bioabfallverordnung liegen. Die Toleranzvorgaben nach BioAbfV entsprechen somit nicht den nach guter fachlicher Praxis festgestellten Bedingungen (siehe auch Tabelle 10).

Tabelle 10: Ableitung von Gewährleistungstoleranzen für Grenzwertparameter nach BioAbfV

Parameter	Maßeinheit	Gewährleistungsgrenzen bei Bioabfallkompostierungsanlagen für		
		Mittelwerte	Einzelmesswerte	Gewährleistungstoleranz
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	0,76	5,67	4,91
Salmonellen		0,06	0,68	0,62
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	% TS	0,56	1,64	1,08
Blei	mg/kg TS	111,8	180,3	68,5
Cadmium	mg/kg TS	1,075	1,792	0,717
Chrom	mg/kg TS	62,9	99,9	37,0
Kupfer	mg/kg TS	109,4	180,0	70,6
Nickel	mg/kg TS	54,4	73,5	19,1
Quecksilber	mg/kg TS	0,459	1,008	0,549
Zink	mg/kg TS	372,9	529,6	156,7

Die Toleranzen aus den Gewährleistungsgrenzen für Anlagenmittel- und Anlageneinzelmesswerte fallen für die Grenzwertparameter der Bioabfallverordnung recht differenziert aus. Die in der Bioabfallverordnung enthaltenen Gewährleistungstoleranzen von 25 % wurden jedoch durchgehend weit überschritten. Folgende Gewährleistungstoleranzgruppen sind aufgetreten:

- sehr hohe Toleranzen (über 200 %) - Salmonellen
keimfähige Samen und Pflanzenteile
- hohe Toleranzen (über 100 %) - Fremdstoffe
Quecksilber
- mittlere Toleranzen (über 50 %) - Cadmium
Blei
Chrom
Kupfer
Zink
- geringe Toleranzen (unter 50 %) - Nickel

Die erheblichen Toleranzen bei den hygienischen Parametern ergeben sich aufgrund der i.d.R. gegebenen Negativbefunde (nicht nachweisbar). Dies trifft im Grundsatz auch für Fremdstoffe zu. Bei den ubiquitär nachweisbaren Parametern (das sind vor allem die Schwermetalle) liegen die Toleranzen dagegen erwartungsgemäß niedriger – aber zumeist noch deutlich über denen der BioAbfV.

3.3 Variabilität von Kompostierungsanlagen, Probenahme und Analytik

Die im vorherigen Punkt 3.2 dargestellten Gewährleistungstoleranzen sind grundsätzlich von den Messwerttoleranzen zu unterscheiden. Die Gewährleistungstoleranzen leiten sich aus den jeweiligen Gewährleistungsgrenzen für Anlagenmittelwerte und für Einzelmesswerte ab. Die Messwerttoleranzen ergeben sich dagegen aus der Differenz von tatsächlichen Mittelwerten zu den statistisch ermittelten Gewährleistungsgrenzen für Anlagenmittelwerte bzw. für Ausreißer. Zudem kann aus dem Vergleich von Anlagenmittelwerten zu kritischen Anlagenmittelwerten auf die Anlagentoleranz geschlossen werden.

Eine entsprechende Zusammenstellung für die Schwermetalle in Bioabfallkomposten ist in Tabelle 11 enthalten.

Tabelle 11: Betrachtungen zu Messwerttoleranzen für Schwermetallgehalte in Bioabfallkompostierungsanlagen

Parameter	Maßeinheit	Messwerttoleranz in Bioabfallkompostierungsanlagen		
		Gesamt-toleranz*	Anlagen-toleranz	Rest-toleranz
Blei	mg/kg TS	142,2	65,4	76,8
Cadmium	mg/kg TS	1,512	0,610	0,902
Chrom	mg/kg TS	81,1	37,6	43,5
Kupfer	mg/kg TS	139,2	59,5	40,3
Nickel	mg/kg TS	58,6	38,1	20,5
Quecksilber	mg/kg TS	0,948	0,312	0,636
Zink	mg/kg TS	404,1	169,2	234,9

Legende: * - Differenz Ausreißergrenze (bei n = 376) zu Mittelwert

Die nicht durch die Variabilität zwischen Bioabfallkompostierungsanlagen erklärbare Resttoleranz kann sich nur aus dem Beprobungsfehler (einschließlich der Variabilität durch unterschiedliche Beprobungstermine) und dem Analytikfehler in den Untersuchungslaboren (einschließlich der Variabilität bei der Probenvorbereitung) ergeben.

Die aus den statistischen Auswertungen von 376 Bioabfallkompostierungsanlagen abgeleiteten Resttoleranzen können somit anhand der mittleren Ergebnisse zu Analytiktoleranzen von 3 Labor-Ringversuchen für die Schwermetalle weiter untersetzt werden. In der Tabelle 12 ist dazu eine Ableitung enthalten.

Tabelle 12: Anteil der Anlagen-, Analytik- und Beprobungstoleranz bei Schwermetalluntersuchungen in Bioabfallkomposten

Parameter	Maßeinheit	Messwerttoleranz in Bioabfallkompostierungsanlagen		
		Anlagentoleranz	Analytiktoleranz	Beprobungstoleranz*
Blei	mg/kg TS	65,4	31,8	45,0
Cadmium	mg/kg TS	0,610	0,280	0,622
Chrom	mg/kg TS	37,6	16,1	27,4
Kupfer	mg/kg TS	59,5	14,7	25,6
Nickel	mg/kg TS	38,1	5,5	15,0
Quecksilber	mg/kg TS	0,312	0,180	0,456
Zink	mg/kg TS	169,2	50,8	184,1

Legende: * - bestehend aus Probenahmeart- und Probenahmeterminfehler

Die Analykttoleranz erweist sich in allen Fällen als die niedrigste Fehlerquelle für Einzelmesswerte von Schwermetallgehalten in Bioabfallkomposten. Besonders hohe Anteile der Anlagentoleranz an der Gesamttoleranz wurden nachgewiesen bei

- Nickel,
- Kupfer,
- Blei und
- Chrom.

Die Beprobungstoleranz erwies sich dagegen als vergleichsweise dominant bei

- Quecksilber,
- Zink und
- Cadmium.

Die erstgenannten Schwermetalle sind somit stärker regional strukturiert. Die letzteren mehr flächendeckend einheitlich präsent.

Die Toleranzangaben erfolgten für diesen Bericht bewusst in Form von absoluten Werten. Zum Einen, weil sie nur in dieser Form statistisch abgeleitet und damit vortragbar sind – zum Anderen, weil die unterschiedliche Auswahl einer Bezugsbasis für prozentuale Darstellung der Toleranzen auch eine deutliche Einfluss auf die dann anzugebenden relativen Toleranzwerte hat.

3.4 Grenzen bei der Gewährleistung bestimmter Kompost-Qualitäten

Die unter Punkt 3.2 vorgestellten Gewährleistungsgrenzen entsprechen einem hohen Stand der Technik in der Bioabfallwirtschaft. Sie sind daher geeignet für Grenzen nach guter fachlicher Praxis, die als Vergleichsbasis zur Validierung zu bewertender Grenzwerte heranzuziehen sind (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Ableitung von Validierungsgrenzen für Bioabfallkomposte aus der statistischen Auswertung von Untersuchungen an 376 Anlagen in Deutschland nach Bioabfallverordnung (Anlagengewährleistung bei: $n = 4$; $p < 0,05$)

Schwermetall	Maß- einheit	Gewährleistungsgrenzen für	
		Anlagenmittelwerte	Einzelmesswerte
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	1	6
Salmonellen		0,1*	1
Fremdstoffe > 2mm	TS-%	0,6	1,7
Blei	mg/kg TS	120	190
Cadmium	mg/kg TS	1,1	1,8
Chrom	mg/kg TS	70	100
Kupfer	mg/kg TS	110	180
Nickel	mg/kg TS	60	80
Quecksilber	mg/kg TS	0,5	1,1
Zink	mg/kg TS	380	530

* - bzw. maximal jede 10. Probe positiv

Die Anwendung der in Tabelle 13 genannten Validierungsgrenzen schließt ein, dass stets beide Grenzen einzuhalten sind. Die Inanspruchnahme der teilweise recht hohen Grenzwerte für Einzelmesswerte verlangt somit auch das zeitnahe Auftreten entsprechend niedriger Einzelmesswerte. Bei den hygienischen Parametern erscheint zudem ein Stichprobenumfang von mindestens 10 Datensätzen zur Bewertung erforderlich.

3.5 Beziehung von Schwermetallkonzentrationen zu anderen Kompostparametern

Die an den Grenzwerten der Bioabfallverordnung normierte mittlere Schwermetallkonzentration wurde bei den ausgewerteten Kompostierungsanlagen auf ihre Beziehungen zu den Fremdstoffgehalten, der Selbsterwärmbarkeit der Komposte (Rottegrad), dem Glühverlust (Gehalt an organischer Substanz) und den Nährstoffgehalten (N + P₂O₅ + K₂O) regressionsanalytisch geprüft (siehe Tabelle 14).

Die Häufigkeit statistisch gesicherter Beziehungen trat in folgender Rangfolge auf:

Nährstoffe > Glühverlust > Fremdstoffe > Rottegrad

Tabelle 14: Anteil von 376 Bioabfallbehandlungsanlagen mit statistisch gesicherten linearen Beziehungen der mittleren Schwermetallkonzentrationen zu ausgewählten Kompostmerkmalen

Zusammenhang von Schwermetallkonzentrationen zu	progressiv	degressiv
Fremdstoffen	9,6 %	3,2 %
Selbsterwärmung	2,7 %	9,6 %
Glühverlust	5,6 %	14,6 %
Nährstoffgehalt	31,9 %	1,1 %

Die Nährstoffgehalte wiesen in der Regel positive Beziehungen zur Schwermetallkonzentration auf. Nährstoffreiche Inputmaterialien liefern also auch häufig Schwermetalle mit. Höhere Gehalte an organischer Substanz im Kompost führten dagegen überwiegend zu absinkenden Schwermetallkonzentrationen.

In nur rund jeder 10. Bioabfallkompostierungsanlage konnte ein progressiver Zusammenhang von Fremdstoffgehalten und Schwermetallkonzentrationen nachgewiesen werden. Ein allgemeiner Zusammenhang kann damit ausgeschlossen werden. Die wenigen positiven Fälle können wahrscheinlich durch verbesserte Eingangskontrollen bzw. Nutzung von Sammelbehälterdetektoren ausgeschlossen werden.

Der in wissenschaftlichen Untersuchungen nachgewiesene Einfluss des Rottegrades auf die Schwermetallanreicherung im Kompost wurde nur in jeder 10. Anlage praktisch bestätigt. In wenigen Einzelfällen wurde sogar das Gegenteil statistisch gesichert gefunden. Insgesamt kann daher in der Regel nicht von einer Schwermetallanreicherung bei höheren Rottegraden ausgegangen werden.

3.6 Erforderliche Untersuchungshäufigkeit für Einzelanlagen

Statistisch kann aus einer Stichprobe, die durch die Anzahl ihrer Datensätze (Stichprobenumfang) und die Summe der Abweichungsquadrate der Einzelmesswerte vom ihrem Mittelwert definiert ist, unter Vorgabe einer zulässigen Irrtumswahrscheinlichkeit das Konfidenzintervall für den Mittelwert statistisch berechnet werden.

Im Umkehrschluss besteht bei bekannter Standardabweichung, der Vorgabe eines einzuhaltenden Konfidenzintervalls sowie der zulässigen Irrtumswahrscheinlichkeit die Möglichkeit, einen zugehörigen Stichprobenumfang abzuschätzen.

Da aus den anlagenbezogenen Untersuchungen deren Standardabweichung bekannt ist und die Irrtumswahrscheinlichkeit auch vorgegeben wurde, muss für die Ableitung eines anlagenbezogenen Stichprobenumfangs nur noch das zu fordernde Konfidenzintervall ermittelt werden. Das Soll-Konfidenzintervall ergibt sich für eine sicher zu gewährleistende Abgrenzung der Stichprobe zum jeweils

geltenden Grenzwert aus der Differenz dieses Grenzwertes zum kritischen Mittelwert.

Werden alle oben genannten Annahmen berücksichtigt, so kann der notwendige Stichprobenumfang (n_{soll}) wie folgt abgeschätzt werden:

$$n_{soll} = \frac{\left(t_{kritisch}(p=0,01;FG=n_{ist}-1) \cdot s\right)^2}{\left(X_{soll} - \bar{X}\right)^2 + \frac{\left(t_{kritisch}(p=0,01;FG=n_{ist}-1) \cdot s\right)^2}{n_{ist}}}$$

Legende:

n_{soll} - notwendiger Stichprobenumfang

$t_{kritisch}$ - kritischer t-Wert

p - Irrtumswahrscheinlichkeit

FG - Freiheitsgrade

n_{ist} - tatsächlicher Stichprobenumfang für die Standardabweichungsermittlung

s - Standardabweichung

X_{soll} - Grenzwert

\bar{X} - Mittelwert

Der so für eine Bioabfallkompostierungsanlage notwendige berechnete Stichprobenumfang (n_{soll}) sollte für ein Jahr gelten und nicht unter einem Datensatz pro Jahr liegen. Die Standardabweichung (s) ist stets gleitend durch Gesamtauswertung einer tatsächlichen Stichprobe (n_{ist}), einschließlich der neu hinzukommenden Datensätze anzupassen. Der Umfang der tatsächlichen Stichprobe kann wahlweise festgelegt werden. Je geringer der festgelegte Stichprobenumfang ausfällt, umso größer wird der notwendige Stichprobenumfang (n_{soll}).

Aufgrund vorgenannter Zusammenhänge besteht grundsätzlich die Möglichkeit, Untersuchungshäufigkeiten für Vorsorgeparameter (z.B. Schwermetalle) auf denjenigen Umfang zu beschränken, der für den sicheren Nachweis der Einhaltung vorgegebener Grenzwerte tatsächlich erforderlich ist. Die Teilnahme an freiwilligen Systemen der Gütesicherung, die über entsprechende Möglichkeiten der Ausweisung erforderlicher Untersuchungsumfänge verfügen, könnte auf diesem Wege weiter gefördert werden. Gleichzeitig würden geringe Ausschöpfungen von Grenzwerten durch geringere Untersuchungshäufigkeiten belohnt.

4. Beurteilung bestehender und diskutierter Grenzwerte

Die Beurteilung der Gewährleistung gesicherter Einhaltung von Grenzwerten ist nicht nur wichtig für Aussagen über die Praktikabilität von Qualitätsmanagementsystemen, sondern auch über die Planungssicherheit von Systemen der getrennten Sammlung und Kompostierung insgesamt.

Dabei ist nicht nur die aktuell nachgewiesene Grenzwerteinhaltung wichtig, sondern auch die Abschätzung deren zufallsabhängiger Stabilität.

4.1 Grenzwerte der Bioabfallverordnung

Die Bioabfallverordnung weist Grenzwerte für einmalige Aufwendmengen von 20 bzw. 30 t Komposttrockenmasse aller drei Jahre aus. Anhand dieser Grenzwerte (siehe Tabelle 15) erfolgt derzeit die Fremdüberwachung in fast allen Bioabfallkompostierungsanlagen Deutschlands.

Die Gewährleistung der Grenzwerteinhaltung der RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen ist in den Tabellen 16 und 17 einzusehen.

Die Einhaltung der Grenzwerte beider Kategorien der Bioabfallverordnung wird lediglich in Ausnahmefällen durch einzelne Anlagen nicht gewährleistet. Als Ursache dafür sind besonders die erhöhten geogenen Nickelbelastungen im Harzvorland zu nennen. Aber auch Kupfer- und Fremdstoffgehalte wirken teilweise grenzwertüberschreitend.

In zufallsbedingten Einzelfällen können jedoch Grenzwertüberschreitungen bei Fremdstoffen und Salmonellen auftreten. Das erhärtet die Forderungen nach verbesserter Fremdstoffaushaltung. Für die Gewährleistungsüberschreitungen bei den Salmonellen ist die Grenzwertfestlegung von 0 ausschlaggebend.

Tabelle 15: Auf Gewährleistung zu prüfende Grenzwerte der Bioabfallverordnung

Parameter	Grenzwert nach BioAbfV § 4 (2) Satz 2 für Gaben bis 30 t TS/ha	Grenzwert nach BioAbfV § 4 (2) Satz 1 für Gaben bis 20 t TS/ha
keimfähige Samen und Pflanzenteile	2,0 St./Liter	2,0 St./Liter
Salmonellen	0	0
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	0,5 TS-%	0,5 TS-%
Blei	100 mg/kg TS	150 mg/kg TS
Cadmium	1,0 mg/kg TS	1,5 mg/kg TS
Chrom	70 mg/kg TS	100 mg/kg TS
Kupfer	70 mg/kg TS	100 mg/kg TS
Nickel	35 mg/kg TS	50 mg/kg TS
Quecksilber	0,7 mg/kg TS	1,0 mg/kg TS
Zink	300 mg/kg TS	400 mg/kg TS

Tabelle 16: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Grenzwerte der BioAbfV § 4 (3) Satz 1 (20 t TS in 3 Jahren)

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
Gesamtbewertung	64,9%	32,2 %	2,9 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	99,5%	0,5 %	0 %
Cadmium	99,5%	0,5 %	0 %
Chrom	100,0%	0 %	0 %
Kupfer	95,2%	4 %	0,8 %
Nickel	98,2%	0,5 %	1,3 %
Quecksilber	99,7%	0,3 %	0 %
Zink	99,5%	0,5 %	0 %

Legende: sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend
 nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend
 nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

Die Einhaltung der Vorgaben für die höheren Kompostaufwandmengen von 30 t TS/ha werden lediglich von etwa einem Drittel der RAL-fremdüberwachten Anlagen sicher gewährleistet. Hier erwiesen sich vor allem erhöhte Kupfergehalte als limitierend.

4.2 Grenzwerte der EU-Öko-Landbau-Verordnung 2092/91

Die Öko-Landbauverordnung der Europäischen Union weist für einige Schwermetalle extrem niedrige Grenzwerte aus. Allerdings gelten die Grenzwerte nur für Komposte aus der getrennten Sammlung von Haushaltsabfällen. Für Komposte aus rein pflanzlichen Materialien gelten die Grenzwerte nicht. Hier sind die Werte der Bioabfallverordnung anzuwenden.

In der Tabelle 18 sind die Grenzwerte der EU-ÖkoV und in der Tabelle 19 die Ergebnisse der Gewährleistungsprüfung enthalten.

Tabelle 17: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Grenzwerte BioAbfV § 4 (3) Satz 2 (30 t TS in 3 Jahren)

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
Gesamtbewertung	35,6%	46 %	18,4 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	90,2%	8,2 %	1,6 %
Cadmium	90,2%	8,2 %	1,6 %
Chrom	96,5%	2,4 %	1,1 %
Kupfer	58,2%	29,8 %	12 %
Nickel	90,7%	5,6 %	3,7 %
Quecksilber	96,0%	3,7 %	0,3 %
Zink	83,5%	13,6 %	2,9 %

Legende: sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend
 nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend
 nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

Über 50 % der geprüften Anlagen können die Einhaltung der Anforderungen des ökologischen Landbaus derzeit überhaupt nicht gewährleisten. Entscheidend dafür sind vor allem die extrem niedrigen Bleigrenzwerte der EU-Öko-Landbau-Verordnung.

Eine stabil sichere Gewährleistung kann nur durch jede 10. Bioabfallkompostierungsanlage nachgewiesen werden.

Die bundesweit angestrebte Zusammenarbeit der Bioabfallwirtschaft mit Öko-Landbau-Betrieben wird demnach nur auf Basis von Chargenuntersuchungen möglich sein (sofern Gewährleistungsnachweise eingefordert werden) oder bei Anwendung von Pflanzenkomposten, für die die Grenzwerte der EU-ÖkoV nicht gelten.

Tabelle 18: Auf Gewährleistung geprüfte Grenzwerte der EU-Öko-Landbau-Verordnung, ergänzt durch die hygienischen und Fremdstoffanforderungen der BioAbfV

Parameter	Grenzwert
keimfähige Samen und Pflanzenteile	2,0 St./Liter
Salmonellen	0
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	0,5 TS-%
Blei	45 mg/kg TS
Cadmium	1,0 mg/kg TS
Chrom	70 mg/kg TS
Kupfer	70 mg/kg TS
Nickel	25 mg/kg TS
Quecksilber	0,4 mg/kg TS
Zink	200 mg/kg TS

Tabelle 19: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Grenzwerte der EU-Öko-Landbau-Verordnung

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
Gesamtbewertung	10,9%	37 %	52,1 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	21,8%	33,8 %	44,4 %
Cadmium	90,2%	8,2 %	1,6 %
Chrom	96,5%	2,4 %	1,1 %
Kupfer	58,3%	29,5 %	12,2 %
Nickel	75,0%	14,9 %	10,1 %
Quecksilber	80,8%	17,6 %	1,6 %
Zink	44,7%	23,9 %	31,4 %

Legende:

sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend

nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend

nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

4.3 Werte des BMU / BMVEL - Konzepts

Das BMU / BMVEL – Konzept wurde aus den Vorsorgewerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung abgeleitet und beinhaltet demnach differenzierte Wertvorschläge für die Bioabfallkompostanwendung auf Ton-, Lehm- und Sandböden. Die geprüften Wertvorschläge sind in Tabelle 20 enthalten, wobei von einer Übernahme der derzeit geltenden hygienischen Grenzwerte nach BioAbfV ausgegangen worden ist.

Tabelle 20: Auf Gewährleistung geprüfte Werte der BMU / BMVEL - Konzeption, ergänzt durch die hygienischen und Fremdstoffanforderungen der BioAbfV

Parameter	Wert für			
	Maßeinheit	Tonboden	Lehm- /Schluff- boden	Sandboden
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./Liter	2,0		
Salmonellen		0		
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	TS-%	0,5		
Blei	mg/kg TS	105	75	45
Cadmium	mg/kg TS	1,6	1,0	0,4
Chrom	mg/kg TS	100	70	30
Kupfer	mg/kg TS	75	45	30
Nickel	mg/kg TS	75	50	15
Quecksilber	mg/kg TS	1,0	0,6	0,2
Zink	mg/kg TS	270	210	120

Die Tabellen 21, 22 und 23 beinhalten Aussagen zur anlagenbezogenen Gewährleistungsprüfung auf Einhaltung der Werte für Ton-, Lehm- und Sandböden.

Für die Tonböden weist das BMU / BMVEL- Konzept schon 14,1 % der geprüften Anlagen als nicht gewährleistet aus. Nur ein knappes Drittel kann in die Gruppe sicher gewährleisteten Anlagen eingeordnet werden. Als hauptsächlich gewährleistungseinschränkend sind hier die Schwermetalle Kupfer und Zink zu nennen.

Für die am verbreitetsten anzutreffenden Lehmböden sind nach dem zur Diskussion gestellten BMU / BMVEL – Konzept schon 62 % der Anlagen als nicht gewährleistet anzusprechen. Lediglich 3,7 % der Anlagen weisen eine sichere Gewährleistung der Wertvorgaben auf.

Kupfer und Zink sind auch bei den Lehmböden dominant für auftretende Gewährleistungsbeschränkungen. Der Schwerpunkt verschiebt sich jedoch stärker in Richtung Kupfer. Ergänzend wirkt sich bei den Lehmböden auch schon der Bleigehalt in den Komposten als wertüberschreitend aus.

Tabelle 21: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Werte aus dem BMU/BMVEL-Konzept für Tonboden

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
Gesamtbewertung	30,6%	55,3 %	14,1 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	84,6%	13,8 %	1,6 %
Cadmium	98,9%	1,1 %	0 %
Chrom	98,9%	1,1 %	0 %
Kupfer	50,8%	41,2 %	8 %
Nickel	99,2%	0 %	0,8 %
Quecksilber	98,7%	1,3 %	0 %
Zink	60,7%	31,9 %	7,4 %

Legende:

sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend

nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend

nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

Die geprüften Grenzwerte für die Kompostanwendung auf Lehmböden lassen bei dem hohen Anteil von Nicht-Gewährleistung durch RAL-fremdüberwachte Bioabfallkompostierungsanlagen keine weitere Gütesicherung zu, da der derzeit erreichte Stand der Technik wegen durchgehender Grenzwertüberschreitung von vorn herein als nicht ordnungsgemäß zu bewerten wäre.

Noch extremer wird die Gewährleistungssituation für die Bioabfallkompostanwendung auf Sandböden. 98,4 % der RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen können die Einhaltung der Vorgaben aus dem BMU / BMVEL – Konzept nicht gewährleisten. Eine sichere Gewährleistung ist überhaupt nicht möglich.

Die wesentlichen Gewährleistungsprobleme leiten sich wiederum aus den Kupfer- und Zinkgehalten ab, ergänzt durch die Cadmium-, Blei- und Nickelgehalte der Bioabfallkomposte. Eine Anwendung von Bioabfallkomposten auf Sandböden ist mit diesen Grenzwertvorschlägen völlig ausgeschlossen.

Tabelle 22: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Grenzwerte aus dem BMU/BMVEL-Konzept für Lehm-/Schluffböden

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
	3,7%	34,3 %	62 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	54,0%	39,1 %	6,9 %
Cadmium	80,0%	18,4 %	1,6 %
Chrom	93,0%	5,9 %	1,1 %
Kupfer	5,6%	37,5 %	56,9 %
Nickel	95,8%	2,9 %	1,3 %
Quecksilber	90,2%	9,3 %	0,5 %
Zink	26,4%	47,3 %	26,3 %

Legende:

sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend

nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend

nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

Insgesamt ist das vom BMU und BMVEL zur Diskussion gestellte Grenzwertkonzept für Bioabfallkomposte durch die heutigen Kompostierungsanlagen praktisch nicht umsetzbar. Von entscheidender Bedeutung sind hier einerseits die extrem niedrigen Grenzwertvorschläge für Sandböden (anteilig auch schon für Lehmböden).

4.4 Grenzwerte eines überarbeiteten UBA - Konzepts

Unter Berücksichtigung der geführten Diskussionen um das unter Punkt 4.3 vorgestellte BMU / BMVEL-Grenzwertkonzept wurde vom Umweltbundesamt ein pauschalierter Ansatz der Grenzwertableitung erarbeitet. Hier wird auch von drei Bodenarten ausgegangen, die im Boden langfristig verbleibenden Düngerrückstände leicht erhöht. Das führte zu den in Tabelle 24 zusammengestellten Grenzwertszenarien.

Die Tabellen 25, 26 und 27 beinhalten Aussagen zur anlagenbezogenen Gewährleistungsprüfung auf Einhaltung der Grenzwerte für Ton-, Lehm- und Sandböden.

Tabelle 23: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Grenzwerte aus dem BMU/BMVEL-Konzept für Sandboden

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
Gesamtbewertung	0,0%	1,6 %	98,4 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	12,8%	42,8 %	44,4 %
Cadmium	0,6%	34,8 %	64,6 %
Chrom	27,4%	51,6 %	21 %
Kupfer	0,5%	5,9 %	93,6 %
Nickel	18,4%	36,4 %	45,2 %
Quecksilber	24,7%	58,8 %	16,5 %
Zink	0,0%	4,3 %	95,7 %

Legende:

sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend

nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend

nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

Die anlagenbezogenen Gewährleistungsprüfungen für die überarbeiteten UBA-Wertvorschläge für die Bioabfallkompostanwendung auf Tonböden ergaben insgesamt ein ähnliches Bild, wie für die oberen Grenzwerte nach der geltenden Bioabfallverordnung.

Die Gewährleistungsprobleme bei Fremdstoffgehalten und Salmonellen überdecken die vergleichsweise etwas erhöhten Auswirkungen der Bleigehalte.

Insgesamt kann für diesen Wertevorschlag eine unproblematische Fortführung der stofflichen Bioabfallverwertung auf Bodenflächen bestätigt werden.

Die überarbeiteten Wertvorschläge des UBA – Konzeptes für die Bioabfallkompostanwendung auf Lehmböden liegt in den ausgewiesenen Gewährleistungen der Werteinhaltung zwischen den Prüfergebnissen der Bioabfallverordnungsgrenzwerte nach § 4, Absatz 4 Satz 1 und Satz 2. Damit stellen sie eine echte Herausforderungen an ein hochwertiges Qualitätssicherungssystem in der Bioabfallwirtschaft dar.

Die Anzahl der wertüberschreitenden Bioabfallkompostierungsanlagen erhöht sich gegenüber den oberen Werten der Bioabfallverordnung leicht von 2,5 auf 5,3 %. Die mit statistisch gesicherter Wahrscheinlichkeit hinsichtlich der

Kompostqualität nicht zu gewährleistenden Anlagen erhöhen sich dagegen von 32,2 auf 52,7 %.

Tabelle 24: Auf Gewährleistung geprüfte Werte der überarbeiteten UBA - Konzeption, ergänzt durch die hygienischen und Fremdstoffanforderungen der BioAbfV

Parameter	Wert für			
	Maßeinheit	Tonboden	Lehm- /Schluff- boden	Sandboden
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./Liter	2,0		
Salmonellen		0		
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	TS-%	0,5		
Blei	mg/kg TS	130	100	60
Cadmium	mg/kg TS	2,7	2,1	1,4
Chrom	mg/kg TS	130	90	50
Kupfer	mg/kg TS	120	90	70
Nickel	mg/kg TS	90	70	30
Quecksilber	mg/kg TS	2,4	0,8	0,3
Zink	mg/kg TS	520	460	350

Wiederum ergeben sich besondere Gewährleistungsprobleme aus den Kupfergehalten der Bioabfallkomposte. Hier deutet sich ein Handlungsbedarf zur Quellenermittlung und Vermeidung an.

Die überarbeiteten Wertvorschläge aus dem überarbeiteten UBA - Konzept für Sandböden führen zu dem Prüfergebnis, dass 32,4 % der Bioabfallkompostierungsanlagen diese Zielstellungen überhaupt nicht erreichen können. Nur jede 10. Anlage kann die Einhaltung dieser Vorgaben sicher gewährleisten. Daraus leitet sich einerseits ab, dass diese Wertvorschläge für eine Weiterentwicklung des Qualitätsmanagements in der Bioabfallwirtschaft grundsätzlich geeignet sind, und dass andererseits die in der zweiten Stufe des Projektes „Neubewertung von Kompostqualitäten“ vorgesehenen Prüfungen regionaler Einflüsse auf die Kompostqualität neue Erkenntnisse bringen werden.

Tabelle 25: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Werte aus dem überarbeiteten UBA-Konzept für Tonboden

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
Gesamtbewertung	62,3%	36,4 %	1,3 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	93,1%	6,9 %	0 %
Cadmium	100,0%	0 %	0 %
Chrom	100,0%	0 %	0 %
Kupfer	94,4%	5,6 %	0 %
Nickel	99,2%	0,3 %	0,5 %
Quecksilber	100,0%	0 %	0 %
Zink	99,7%	0,3 %	0 %

Legende:

sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend

nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend

nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

Tabelle 26: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Werte aus dem überarbeiteten UBA-Konzept für Lehm-/Schluffboden

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
Gesamtbewertung	42,0%	52,7 %	5,3 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	80,6%	17,8 %	1,6 %
Cadmium	100,0%	0 %	0 %
Chrom	97,3%	2,4 %	0,3 %
Kupfer	68,4%	29,5 %	2,1 %
Nickel	99,2%	0 %	0,8 %
Quecksilber	95,2%	4,8 %	0 %
Zink	99,5%	0,5 %	0 %

Legende:

sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend

nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend

nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

Tabelle 27: Bewertung von 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen nach Einhaltung der Grenzwerte aus dem überarbeiteten UBA-Konzept für Sandboden

Parameter	sicher gewährleistet	nicht sicher gewährleistet	nicht gewährleistet
Gesamtbewertung	10,4%	57,2 %	32,4 %
darunter Bewertung nach			
keimfähige Samen und Pflanzenteile	94,9%	5,1 %	0 %
Salmonellen	87,2%	12,8 %	0 %
Fremdstoffe > 2 mm	81,1%	18,1 %	0,8 %
Blei	31,4%	50 %	18,6 %
Cadmium	96,0%	4 %	0 %
Chrom	79,0%	18,6 %	2,4 %
Kupfer	43,1%	43,6 %	13,3 %
Nickel	76,3%	17,3 %	6,4 %
Quecksilber	57,2%	37,5 %	5,3 %
Zink	84,0%	15,7 %	0,3 %

Legende:

sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist nicht grenzwertüberschreitend

nicht sicher gewährleistet - obere Erwartungsgrenze des Anlagenmittelwertes ist grenzwertüberschreitend

nicht gewährleistet - Anlagenmittelwert ist grenzwertüberschreitend

5. Zusammenfassung

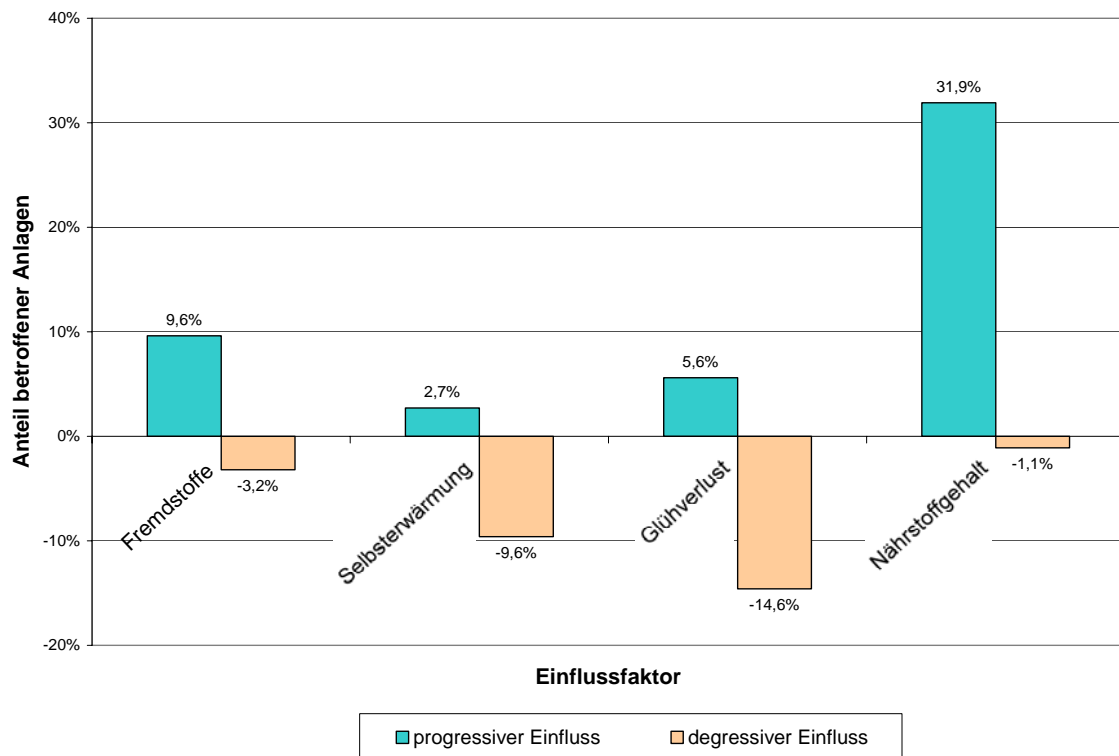
Die Ergebnisse der Kompostuntersuchungen der Jahre 1998 bis 2002 wurden für 376 Bioabfallbehandlungsanlagen einer umfangreichen statistischen Auswertung unterzogen. Dabei wurden bezogen auf das Jahr 2002 für ausgewählte Parameter bundesweit folgende mittlere Gehalte festgestellt und mit Angaben der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. zum Jahr 1997, also zum Stand vor Einführung der Bioabfallverordnung, verglichen:

Parameter	Maß-Einheit	Mittelwert 1997	2002	
			Mittelwert	%
Glühverlust (organische Substanz)	% TS	36,6	37,3	101,9
basisch wirksame Bestandteile	CaO % TS	4,46	4,79	107,4
Stickstoff, gesamt	N % TS	1,36	1,52	111,8
Phosphat, gesamt	P ₂ O ₅ % TS	0,70	0,83	118,6
Kaliumoxid, gesamt	K ₂ O % TS	1,13	1,26	111,5
Magnesiumoxid, gesamt	MgO % TS	0,82	0,84	102,4
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	0,08	0,08	100,0
Salmonellen			0,00	
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	% TS	0,15	0,20	133,3
Steine > 5mm	% TS	1,78	1,74	97,8
Blei	mg/kg TS	56,6	46,4	82,0
Cadmium	mg/kg TS	0,532	0,474	89,1
Chrom	mg/kg TS	24,7	25,3	102,4
Kupfer	mg/kg TS	48,7	57,7	118,4
Nickel	mg/kg TS	16,1	16,3	101,2
Quecksilber	mg/kg TS	0,177	0,156	88,1
Zink	mg/kg TS	196,2	203,7	103,8

Die Schwermetallkonzentrationen wurden in Abhängigkeit von den Parametern Fremdstoffgehalt, organische Substanz, Rottegrad (Selbsterwärmbarekeit) und Summe der Nährstoffgehalte betrachtet. Dabei wurden folgende Zusammenhänge gefunden (siehe Grafik nächste Seite):

Es wurde in progressiven Einfluss (Zunahme der Schwermetallkonzentration) und degressiven Einfluss (Abnahme der Schwermetallkonzentration) unterschieden. Den stärksten progressiven Einfluss üben die Nährstoffgehalte aus. Höhere Gehalte an organischer Substanz (Glühverluste) sind am häufigsten mit abnehmenden Schwermetallkonzentrationen verbunden.

Durch statistisch Auswertungen wurden Erwartungsbereiche für die oben genannten Mittelwerte und die zugehörigen Einzelmesswerte abgeleitet. Auf der Grundlage dieser Auswertungen können Validierungswerte für Anlagenmittelwerte und für Einzelmesswerte abgeleitet werden, deren Einhaltung durch die Bioabfallkompostierungsanlagen sicher gewährleistet werden kann.



Die Ergebnisse dieser Gewährleistungsgrenzenableitung sind nachstehend zusammengestellt.

Schwermetall	Maß-Einheit	Gewährleistungsgrenzen für	
		Anlagenmittelwerte	Einzelmesswerte
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	1	6
Salmonellen		0,1*	1
Fremdstoffe > 2mm	TS-%	0,6	1,7
Blei	mg/kg TS	120	190
Cadmium	mg/kg TS	1,1	1,8
Chrom	mg/kg TS	70	100
Kupfer	mg/kg TS	110	180
Nickel	mg/kg TS	60	80
Quecksilber	mg/kg TS	0,5	1,1
Zink	mg/kg TS	380	530

* - bzw. maximal jede 10. Probe positiv

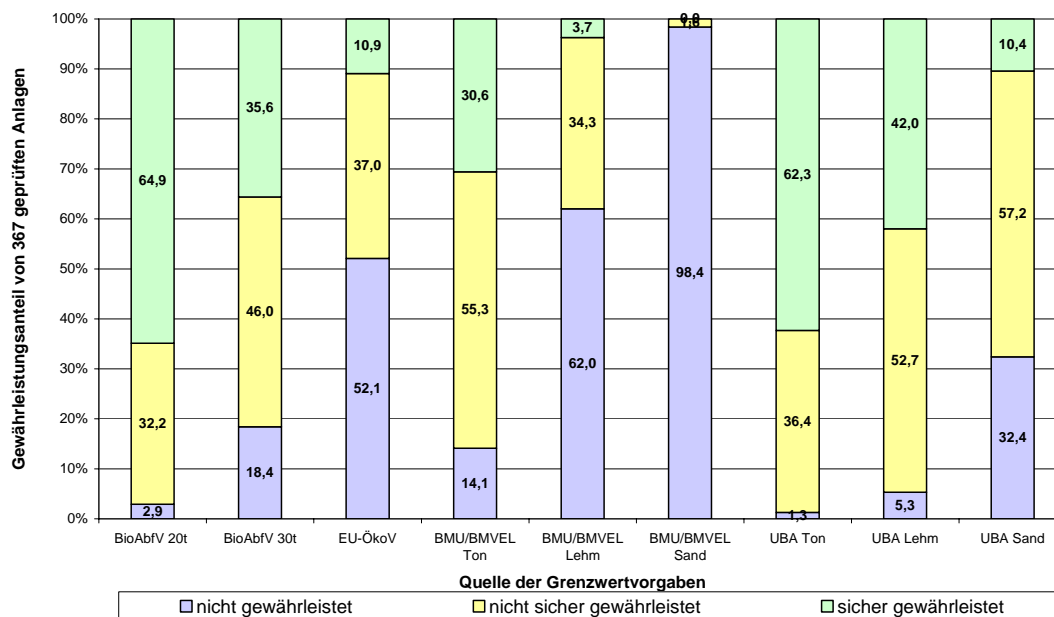
Die oben genannten Gewährleistungs- bzw. Validierungsgrenzen sind geeignet, Grenzwertvorschläge für diese Parameter hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit durch die Kompostanlagen zu bewerten. Diese Werte stellen den aktuellen Sachstand dar. Es wird zur Zeit davon ausgegangen, dass diese Werte nicht ohne weiteres

absenken sind, da Reduktionspotentiale ausgeschöpft scheinen. Die vor allem bei Kupfer steigenden Gehalte bedürfen einer weiteren Prüfung.

Eine Reihe von geltenden Grenzwerten und derzeit zur Diskussion gestellten Grenzwertvorschlägen wurden anhand der statistischen Datenauswertungen von Kompostuntersuchungsergebnissen aus 376 RAL-fremdüberwachten Bioabfallkompostierungsanlagen auf die Gewährleistung der Grenzwerteinhaltung geprüft (sicher, nicht sicher oder nicht gewährleistet). Nachfolgende Verordnungen bzw. Konzeptionen wurden einbezogen:

- Bioabfallverordnung für zwei Aufwandmengen
- EU-Öko-Landbau-Verordnung 2092/91
- BMU / BMVEL – Konzept für die Ton-, Lehm- und Sandböden (Juni 2002)
- Überarbeitetes UBA – Konzept für die Ton-, Lehm- und Sandböden (Dezember 2002)

Ein Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen zur Einhaltung der Gesamtheit der geprüften Grenzwertvorgaben durch Anlagenmittelwerte ist nachfolgend grafisch dargestellt (die Aussage gilt nicht für Einzelmesswertbewertungssysteme, da hier der Untersuchungsfehler zusätzlich eine erhebliche Bedeutung hat).



Entscheidend für die Aussage zur Einhaltung von Grenzwertszenarien ist der als sicher gewährleistet gekennzeichnete Bereich. Nicht sicher die Einhaltung von Grenzwerten gewährleistende Bioabfallbehandlungsanlagen bedürfen hinsichtlich ihres Qualitätsmanagements und ihrer Fremdüberwachung besonderer Aufmerksamkeit.

Durch die Abbildung wird deutlich, dass die geprüften Grenzwertvorschläge aus dem Konzept von BMU und BMVEL dazu führen (insbesondere bei den Kategorien Sand-/Lehmböden), dass der überwiegende Teil der Anlagen die

Qualitätsanforderungen für die stoffliche Verwertung nicht erreicht. Lediglich für Tonböden, die jedoch in Deutschland wenig verbreitet sind, würde sich eine theoretische Chance für den fallweisen Einsatz von Bioabfallkomposten ergeben.

Die Grenzwertgewährleistungsprüfungen für die Bioabfallanwendung auf Lehm Böden fallen schlechter aus, als sie sich aus den sehr stringenten Anforderungen des ökologischen Landbaus herleiten lassen.

Anlagenverzeichnis

Anlage Nr.	Inhalt der Anlage
1	Mittelwerte der Bioabfallkompostierung in Anlagen 1 bis 376
2	Kritische Mittelwerte nach BioAbfV der Bioabfallkompostierung in Anlagen 1 bis 376
3	Erwartungsgrenzen für Einzelmesswerte nach BioAbfV der Bioabfallkompostierung in Anlagen 1 bis 376
4	Zusammenstellung von Ergebnissen der bundesweiten statistischen Auswertung von Schwermetallgehalten bei der Bioabfallkompostierung in 376 Einzelanlagenbewertungen
5	Grafische Darstellungen zur Gewährleistung einzelner Schwermetallwertevorgaben

Anlagen zum

Endbericht zum Thema:

Neubewertung von Kompostqualitäten

Kooperationsprojekt
von
Umweltbundesamt Berlin
und
Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

3. Variabilität ($p < 0,01$) der Fremdüberwachungsdaten von allen Anlagenmittelwerten für die Bioabfallkompostproben seit 1998									
Betreff: Anlagen 1 bis 376 für Inbetriebnahmehjahr der Anlagen 2001									
geprüftes Merkmal	Maßeinheit	RAL-Richtwert	Beginn des Anlagenbetriebs	Datenmenge	Grundqualität **	Erwartungsbereich des Mittelwertes von Einzelmeßwerte		Ausreissergrenzen	
						unten	oben		
Allgemeine Merkmale									
Rottegrad			1984 bis 2001	376	4,4	4,3 bis 4,4	2,8 bis 5,0	2,8	5,0
maximale Selbsterhitzung	°C		1984 bis 2001	365	31,1	30,1 bis 32,0	17,8 bis 49,8	15,2	49,8
Feuchtrohdichte	g FS/l		1984 bis 2001	376	673	658 bis 688	384 bis 963	384	963
Trockenrohdichte	g TS/l		1984 bis 2001	376	419	408 bis 430	235 bis 632	207	632
Wassergehalt	% FS	< 45	1984 bis 2001	376	35,3	34,3 bis 36,2	17,4 bis 53,1	17,4	53,1
	Vol.-%		1984 bis 2001	376	23,2	22,3 bis 24,0	7,9 bis 39,6	6,7	39,6
Maximalkorn	mm		1984 bis 2001	375	16,0	15,3 bis 16,8	1,8 bis 30,3	1,8	30,3
C:N-Verhältnis		< 30***	1984 bis 2001	375	35,49	33,62 bis 37,37	6,44 bis 71,76	0,00	71,76
pH-Wert			1984 bis 2001	376	7,59	7,54 bis 7,63	6,66 bis 8,42	6,66	8,51
Salzgehalt	g KCl/l		1984 bis 2001	376	6,36	6,06 bis 6,66	0,93 bis 12,00	0,53	12,19
Pflanzenverträglichkeit bei 25% Prüfsubstrat	%	> 100	1984 bis 2001	372	108,3	105,9 bis 110,7	62,3 bis 154,4	62,3	154,4
Pflanzenverträglichkeit bei 50% Prüfsubstrat	%		1984 bis 2001	372	90,5	87,9 bis 93,2	40,1 bis 141,0	40,1	141,0
Wertstoffe									
Glühverlust (organische Substanz)	% TS	> 15 (30)	1984 bis 2001	376	37,3	36,2 bis 38,5	16,0 bis 59,4	15,2	59,4
	% FS		1984 bis 2001	376	25,1	24,4 bis 25,8	11,7 bis 38,4	11,7	38,4
	kg/m ³		1984 bis 2001	376	160	156 bis 163	101 bis 218	101	218
basisch wirks. Best.	CaO % TS	< 15***	1984 bis 2001	376	4,79	4,49 bis 5,09	0,85 bis 10,60	0,00	10,60
	CaO % FS		1984 bis 2001	376	2,96	2,78 bis 3,14	0,56 bis 6,42	0,00	6,42
	kg CaO/m ³		1984 bis 2001	376	19,68	18,47 bis 20,89	2,90 bis 43,07	0,00	43,07
Stickstoff, gesamt	N % TS	1,0***	1984 bis 2001	376	1,52	1,46 bis 1,57	0,48 bis 2,55	0,48	2,55
	N % FS		1984 bis 2001	376	0,98	0,94 bis 1,01	0,30 bis 1,67	0,28	1,67
	kg N/m ³		1984 bis 2001	376	6,29	6,08 bis 6,51	2,33 bis 10,45	2,14	10,45
	% wirksam*		1984 bis 2001	376	11,7	11,2 bis 12,1	5,2 bis 20,2	3,1	20,2
Stickstoff, löslich	mg N/l		1984 bis 2001	376	402,1	376,5 bis 427,7	12,8 bis 897,6	0,0	897,6
	% N, ges.		1984 bis 2001	376	6,7	6,2 bis 7,1	0,2 bis 15,2	0,0	15,2
Ammonium	mg N/l		1984 bis 2001	376	295,4	273,0 bis 317,7	0,0 bis 728,0	0,0	728,0
Nitrat	mg N/l		1984 bis 2001	376	92,4	79,8 bis 104,9	0,0 bis 335,4	0,0	335,4
Phosphat, gesamt	P ₂ O ₅ % TS	0,3***	1984 bis 2001	376	0,83	0,80 bis 0,86	0,23 bis 1,40	0,23	1,44
	P ₂ O ₅ % FS		1984 bis 2001	376	0,53	0,51 bis 0,56	0,14 bis 0,84	0,12	0,94
	kg P ₂ O ₅ /m ³		1984 bis 2001	376	3,48	3,34 bis 3,62	0,74 bis 6,25	0,71	6,25
Phosphat, löslich	mg P ₂ O ₅ /l		1984 bis 2001	376	1068	1010 bis 1126	77 bis 2194	0	2194
	% P ₂ O ₅ , ges.		1984 bis 2001	376	5,2	4,1 bis 6,3	1,1 bis 26,6	0,0	26,6
Kaliumoxid, gesamt	K ₂ O % TS	0,5***	1984 bis 2001	376	1,26	1,20 bis 1,31	0,35 bis 2,26	0,25	2,26
	K ₂ O % FS		1984 bis 2001	376	0,81	0,77 bis 0,84	0,24 bis 1,47	0,14	1,47
	kg K ₂ O/m ³		1984 bis 2001	376	5,26	5,03 bis 5,49	1,56 bis 9,65	0,87	9,65
Kaliumoxid, löslich	mg K ₂ O/l		1984 bis 2001	376	4101	3915 bis 4286	1151 bis 7693	509	7693
	% K ₂ O, ges.	> 70***	1984 bis 2001	376	77,6	75,8 bis 79,4	43,6 bis 100,0	43,6	111,6
	K ₂ O % FS		1984 bis 2001	376	0,63	0,60 bis 0,66	0,14 bis 1,18	0,08	1,18
Magnesiumoxid, gesamt	MgO % TS		1984 bis 2001	376	0,84	0,78 bis 0,90	0,25 bis 2,01	0,00	2,01
	MgO % FS		1984 bis 2001	376	0,52	0,48 bis 0,56	0,15 bis 1,21	0,00	1,21
	kg MgO/m ³		1984 bis 2001	376	3,43	3,20 bis 3,67	0,83 bis 7,98	0,00	7,98
Magnesium, löslich	mg Mg/l		1984 bis 2001	376	227	219 bis 235	73 bis 382	73	382
	% MgO, ges.		1984 bis 2001	376	13,4	12,5 bis 14,2	1,7 bis 30,2	0,0	30,2
Fremd- und Schadstoffe									
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	< 2,0	1984 bis 2001	376	0,08	0,05 bis 0,10	0,00 bis 0,56	0,00	0,56
Salmonellen	St.	0	1984 bis 2001	376	0,00	0,00 bis 0,01	0,00 bis 0,04	0,00	0,04
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	% TS	< 0,5	1984 bis 2001	376	0,20	0,19 bis 0,21	0,00 bis 0,46	0,00	0,46
Fremdstoffe - Glas	% TS		1984 bis 2001	374	0,12	0,04 bis 0,20	0,00 bis 1,62	0,00	1,62
Fremdstoffe - Kunststoffe	% TS		1984 bis 2001	374	0,06	0,04 bis 0,08	0,00 bis 0,39	0,00	0,39
Steine > 5mm	% TS	< 5,0	1984 bis 2001	376	1,74	1,61 bis 1,88	0,00 bis 4,38	0,00	4,38
Blei	mg/kg TS	< 150	1984 bis 2001	376	46,4	44,0 bis 48,8	10,1 bis 92,6	0,3	92,6
Cadmium	mg/kg TS	< 1,5	1984 bis 2001	376	0,474	0,452 bis 0,496	0,160 bis 0,898	0,050	0,898
Chrom	mg/kg TS	< 100	1984 bis 2001	376	25,3	24,0 bis 26,7	6,3 bis 51,9	0,0	51,9
Kupfer	mg/kg TS	< 100	1984 bis 2001	376	57,7	55,6 bis 59,8	16,8 bis 98,6	16,8	98,6
	% FS		1984 bis 2001	376	0,0037	0,0036 bis 0,0039	0,0010 bis 0,0066	0,0009	0,0066
Nickel	mg/kg TS	< 50	1984 bis 2001	376	16,3	14,9 bis 17,7	5,2 bis 43,1	0,0	43,1
Quecksilber	mg/kg TS	< 1,0	1984 bis 2001	376	0,156	0,145 bis 0,167	0,000 bis 0,370	0,000	0,370
Zink	mg/kg TS	< 400	1984 bis 2001	376	203,7	197,2 bis 210,3	99,3 bis 331,0	76,5	331,0
	% FS		1984 bis 2001	376	0,0132	0,0127 bis 0,0137	0,0044 bis 0,0222	0,0042	0,0222
Zusammenfassende Auswertungen									
Bodenverbesserungswert	% TS		1984 bis 2001	376	264,4	256,1 bis 272,6	131,6 bis 423,6	105,1	423,6
Pflanzendüngewert	% TS		1984 bis 2001	376	358,5	345,0 bis 372,1	112,0 bis 620,6	96,4	620,6
Nutzwert (Boden- + Pflanzendüngewert)			1984 bis 2001	376	635,6	615,7 bis 655,4	254,0 bis 1019,1	252,0	1019,1
Geldwert	€/t TS		1984 bis 2001	376	29,33	28,47 bis 30,18	12,72 bis 45,93	12,72	45,93
	€/m ³		1984 bis 2001	376	18,86	18,30 bis 19,41	8,11 bis 28,48	8,11	29,61
	€/m ³		1984 bis 2001	376	12,14	11,83 bis 12,46	6,06 bis 18,22	6,06	18,22
maximale Schwermetallgrenzwertausschöpfung	% Richtwert	< 100	1984 bis 2001	376	63,3	60,7 bis 65,9	27,5 bis 114,2	12,3	114,2
mittlere Schwermetallgrenzwertausschöpfung	% Richtwert		1984 bis 2001	376	36,1	35,0 bis 37,3	16,2 bis 58,4	13,9	58,4
Nutzwertindex BGK			1984 bis 2001	376	11,05	10,59 bis 11,50	3,19 bis 19,91	2,18	19,91

Legende:

** - Grundqualität = unterer Erwartungsmittelwert < Mittelwert bzw. Trendschätzwert < oberer Erwartungsmittelwert

*** - Mindestgehalt für organische Düngemittel nach Düngemittelverordnung

3. Variabilität (p<0,01) der Fremdüberwachungsdaten von allen krit. Einzelmesswerten für die Bioabfallkompostproben seit 1998									
Betreff: Anlagen 1 bis 376 für Inbetriebnahmehjahr der Anlagen 2001									
geprüftes Merkmal	Maßeinheit	RAL-Richtwert	Beginn des Anlagenbetriebs	Datenmenge	Grundqualität **	Erwartungsbereich des Mittelwertes von Einzelmeßwerte		Ausreissergrenzen	
						unten	oben		
Allgemeine Merkmale									
Rottegrad			1984 bis 2001	376	2,8	2,6 bis 3,0	1,0 bis 5,0	0,0	5,0
maximale Selbsterhitzung	°C		1984 bis 2001	365	49,7	47,7 bis 51,7	22,0 bis 81,9	7,6	87,4
Feuchtrohdichte	g FS/l		1984 bis 2001	376	851	833 bis 869	551 bis 1193	509	1193
Trockenrohddichte	g TS/l		1984 bis 2001	376	424	412 bis 436	244 bis 655	192	655
Wassergehalt	% FS	< 45	1984 bis 2001	376	50,3	49,4 bis 51,2	33,4 bis 67,1	33,4	67,1
	Vol.-%		1984 bis 2001	376	42,8	41,6 bis 43,9	21,0 bis 64,5	21,0	64,5
Maximalkorn	mm		1984 bis 2001	375	24,8	23,5 bis 26,0	0,8 bis 48,8	0,8	48,8
C:N-Verhältnis		< 30***	1984 bis 2001	344	15,72	14,58 bis 16,86	5,09 bis 36,80	0,00	36,80
pH-Wert			1984 bis 2001	376	8,44	8,40 bis 8,48	7,60 bis 9,28	7,60	9,28
Salzgehalt	g KCl/l		1984 bis 2001	376	9,92	9,46 bis 10,38	1,70 bis 18,81	1,03	18,81
Pflanzenverträglichkeit bei 25% Prüfsubstrat	%	> 100	1984 bis 2001	372	90,6	88,6 bis 92,6	52,2 bis 119,1	52,2	129,1
Pflanzenverträglichkeit bei 50% Prüfsubstrat	%		1984 bis 2001	372	58,9	56,0 bis 61,7	4,3 bis 110,0	4,3	113,5
Wertstoffe									
Glühverlust (organische Substanz)	% TS	> 15 (30)	1984 bis 2001	376	26,5	25,5 bis 27,4	9,2 bis 45,3	7,6	45,3
	% FS		1984 bis 2001	376	14,2	13,7 bis 14,6	5,1 bis 23,3	5,1	23,3
	kg/m³		1984 bis 2001	376	108	105 bis 111	47 bis 169	47	169
basisch wirks. Best.	CaO % TS	< 15***	1984 bis 2001	376	2,54	2,32 bis 2,75	0,00 bis 6,69	0,00	6,69
	CaO % FS		1984 bis 2001	376	1,25	1,15 bis 1,36	0,00 bis 3,28	0,00	3,28
	kg CaO/m³		1984 bis 2001	376	10,42	9,57 bis 11,27	0,00 bis 26,85	0,00	26,85
Stickstoff, gesamt	N % TS	1,0***	1984 bis 2001	376	1,01	0,97 bis 1,06	0,19 bis 1,84	0,19	1,84
	N % FS		1984 bis 2001	376	0,51	0,49 bis 0,54	0,07 bis 0,96	0,06	0,96
	kg N/m³		1984 bis 2001	376	4,18	4,01 bis 4,36	0,79 bis 7,57	0,79	7,57
	% wirksam*		1984 bis 2001	376	5,5	5,4 bis 5,6	5,0 bis 7,2	3,8	7,2
Stickstoff, löslich	mg N/l		1984 bis 2001	376	11,8	7,9 bis 15,7	0,0 bis 86,9	0,0	86,9
	% N, ges.		1984 bis 2001	376	0,5	0,4 bis 0,6	0,0 bis 2,2	0,0	2,2
Ammonium	mg N/l		1984 bis 2001	376	8,2	4,7 bis 11,6	0,0 bis 75,1	0,0	75,1
Nitrat	mg N/l		1984 bis 2001	376	3,6	1,7 bis 5,5	-1,0 bis 40,6	0,0	40,6
Phosphat, gesamt	P ₂ O ₅ % TS	0,3***	1984 bis 2001	376	0,51	0,48 bis 0,53	0,06 bis 0,95	0,06	0,95
	P ₂ O ₅ % FS		1984 bis 2001	376	0,26	0,24 bis 0,27	0,01 bis 0,51	0,01	0,51
	kg P ₂ O ₅ /m³		1984 bis 2001	376	2,11	2,01 bis 2,22	0,12 bis 4,11	0,11	4,11
Phosphat, löslich	mg P ₂ O ₅ /l		1984 bis 2001	376	550	513 bis 587	1 bis 1271	0	1271
	% P ₂ O ₅ , ges.		1984 bis 2001	376	26,1	22,0 bis 30,1	2,4 bis 100,0	0,0	103,9
Kaliumoxid, gesamt	K ₂ O % TS	0,5***	1984 bis 2001	376	0,76	0,72 bis 0,80	0,06 bis 1,40	0,06	1,46
	K ₂ O % FS		1984 bis 2001	376	0,39	0,37 bis 0,41	0,01 bis 0,78	0,00	0,78
	kg K ₂ O/m³		1984 bis 2001	376	3,18	3,01 bis 3,34	0,11 bis 6,29	0,06	6,29
Kaliumoxid, löslich	mg K ₂ O/l		1984 bis 2001	376	2035	1914 bis 2156	7 bis 4376	0	4376
	% K ₂ O, ges.	> 70***	1984 bis 2001	376	61,9	58,7 bis 65,0	1,3 bis 100,0	1,3	122,4
	K ₂ O % FS		1984 bis 2001	376	0,24	0,23 bis 0,26	0,00 bis 0,53	0,00	0,53
Magnesiumoxid, gesamt	MgO % TS		1984 bis 2001	376	0,53	0,49 bis 0,57	0,07 bis 1,33	0,00	1,33
	MgO % FS		1984 bis 2001	376	0,26	0,24 bis 0,28	0,03 bis 0,65	0,00	0,65
	kg MgO/m³		1984 bis 2001	376	2,18	2,02 bis 2,34	0,17 bis 5,34	0,00	5,34
Magnesium, löslich	mg Mg/l		1984 bis 2001	376	127	121 bis 134	6 bis 254	0	254
	% MgO, ges.		1984 bis 2001	376	9,3	8,2 bis 10,5	0,5 bis 32,0	0,0	32,0
Fremd- und Schadstoffe									
keimfähige Samen und Pflanzenteile	St./l	< 2,0	1984 bis 2001	376	0,62	0,44 bis 0,80	0,00 bis 4,18	0,00	4,18
Salmonellen	St.	0	1984 bis 2001	376	0,06	0,04 bis 0,09	0,00 bis 0,50	0,00	0,50
Fremdstoffe > 2mm (gesamt)	% TS	< 0,5	1984 bis 2001	376	0,52	0,48 bis 0,55	0,00 bis 1,17	0,00	1,17
Fremdstoffe - Glas	% TS		1984 bis 2001	374	0,65	0,01 bis 1,28	0,00 bis 12,95	0,00	12,95
Fremdstoffe - Kunststoffe	% TS		1984 bis 2001	374	0,28	0,12 bis 0,44	0,00 bis 3,43	0,00	3,43
Steine > 5mm	% TS	< 5,0	1984 bis 2001	376	4,04	3,79 bis 4,29	0,00 bis 8,87	0,00	8,87
Blei	mg/kg TS	< 150	1984 bis 2001	376	75,7	71,9 bis 79,6	23,0 bis 149,5	2,0	149,5
Cadmium	mg/kg TS	< 1,5	1984 bis 2001	376	0,802	0,766 bis 0,838	0,300 bis 1,500	0,104	1,500
Chrom	mg/kg TS	< 100	1984 bis 2001	376	40,0	37,8 bis 42,1	18,3 bis 82,3	0,0	82,3
Kupfer	mg/kg TS	< 100	1984 bis 2001	376	87,9	84,8 bis 91,1	27,9 bis 149,0	26,9	149,0
	% FS		1984 bis 2001	376	0,0045	0,0043 bis 0,0047	0,0014 bis 0,0079	0,0011	0,0079
Nickel	mg/kg TS	< 50	1984 bis 2001	376	24,5	22,7 bis 26,3	7,4 bis 59,1	0,0	59,1
Quecksilber	mg/kg TS	< 1,0	1984 bis 2001	376	0,326	0,301 bis 0,351	0,090 bis 0,807	0,000	0,807
Zink	mg/kg TS	< 400	1984 bis 2001	376	288,3	278,3 bis 298,2	137,2 bis 480,8	95,7	480,8
	% FS		1984 bis 2001	376	0,0147	0,0141 bis 0,0153	0,0058 bis 0,0255	0,0039	0,0255
Zusammenfassende Auswertungen									
Bodenverbesserungswert	% TS		1984 bis 2001	376	178,8	172,0 bis 185,7	64,8 bis 311,2	46,4	311,2
Pflanzendüngewert	% TS		1984 bis 2001	376	222,4	212,4 bis 232,4	49,6 bis 409,0	29,5	415,3
Nutzwert (Boden- + Pflanzendüngewert)			1984 bis 2001	376	414,4	399,0 bis 429,9	130,1 bis 713,4	115,5	713,4
Geldwert	€/t TS		1984 bis 2001	376	19,60	18,91 bis 20,29	6,25 bis 32,95	6,25	32,95
	€/t FS		1984 bis 2001	376	9,86	9,50 bis 10,23	2,78 bis 16,94	2,78	16,94
	€/m³		1984 bis 2001	376	8,05	7,78 bis 8,31	2,92 bis 13,17	2,92	13,17
maximale Schwermetallgrenzwertausschöpfung	% Richtwert	< 100	1984 bis 2001	376	96,3	92,9 bis 99,8	35,1 bis 163,0	29,6	163,0
mittlere Schwermetallgrenzwertausschöpfung	% Richtwert		1984 bis 2001	376	57,2	55,5 bis 58,8	26,3 bis 89,4	24,9	89,4
Nutzwertindex BGK			1984 bis 2001	376	4,65	4,41 bis 4,89	1,46 bis 9,22	0,08	9,22

Legende:

** - Grundqualität = unterer Erwartungsmittelwert < Mittelwert bzw. Trendschätzwert < oberer Erwartungsmittelwert

*** - Mindestgehalt für organische Düngemittel nach Düngemittelverordnung

Anlage 3 zum F & E - Bericht "Neubewertung von Kompostqualitäten"

Erwartungsgrenzen für Einzelmesswerte nach BioAbfV der Bioabfallkompostierung in Anlagen 1 bis 376 Bearbeitungsstand: 28.02.03

Inhaltsverzeichnis:

1. Variabilität ($p < 0,05$) der Ausreißergrenzen für Einzelwerte Fremdüberwachungsdaten von Kompostierungsanlagen nach BioAbfV bezogen auf 4 Stich
2. Variabilität ($p < 0,01$) der Fremdüberwachungsdaten von Ausreißergrenzen für Einzelwerte nach RAL-GZ 251 bezogen auf 10 Stichproben
3. Variabilität ($p < 0,01$) der Fremdüberwachungsdaten von allen Ausreißergrenzen für Einzelwerten für die Bioabfallkompostproben seit 1998

Bemerkungen:

Produkt- Frischkomposte und Fertigkomposte mit krit. OS-Einzelwert > 16 ' nach BioAbfV statistisch mögliche Anwendungsbeschränkungen¹⁾

kennzeich-	krit. Einzel-Geldwert $> 8,47$ €/t TS bzw. $> 3,1$ €/t FS bzw. $> 2,99$ €/t nach Grenz-	Fremdstoffe	(Cadmium)
nung:	Wirkungsweise: überwiegend bodenverbessernd keine Inverkehrbringung nach Düngemittelverordnung möglich	werten:	Kupfer (Blei) Salmonellen (Nickel) (keimfähige Samen und Pflanzenteile)
Löslichkeit	N - allgemein gering bis normal		(Zink)
der Nähr-	P ₂ O ₅ - vereinzelt sehr gering bis vereinzelt sehr hoch	zusätzlich	Zink
stoffe:	K ₂ O - allgemein sehr gering bis vereinzelt hoch MgO - vereinzelt gering bis vereinzelt sehr hoch	nach § 4 (2) Satz 2:	Cadmium (Chrom)
Schwerme-	über den Zeitverlauf der Anlageninbetriebnahme gesichert zunehmend		(Quecksilber)
tallge-	bis 129 %-ige Grenzwertausschöpfung durch krit. Einzelwert nach BioAbfV		
halte:	Grenzwertrelevanz nach BioAbfV: Cu > Zn > Cd > Pb > Ni > Cr > Hg		

¹⁾ Fettdruck: Mittelwert $>$ Grenzwert

Normaldruck: obere Erwartungsgrenze vom Mittel- $>$ Grenzwert und vom Einzelmess- $>$ Grenzwert

() : obere Erwartungsgrenze für Einzelmesswerte $>$ Grenzwert

**Anlage 4:
Zusammenstellung von Ergebnissen der bundesweiten statistischen Auswertung von Schwermetallgehalten bei der
Bioabfallkompostierung in 376 Einzelanlagenbewertungen**

Statistischer Wert	Blei	Cad- mium	Chrom	Kupfer	Nickel	Queck- silber	Zink	Beschreibung
Median der Anlagenmittelwerte	42,6	0,449	23,5	47,5	14,4	0,137	178,3	50 % aller Anlagen weisen einen niedrigeren Mittelwert auf
Durchschnitt der Anlagenmittelwerte	46,4	0,474	25,3	57,7	16,3	0,156	203,7	Bundesweiter Mittelwert aller Kompostierungsanlagen (tatsächlicher bodenschutzrelevanter Belastungsstatus der letzten 5 Jahre)
Obere Erwartungsgrenze für den Mittelwert über alle Anlagen (nicht stichprobennormiert)	48,8	0,496	26,7	59,8	17,7	0,167	210,3	Bundesweiter Höchstwert für die nicht überschreitbare tatsächliche Menge an Schadstoffen in allen Bioabfallkomposten (Grundlage für bundesweite "worst case" Betrachtungen)
90-er Perzentil der Anlagenmittelwerte	69,7	0,674	37,8	72,1	24,9	0,238	256,4	90 % aller Anlagen weisen einen niedrigeren Mittelwert auf
Obere Erwartungsgrenze aller Anlagenmittelwerte bei 4 Stichproben	111,8	1,075	62,9	109,4	54,4	0,459	372,9	nicht überschreitbare Nachweisgrenze der Mittelwerte jeder einzelnen Kompostierungsanlagen durch 4 Stichproben je Anlage
90-er Perzentil der oberen Erwartungsgrenzen der Anlagenmittelwerte bei 4 Stichproben	114,1	1,189	62,0	107,4	39,0	0,591	380,4	90 % aller Anlagen weisen einen niedrigere obere Erwartungsgrenze der Mittelwerte bei Nachweis durch 4 Stichproben auf
90-er Perzentil der oberen Erwartungsgrenzen der Anlageneinzel-messwerte bei 4 Stichproben	145,6	1,510	77,8	139,4	48,5	0,781	460,9	90 % aller Anlagen weisen einen niedrigere obere Erwartungsgrenze der Einzelmesswerte bei Nachweis durch 4 Stichproben auf
Obere Erwartungsgrenze aller Anlageneinzelwerte bei 4 Stichproben	180,3	1,792	99,9	180,0	73,5	1,008	529,6	nicht überschreitbare Nachweisgrenze der Einzelmesswerte jeder einzelnen Kompostierungsanlagen durch 4 Stichproben je Anlage
Ausreißergrenze einzelner Anlagenwerte bei 4 Stichproben	188,6	1,986	106,4	196,9	74,9	1,104	607,9	Ausreißergrenze für bundesweite Einzelmesswerte aller Kompostierungsanlagen (statistischer Ausreißerererkennungsstatus)

Legende: Fettdruck - bei der Gesamtauswertung zur Ableitung von Gewährleistungsgrenzen und der Toleranzableitung berücksichtigte Ergebnisse

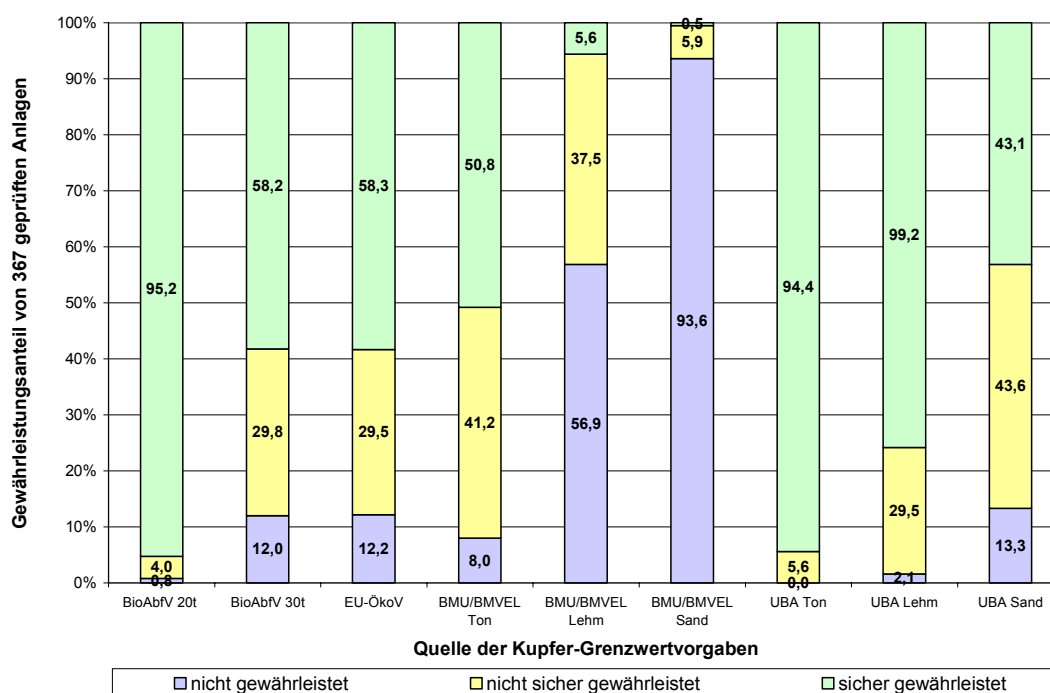
Anlage 5

Grafische Darstellungen zur Gewährleistung einzelner Schwermetallwertvorgaben

Es werden die einzelnen Ergebnisse der Gewährleistungsprüfung zur Einhaltung der einzelnen Schwermetallgrenzwerte in der Rangfolge ihres gewährleistungseinschränkenden Einflusses vorgestellt.

Als wichtigstes gewährleistungsminderndes Schwermetall ist Kupfer zu nennen. Die Ergebnisse der Gewährleistungsprüfungen auf Einhaltung von Kupfergrenzwerten sind in Abbildung 2 enthalten.

Abbildung 1: Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen verschiedener Kupfer Grenzwertvorgaben bei 376 Bioabfallkompostierungsanlagen



In der Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Gewährleistungsprüfungen auf Einhaltung von Zinkgrenzwerten in Bioabfallkompostierungsanlagen zusammengefasst.

Die Abbildung 3 enthält die Ergebnisse der Gewährleistungsuntersuchungen zur Einhaltung von Bleigrenzwerten.

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Gewährleistungsprüfungen auf Einhaltung unterschiedlicher Cadmium-Grenzwerte einzusehen.

Abbildung 2: Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen verschiedener Zink-Grenzwertvorgaben bei 376 Bioabfallkompostierungsanlagen

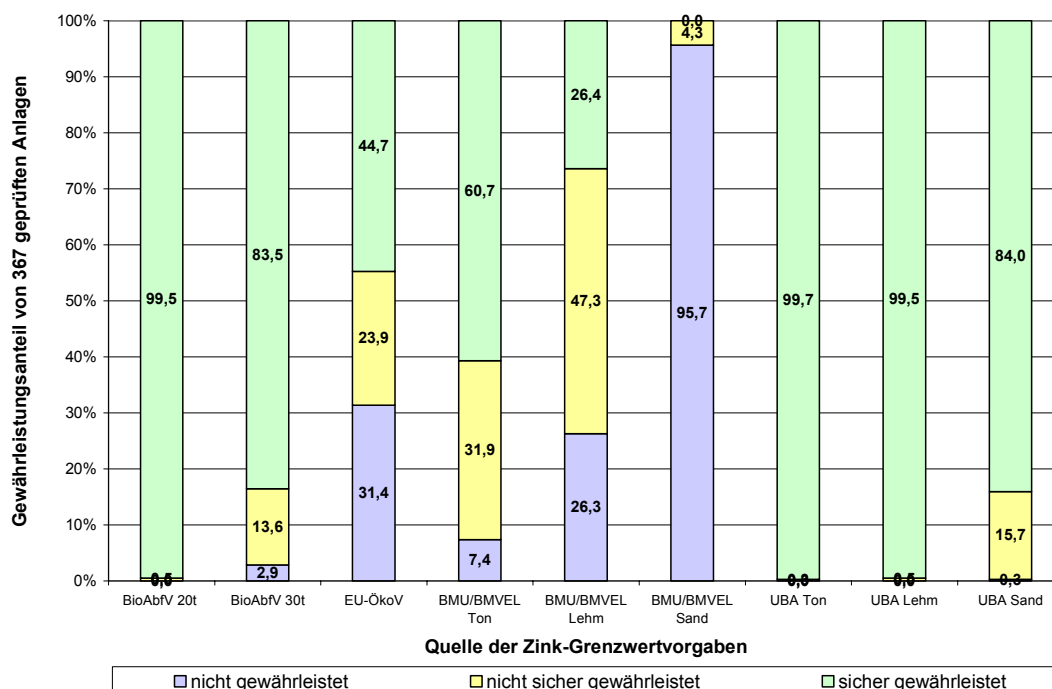


Abbildung 3: Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen verschiedener Blei-Grenzwertvorgaben bei 376 Bioabfallkompostierungsanlagen

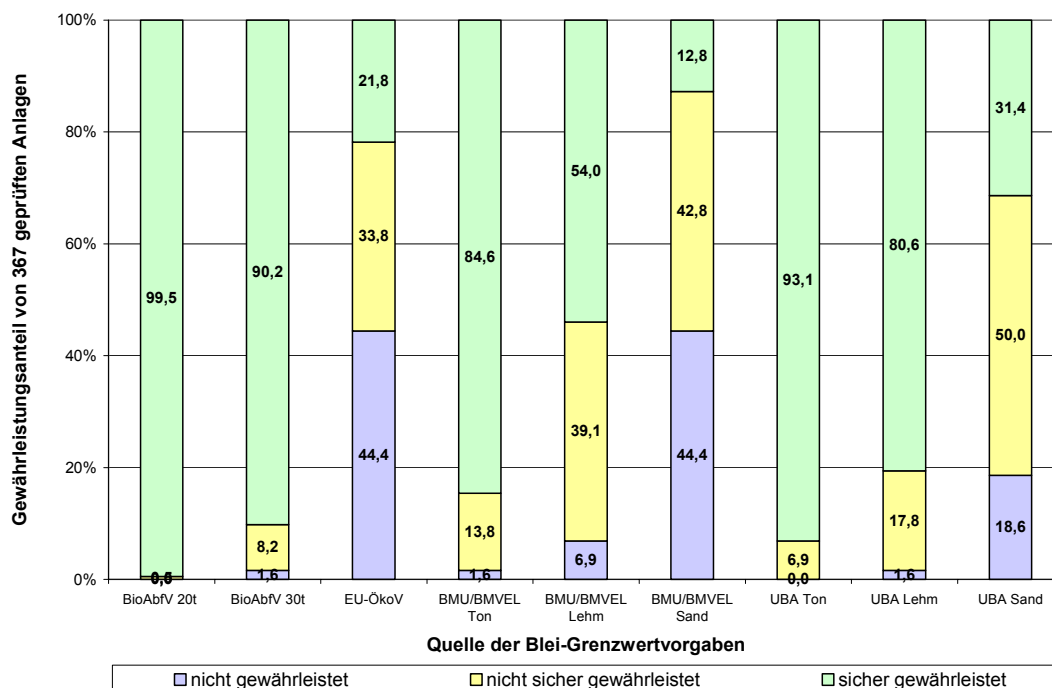
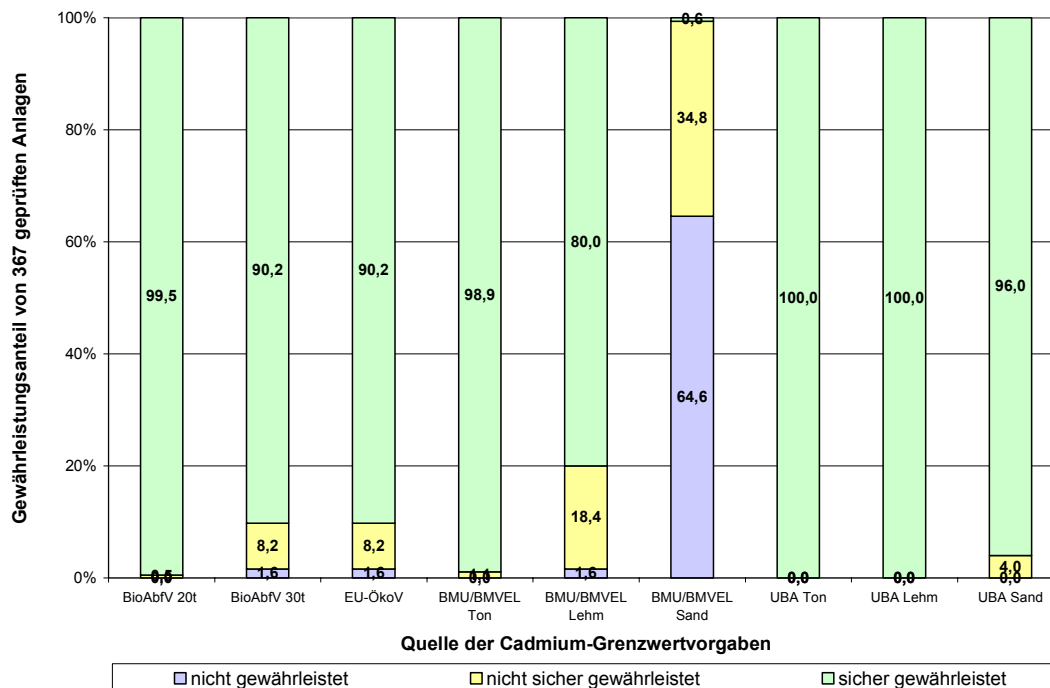


Abbildung 4: Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen verschiedener Cadmium-Grenzwertvorgaben bei 376 Bioabfallkompostierungsanlagen



Die Abbildungen 5 bis 7 betreffen die weniger gewährleistungsrelevanten Schwermetalle Nickel, Quecksilber und Chrom.

Abbildung 5: Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen verschiedener Nickel-Grenzwertvorgaben bei 376 Bioabfallkompostierungsanlagen

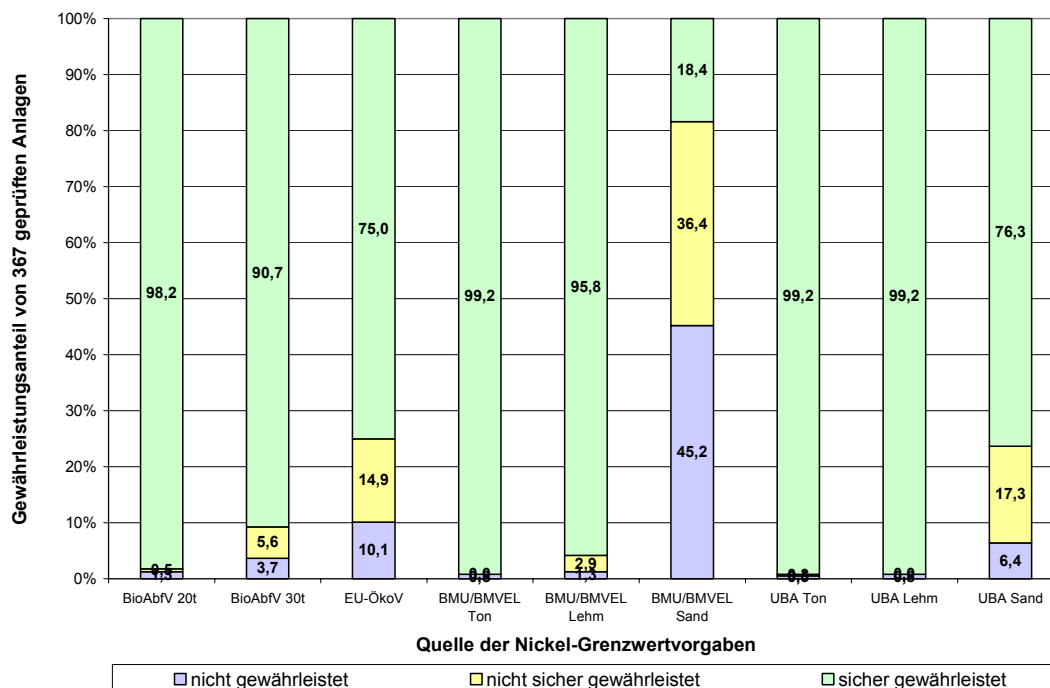


Abbildung 6: Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen verschiedener Quecksilber-Grenzwertvorgaben bei 376 Bioabfallkompostierungsanlagen

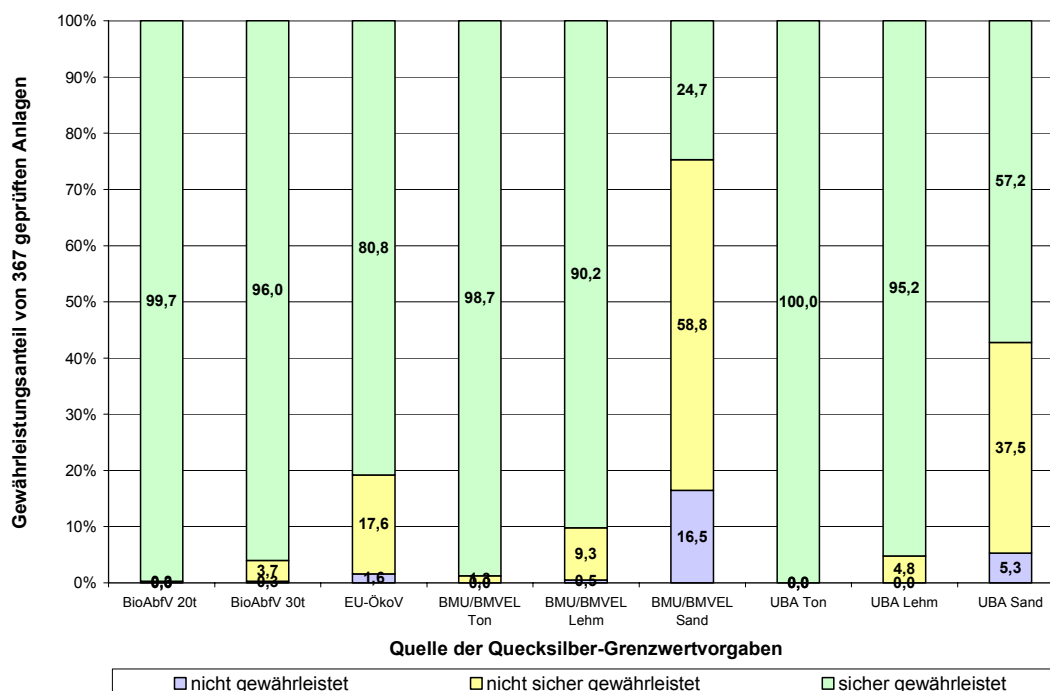


Abbildung 7: Vergleich der Ergebnisse von Gewährleistungsprüfungen verschiedener Chrom-Grenzwertvorgaben bei 376 Bioabfallkompostierungsanlagen

