

Eintragungspfade von PCDD/F in Biokompost

P. Krauß, M. Wilke

Siedlungsabfälle enthalten in Baden-Württemberg bis zu 50 % organische Abfälle (Vegetabilien, Papier, Pappe, Holz). Auf große Teile dieses Potentials, vor allem aber auf den eigentlich vegetabilen Anteil greift das System der getrennten Sammlung von „Bioabfall“ und anschließender Kompostierung zurück. Es handelt sich hierbei um ein System, das sich sowohl der erzeugten Produktmenge als auch der geforderten Produktqualität nach in Neuland bewegt.

1990 wurden etwa 100 000 t Kompost aus Siedlungsabfällen pro Jahr in der Bundesrepublik verkauft. Das angestrebte Potential für Biokompost beträgt jedoch mit etwa 5 000 000 Jahrestonnen die fünfzigfache Menge, für die es erst noch Märkte zu erschließen gilt. Die qualitativen Anforderungen gehen heute über die eigentlichen Wertstoffparameter, wie z.B. NPK hinaus und erstrecken sich in Baden-Württemberg auch auf Orientierungswerte für Schwermetalle sowie polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (Tabelle 1).

Tabelle 1: Aktuelle Grenz- und Orientierungswerte verschiedener Prüfungsinstanzen.

	RAL GZ 251 ¹⁾	RAL UZ 45	LAGA M10 ^{1,2)} (Stand Mai '94)		DMV (Stand 25.1.93)	Schweizer StoffVO	Kompost- erlaß BW ¹⁾
Pb ³⁾	150	100	150	250	200	150	100
Cd	1,5	1,0	1,5	2,5	3,0	3,0	1,0
Cr	100	100	100	200	-	150	100
Cu	100	75	100	200	200	150	75
Ni	50	50	50	100	30	50	50
Hg	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0
Zn	400	300	400	750	750	500	300
PCB je Kongener⁴⁾	(0,08)⁵⁾	-	-	-	-	-	0,03
PCDD/F⁶⁾	(40)⁶⁾	-	-	-	-	-	17

¹⁾ Alle Werte normiert auf 30 % Glühverlust.

²⁾ Linke Spalte: auf Flächen zur Erzeugung von Nahrungsmitteln, rechte Spalte: auf Flächen für "Sonstige Verwendung".

³⁾ Einheit Schwermetalle: mg/kg.

⁴⁾ Nach DIN 51527, Einheit: µg/kg.

⁵⁾ Derzeit diskutierte Orientierungswerte für organische Schadstoffe zum RAL-Gütezeichen Kompost.

⁶⁾ Einheit PCDD/F: ng I-TEQ/ kg TS.

Nachdem in Voruntersuchungen von uns festgestellt wurde, daß sowohl bei den Schwermetallen als auch bei PCDD/F und PCB die vom Land Baden-Württemberg im Kompostierungserlaß genannten Orientierungswerte in Komposten mancher Anlagen überschritten werden, soll im vorliegenden Untersuchungsprogramm abgeklärt werden, auf welchen Wegen, d.h. über welche Produkte oder Produktfraktionen, PCDD/F in das Bioabfallrohmaterial eingeschleppt werden. Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse können daraus praxisnahe Empfehlungen erarbeitet werden, die bei der Bereitstellung, der Sammlung und dem Verarbeiten von Bioabfall durch den Bürger, das Abfuhrunternehmen, den Kompostwerkbetreiber bzw. ganz allgemein die entsorgungspflichtige Gebietskörperschaft berücksichtigt werden sollten.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden einzelne Fraktionen des üblicherweise bereitgestellten Bioabfalls nach stofflichen (z.B. Laub aus Parkanlage, Rasenschnitt aus

dem Hausgarten, Papierspezialtüten zur Komposterfassung u.ä.) und regionalen (z.B. Großstadt, ländlicher Raum) Gesichtspunkten getrennt erfaßt und bewertet. Es wurden über 130 Proben von Inputmaterialien für Biokompost verschiedener Art und Herkunft untersucht (Tabelle 2).

Tabelle 2: untersuchte Probenmaterialien

26	Laubproben
25	Grasproben
31	Gartenabfallproben
2	Häckselgutproben
4	Rindenproben
8	Holzproben
8	Straßenkehrichtproben
15	Küchenabfallproben
11	Papier/Zellstoffproben
3	Strohproben
4	Windelproben
133	insgesamt

Analysenergebnisse beziehen sich im allgemeinen auf die Trockensubstanz. Bei der Analytik von Komposten nach Komposterlaß ist zusätzlich ein auf 30 % Glühverlust normiertes Analysenergebnis anzugeben. Dadurch wird der Abbau an organischer Substanz während der Kompostierung nachvollzogen, wodurch die Ergebnisse vergleichbar werden.

Aus dem gleichen Grund ist zur Abschätzung des Einschleppungspotentials einer Probenmatrix (Gras, Laub, Küchenabfälle etc.) die Angabe des auf 30 % Glühverlust normierten Analysenwertes notwendig.

Die Berechnung des normierten Analysenwertes erfolgt nach folgender Formel:

$$A = M \cdot \{70/(100-GV)\}$$

A = normierter Analysenwert

M = Meßwert

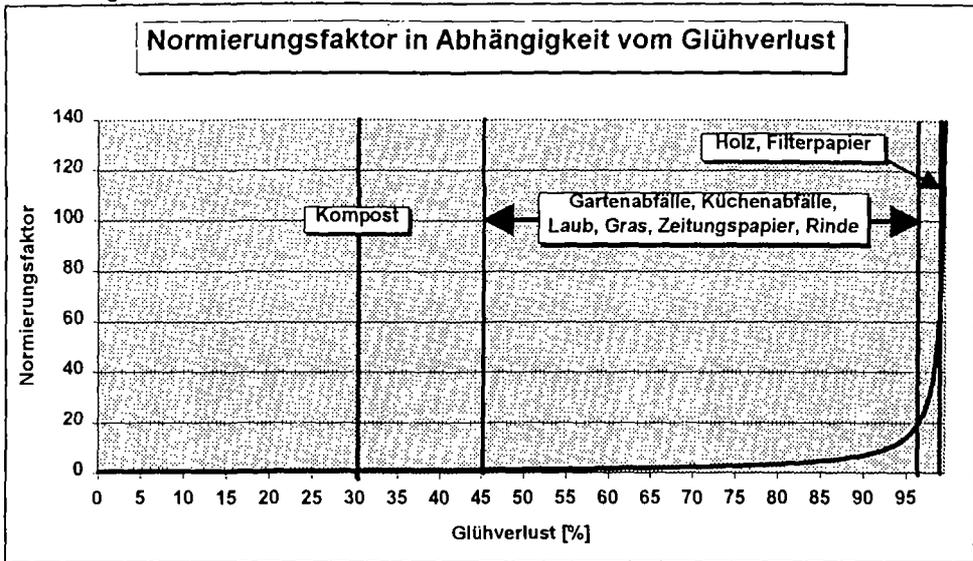
GV = Glühverlust [%]

Der Meßwert wird also mit einem - oben in geschweiften Klammern dargestellten - Faktor multipliziert, der ein rechnerisches Maß für den Grad der Anreicherung während der Kompostierung darstellt. Weder mögliche Neubildung, noch Abbau während des Rottevorganges werden dabei berücksichtigt.

Wie die obige Formel weiterhin zeigt, ergibt sich dieser Faktor aus einer Hyperbelfunktion, die bei Werten nahe 100 % Glühverlust gegen ∞ strebt.

Abbildung 1 zeigt, daß der Faktor bei Glühverlusten > 90 %, wie sie bei den hier behandelten Matrices oft vorkommen, extrem ansteigt.

Abbildung 1



Bei Proben mit Glühverlusten > 98 % ist eine Abschätzung des Einschleppungspotentiales nicht mehr sinnvoll, da dann z.B. Analysenergebnisse nahe der Nachweisgrenze mit Faktoren von 35 und mehr multipliziert werden, wodurch die Sicherheit des normierten Analysenergebnisses stark in Zweifel zu ziehen ist.

Die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials für die Kompostierung von Biomüll ist über das Jahr hinweg schwankend. Eine Momentaufnahme für Jan./Feb. 1995 zeigt Tabelle 3. In Abbildung 2 wurde unter Zugrundelegung dieser Werte und Berücksichtigung eines Zuschlags von 40 % Häckselgut vor der Kompostierung eine für Jan./Feb. übliche Ausgangslage simuliert.

Tabelle 3

Fraktion	Gewichtsanteil [% TS]
Häcksel	3,0
Südfrüchte	10,8
Kaffee + Filter	10,0
Teebeutel	0,5
Fleisch	7,9
sonstiger Küchenabfall	47,9
Küchenabfall gesamt	77,2
Papier normal	7,4
Papier bunt*	1,8
Papier Hygiene	5,8
Papier gesamt	14,9

Fraktion	Gewichtsanteil [% TS]
Kunststoff*	1,4
Textilien*	1,3
Metall*	0,8
Zigaretten*	0,2
Windeln/Binden*	0,2
Glas*	0,4
Staubsaugerbeutel	0,1
Laub	0,1
Inert	0,1
Gras	0,0
Summe	100,0

* = Störstoffe

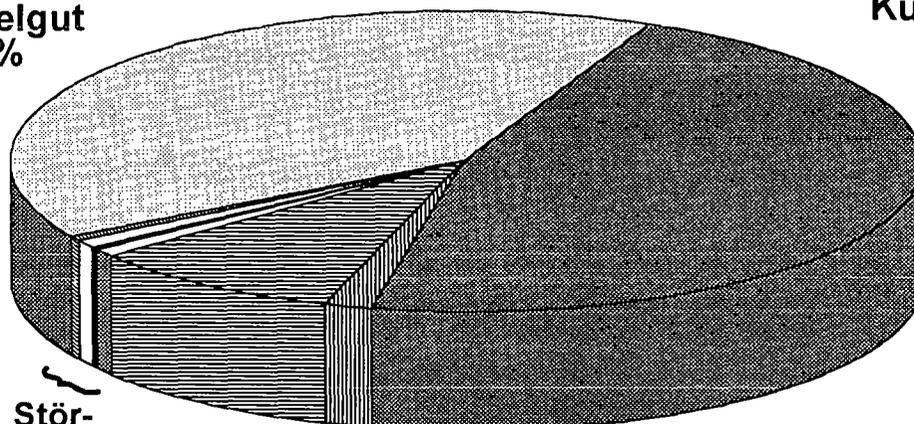
Zusammensetzung des Kompostinputs im Winter*

*Müllanalyse von 40 sortierten Bioabfalltonnen

Berücksichtigt ist eine Zumischung von 30-50 % Häckselgut durch die Kompostwerkbetreiber

Häckselgut
40 %

Küchenabfall
47 %



Stör-
stoffe

Papier
9 %

Gartenabfall
2 %

Störstoffe:
0,86 % Kunststoff
0,75 % Textilien
0,47 % Metall
0,25 % Glas
0,09 % Windeln
0,07 % Inertes
2,51 % Gesamt

Bewertung der Ergebnisse

Einschätzung potentieller Einschleppungsquellen für PCDD/F

Die analytisch ermittelten PCDD/F Konzentrationen der Probenmatrices liegen vor der Normierung auf 30 % Glühverlust im allgemeinen sehr niedrig (Tabelle 4). Um den aktuellen Orientierungswert des Komposterlasses zu überschreiten, muß eine Probe einerseits einen Ausgangsdioxingehalt von ca. 2,5 ng/I-TEQ/kg und zusätzlich einen Glühverlust > 90 % aufweisen. Hier sind zwei Ausnahmen auffällig:

1. **Holzproben** weisen immer Glühverluste > 99 % auf. Aufgrund der daraus resultierenden, großen Normierungsfaktoren, mit denen die Analysenergebnisse multipliziert werden, kann eine Aussage über Holz als Eintragsquelle nur größenordnungsmäßig, bzw. nach der Durchführung von Holzkompostierungsversuchen gemacht werden.
2. **Laubproben** weisen durchweg bereits vor der Normierung hohe PCDD/F-Konzentrationen auf.

Die Ergebnisse der PCDD/F-Analysen lassen sich ansonsten zu eindeutigen Aussagen zusammenfassen:

- **Gras**, welches als Inputmaterial fast das ganze Jahr über in nennenswerten Mengen anfällt, ist grundsätzlich sehr gering belastet. Straßennähe ist von eher untergeordneter Bedeutung. Die Kongenerenverteilung der PCDD/F zeigt, daß Deposition hier die Haupteintragsquelle ist. Vergleichsmessungen am Standort Hornisgrinde (Schwarzwald) zeigten sowohl erhöhte Depositionswerte¹, als auch hohe PCDD/F-Konzentrationen im Gras. Das PCDD/F-Verteilungsmuster von Gras ist in Abbildung 3 wiedergegeben.
- **Laub** kann als Inputmaterial bei Herbst- und Winterkomposten eine nennenswerte Rolle als PCDD/F-Quelle spielen. Fast 60 % der untersuchten Laubproben überschritten den Orientierungswert von 17 ng I-TEQ/kg ganz erheblich. Nur ca. ¼ der Proben wies Gehalte < 10 ng I-TEQ/kg auf. Die Kongenerenverteilung der PCDD/F in den Laubproben weist im Gegensatz zu den Grasproben ein typisches „Luftmuster“ auf (Abbildung 4). Laub erwies sich durch seine wachshaltige Oberflächenbeschaffenheit als hervorragender Passivsammler für luftgetragene organische Schadstoffe. Wie auch beim Gras scheint die direkte Straßennähe seit Inkrafttreten der 19. BImSchV (Scavengerverbot) keinen Einfluß auf den PCDD/F-Gehalt zu haben. Vielmehr ergibt sich eine Differenzierung zwischen besiedlungs/industrienahen und ländlichen Gebieten. Diese Aussagen sind auch auf die PCB übertragbar (Abbildungen 7 und 8).
- **Küchenabfälle** haben den Hauptanteil an der zur Kompostierung gelangenden Biomasse. Die Gehalte dieser Proben an PCDD/F lagen sehr nieder. Auch nach Normierung auf 30 % Glühverlust ist glücklicherweise davon auszugehen, daß Küchenabfälle einen wesentlichen Verdünnungsfaktor für Schadstoffeinträge über andere Fraktionen darstellen. Dafür spricht, daß die Kongenerenverteilung der PCDD/F in Küchenabfällen fast identisch mit der Verteilung in Kompost ist. (Abbildungen 5 und 6). Aus dieser Kongenerenverteilung läßt sich ebenfalls

¹ Wallenhorst, Th., unveröffentlichte Ergebnisse.

schließen, daß Laub, wie bereits erwähnt, als Einschleppungsquelle für PCDD/F in Biokompost eine eher untergeordnete, höchstens im Winter relevante Rolle spielt.

- **Garten- und Friedhofabfälle** machen neben den Küchenabfällen das zweite Hauptkontingent des Biomüllinputs aus. Es sind zwar Tendenzen zu erkennen, daß Pflanzen mit wachshaltiger Oberfläche oder starker Behaarung und dadurch vergrößerter Oberfläche stärker belastet sind als die übrigen Grünpflanzen, insgesamt kommt diesem Kontingent jedoch trotzdem nur eine untergeordnete Rolle als Eintragspfad für PCDD/F zu. Es waren mit einer Ausnahme nur Proben von Standorten mit außergewöhnlicher Depositionsbelastung, die Werte über 10 ng I-TEQ/kg zeigten. Das Verteilungsmuster entspricht weitgehend dem auch in Gras vorgefundenen (siehe Abbildung 3). Garten- und Friedhofabfälle können damit ebenfalls als Verdünnungsfaktoren für andere Eintragsquellen betrachtet werden.
- **Holz** kann demgegenüber teilweise enorme Mengen PCDD/F einschleppen. Hier ist weniger an unbehandelte Naturhölzer zu denken, als an behandelte Spanplatten, Furniere und anderweitig beschichtete Hölzer, in denen PCDD/F als Folge einer Pentachlorphenolbehandlung zu finden ist. Gewährt man den Analysenergebnissen ein großzügiges Vertrauensintervall von $\pm 30\%$, so errechnet sich nach der Normierung eine Bandbreite von 276-1000 ng/kg, bezogen auf 30% GV. D.h. der Fehlwurf einer behandelten Spanplatte mit 1 kg Gewicht kann - setzt man eine geringe Grundbelastung von 1 ng/kg I-TEQ für das Inputmaterial voraus - 17 bis 60 kg Kompost über den Grenzwert „katapultieren“.
- **Papier**, sofern es sich um Zeitungs- oder Filterpapier handelt, wird, den Ratschlägen mancher Kommunen folgend, als Knüllpapier dem Biomüll bei hohen Wassergehalten beigegeben. Die PCDD/F Gehalte in Zeitungspapier bewegen sich nach Umrechnung auf 30% Glühverlust zwischen 4 und 11 ng I-TEQ/kg, in Filterpapier sind sie $< 0,5$ ng I-TEQ/kg.
- **Windeln** sind ebenfalls praktisch frei von PCDD/F. Nur einige Kongenere lassen sich dicht an der Nachweisgrenze, bzw. in der Größenordnung von Blindwerten nachweisen.
- **Rinde** und Rindenmulch, bei der Kompostierung oft als Abdeck- und Strukturmaterial eingesetzt, ist größtenteils niedrig belastet.
- **Stroh** zeigte, wie aufgrund der geringen Pflanzenoberfläche und der kurzen Expositionszeiträume nicht anders zu erwarten, nur geringe PCDD/F Gehalte.
- **Straßenkehrriecht/Staub** der an straßennah wachsenden Pflanzen anhaften kann, wurde getrennt untersucht (aus Straßenkehrmaschinen und als Wischproben von Autotunnelwänden) und hat sich als viel geringer belastet erwiesen als von uns bisher angenommen. Dies bestätigen auch Ergebnisse anderer Mitarbeiter^{2,3}. Die gefundenen Konzentrationen bewegen sich zwischen 1,1 (Straßenkehrriecht) bis 20,7 (Tunnelwand) ng I-TEQ/kg.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde durch einen Untersuchungsauftrag der Landes Baden-Württemberg gefördert.

² Mahnke, K., Diplomarbeit, Tübingen (1994).

³ Walczok, M., Diplomarbeit, Tübingen (1994).

Abbildung 3

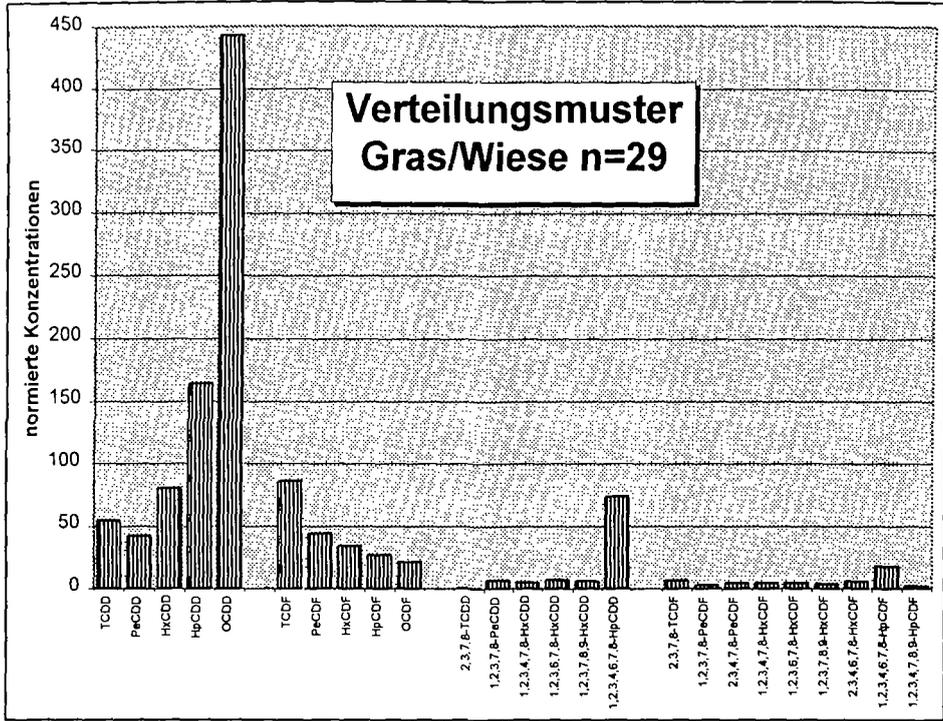


Abbildung 4

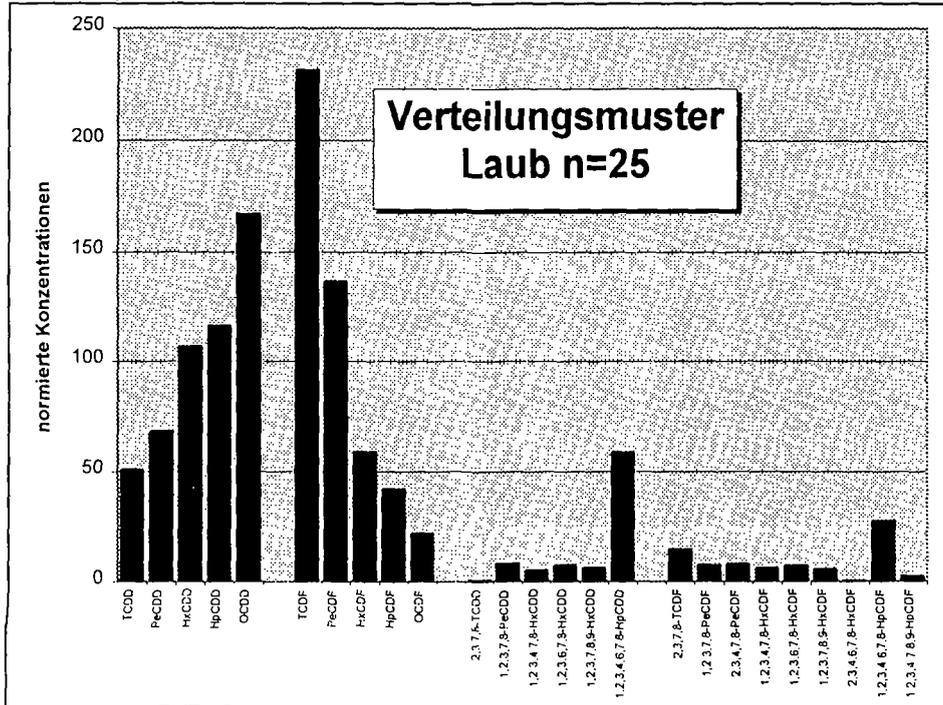


Abbildung 5

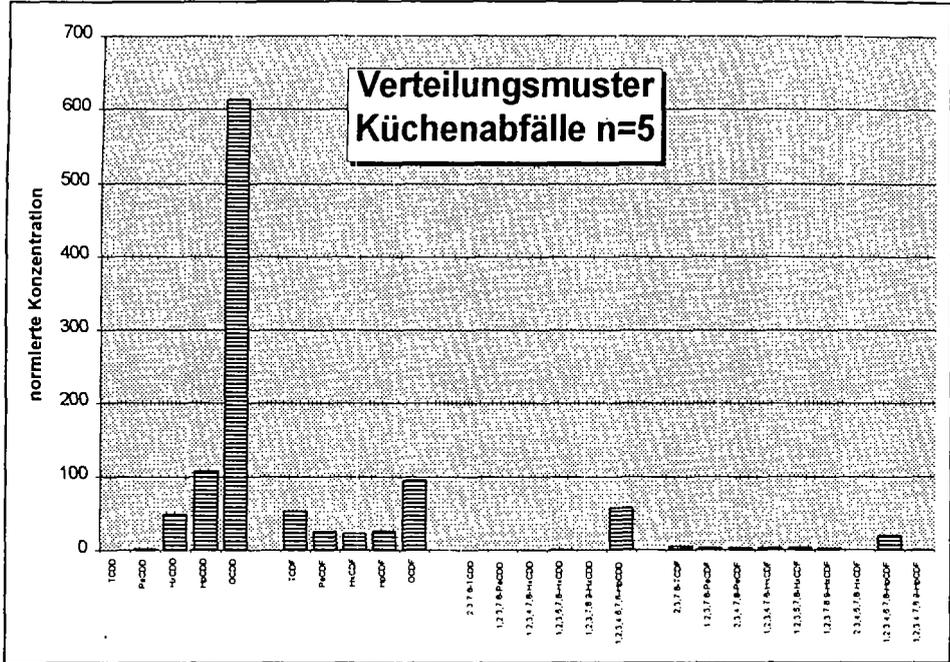


Abbildung 6

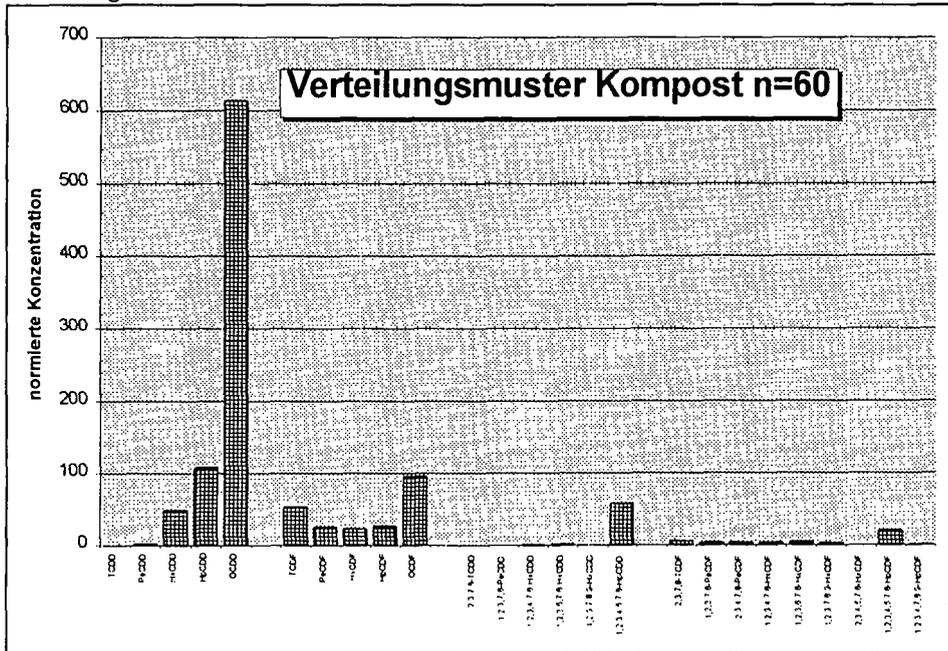


Abbildung 7

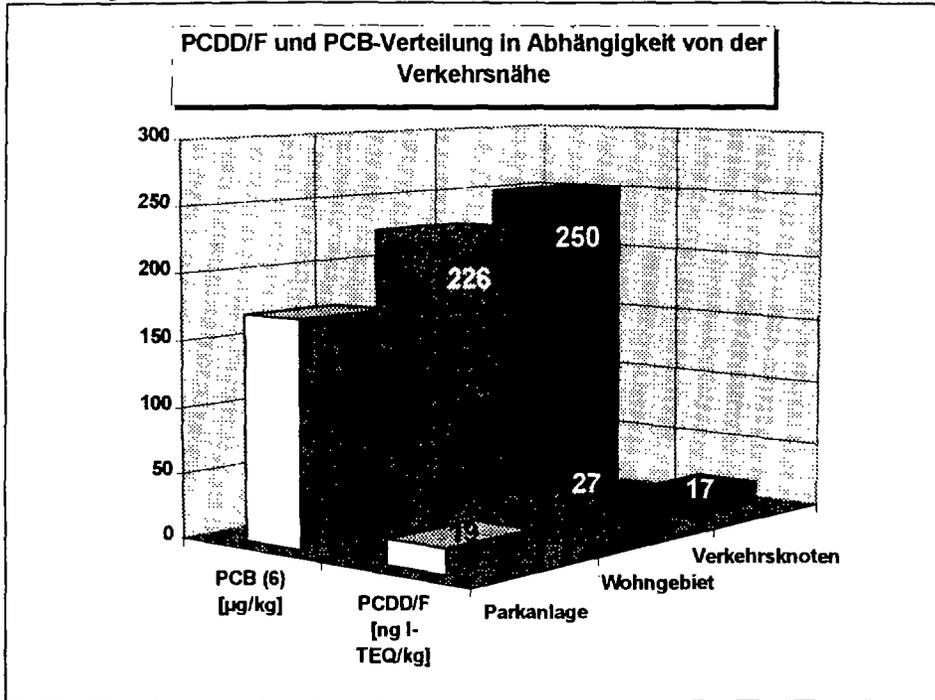


Abbildung 8

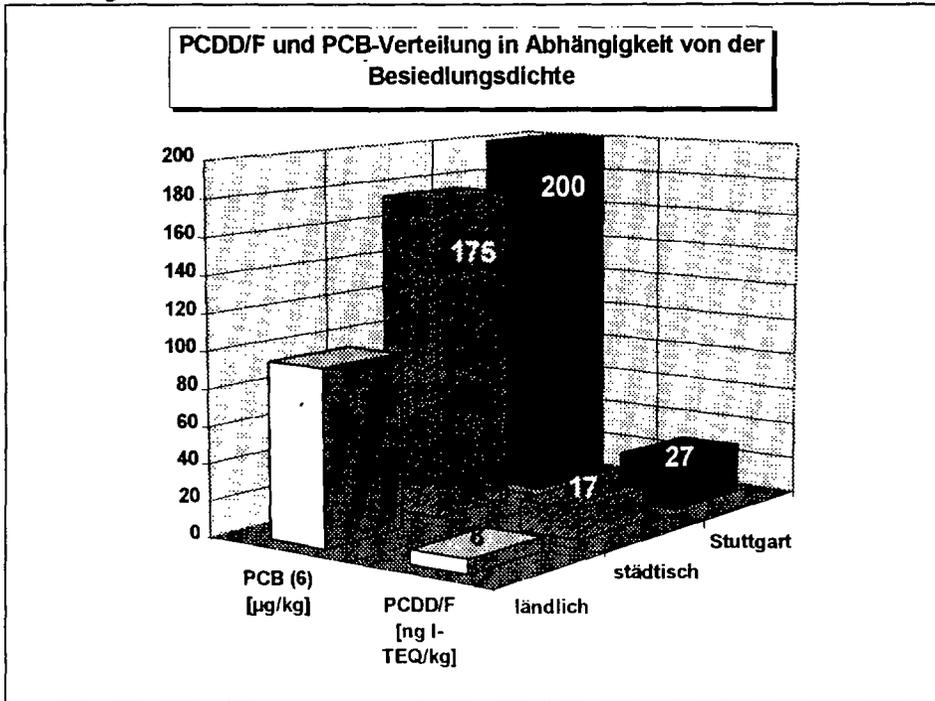


Tabelle 4

Gras	I-TEQ [ng/kg TS]	Glühverlust [%]	I-TEQ [ng/kg TS/30 % GV]
Mittelwert	1,3	86,3	13,5
MIN	0,1	57,8	0,9
MAX	4,7	97,7	133,9
Median	0,7	87,3	3,5

Laub	I-TEQ [ng/kg TS]	Glühverlust [%]	I-TEQ [ng/kg TS/30 % GV]
Mittelwert*	3,9	84,0	22,4
MIN	2,2	48,7	4,8
MAX	9,5	93,4	69,1
Median*	3,7	86,3	19,3

Gartenabfälle	I-TEQ [ng/kg TS]	Glühverlust [%]	I-TEQ [ng/kg TS/30 % GV]
Mittelwert	0,9	87,6	6,1
MIN	0,2	33,4	0,9
MAX	4,1	96,4	28,0
Median	0,4	91,9	4,7

Küchenabfälle	I-TEQ [ng/kg TS]	Glühverlust [%]	I-TEQ [ng/kg TS/30 % GV]
Mittelwert	0,4	89,2	2,8
MIN	0,1	84,9	1,7
MAX	0,5	98,1	5,3
Median	0,4	86,9	2,6

Straßenstaub	I-TEQ [ng/kg TS]	Glühverlust [%]	I-TEQ [ng/kg TS/30 % GV]
Mittelwert	7,6	8,0	6,1
MIN	1,5	2,0	1,1
MAX	24,1	18,6	20,7
Median	7,1	5,5	4,1

Behandelte Hölzer	I-TEQ [ng/kg TS]	Glühverlust [%]	I-TEQ [ng/kg TS/30 % GV]
Mittelwert	7,3	99,0	571,7