



Josef Waltisberg

**Die neuen Vorschriften über die organischen
Emissionen in der Schweizer Luftreinhalteverordnung
(Version 2016)
Eine gefährliche Regelung für die Umwelt**

Josef Waltisberg

21.08.2018/04.05.2019
(JW-18-HP01)

Dieser Bericht wurde am 21.08.2018 an die damalige Bundesrätin Leuthard geschickt. Sie hat ihn ans BAFU weitergeleitet. Von diesem Amt bekam ich telefonisch von einem Herrn Müller die Nachricht, dass man der Sache nachgeht. Seither habe ich nichts mehr gehört!

04.05.2019

Zusammenfassung

In der Revision der Luftreinhalteverordnung, die am 1. Januar 2016 in Kraft getreten ist, wurden die Emissionen von organischen Substanzen für Zementwerke neu geregelt und ein Grenzwert von 80 [mg/m³] für flüchtige organische Emissionen eingeführt. Im Weiteren wurde der seit 1990 in Deutschland und 2000 in Europa eingeführte Grenzwert für polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane („Dioxine“) endlich auch in die Schweizer Verordnung übernommen.

Das BAFU begründet den Grenzwert von 80 [mg/m³] mit der Möglichkeit, dass in allen Schweizer Zementwerken belastete Böden bzw. kontaminiertes Erdreich als Rohmaterialersatz eingesetzt werden kann. Vergessen wird aber, dass damit auch Emissionen aus Abfällen aus der Sekundärfeuerung zugelassen werden.

Deutschland und auch Europa haben einen Grenzwert von 10 [mg/m³] und erlauben eine Anpassung des Wertes durch die Behörden für Zementwerke, deren organische Emission aus den Rohmaterialien (Kalkstein, Mergel, ...) höher sind. Es wird aber klar

festgelegt, dass diese erhöhten organischen Emissionen nicht aus der Verbrennung von Abfällen stammen dürfen.

Mit den Emissionswerten des Werkes der Jura Cement AG in Wildegg wird gezeigt, dass dort die flüchtigen organischen Emissionen aus der Abfallverbrennung in der Sekundärverbrennung stammen. Im Weiteren wird festgestellt, dass sich aus dieser Verbrennung sich auch die krebserzeugende Verbindung Benzol entwickelt. Dabei wird nicht nur der Grenzwert zum Teil massiv überschritten, sondern auch das Minimierungsgebot der Luftreinhalteverordnung verletzt.

In der ebenfalls angepassten Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA; Stand am 1. Januar 2018) wurden Grenzwerte für organische Stoffe von sogenannten Rohmehlersatzmaterialien definiert, also für Stoffe, welche dem Rohmaterial zugemischt werden dürfen. Wie die Erfahrung zeigt, sind die meisten der aufgeführten Stoffe jeweils nur leicht in den Grundmaterialien eingebunden (Beispiel: belastete Böden), verdampfen schon beim Aufheizvorgang im Zementofen und werden an die Umgebung emittiert. Noch gefährlicher sind aber Stoffe wie polyzyklische Biphenyle, etc. Sie sind Vorläufersubstanzen der Dioxine und gelangen über das Rohmaterial in eine kritische Temperaturzone für die Bildung dieser äusserst giftigen Verbindungen. In den Werken der Jura Cement in Wildegg und der Holcim in Untervaz wurden 2015 Überschreitungen des erst 2016 eingeführten Grenzwertes festgestellt.

Mit den neuen Regelungen geht die Schweiz einen sehr gefährlichen Weg, erlaubt organische Emissionen aus der Abfallverbrennung, riskiert hohe Dioxin-Emissionen, etc. Das BAFU spricht von „*geringeren Mehremissionen in die Luft*“ und begründet diesen Entsorgungsweg mit einer „*gesamtheitlichen Ressourcenbetrachtung*“.

„*Geringe Mehremissionen*“ von krebserzeugenden Stoffen wie Benzol oder Dioxine dürfen auf keinen Fall toleriert werden. Die entsprechenden Materialien müssen entsprechend eingesetzt werden, wie es im Bericht gezeigt wird.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Einleitung.....	4
2. Emission von flüchtigen organischen Verbindungen und von Benzol	5
2.1 Ursache der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen und Benzol	6
2.1.1 Hauptfeuerung	6
2.1.2 Sekundärverbrennung	7
2.1.3 Rohmaterial.....	8
2.2. Gesetzliche Regelungen	10
2.2.1 Flüchtige organische Verbindungen.....	10
2.2.2 Benzol.....	12
2.3 Die VOC- und Benzol-Emissionen im Werk Wildegg.....	12
3. Emission von Dioxinen	13
3.1 Gesetzliche Regelung der Emission von Dioxinen	15
3.1.1 Grenzwerte	15
3.1.2 Falsche Interpretation von Dioxin-Emissionswerte	15
3.2 Entstehung von Dioxinen.....	16
3.2.1 Entstehung von kritischen Substanzen – Zwei Beispiele	16
3.2.2 Die gefährliche Schweizer Regelung	19
3.2.3 Überwachung der Emissionen	21
3.2 Der frühere „Dioxin-Fall“ im Werk Untervaz.....	22
3.3 Beurteilung der „Dioxin-Fälle“ in Wildegg und Untervaz	22
3.3.1 Die Werte des Jahres 2015.....	22
3.3.2 Keine alternative Rohmehlkomponenten ins Rohmaterial!	23
Literatur	24

1. Einleitung

Die Schweiz hat am 16. Dezember 1985 die Luftreinhalteverordnung (LRV) /Lit.1/ eingeführt und diese im Laufe der Jahre immer wieder den steigenden Anforderungen angepasst. In der Revision, die am 1. Januar 2016 in Kraft getreten ist, wurden die Emissionen von organischen Substanzen für Zementwerke neu geregelt und auch ein Grenzwert für polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane, im Folgenden Dioxine genannt, eingeführt.

Das BAFU schreibt dazu /Lit.3/:

Neu wird in Anhang 2 LRV ein Emissionsgrenzwert von 80 mg/m³ eingeführt. Dieser Grenzwert ist so gewählt, dass in allen Schweizer Zementwerken belastete Böden bzw. kontaminiertes Erdreich als Rohmaterialersatz eingesetzt werden kann. Das bedingt zwar geringere Mehremissionen in die Luft, dieser Entsorgungsweg ist aber unter einer gesamtheitlichen Ressourcenbetrachtung gewünscht und in gewissen Fällen beispielsweise einer Deponierung oder anderweitigen Behandlung vorzuziehen.

In diesem Bericht wird aufgezeigt, dass die Schweiz hier einen gefährlichen Weg geht und Auswirkungen auf die Umwelt zulässt. Im Gegensatz erlaubt Europa (EU) und Deutschland keine organischen Mehremissionen aus Abfällen.

Bis anhin wurden vom Verband der Schweizerischen Zementindustrie (cemsuisse) in seinen Jahresberichten /Lit.9/ neben der Emission von Kohlendioxid nur die jene der Stickoxide (NO_x) angegeben. Der Schweizer Bürger hatte so nur wenige Informationen über die Emission der Schweizer Werke. Das hat sich mit der Aarhus-Konvention /Lit.4/, welche die Schweiz ratifiziert hat und entsprechende Änderungen im Umweltschutzgesetz (USG) /Lit.5/ vorgenommen hat, geändert. Heute kann der Bürger Umweltinformationen von den Behörden verlangen.

USG, Art. 10g Öffentlichkeitsprinzip bei Umweltinformationen

1 Jede Person hat das Recht, in amtlichen Dokumenten enthaltene Umweltinformationen sowie Informationen im Bereich der Energievorschriften, die sich auch auf die Umwelt beziehen, einzusehen und von den Behörden Auskünfte über den Inhalt dieser Dokumente zu erhalten.

Die Emissionen der Jahre 2014, 2016 und 2016 der sechs Schweizer Werke wurden von den Kantonen angefordert und ausgewertet. In diesem Bericht wird nur auf die organischen Emissionen eingegangen und die Konsequenzen der neuen Regelungen in der Luftreinhalteverordnung Version 2016 aufgezeigt.

2. Emission von flüchtigen organischen Verbindungen und von Benzol

Im Werk der Jura Cement in Wildeggen wurden sehr hohe Emissionen an flüchtigen organischen Verbindungen und vor allem hohe Emissionen des krebserzeugenden Benzols festgestellt. Die Grenzwerte wurden dabei zum Teil massiv überschritten, wie die nachfolgende Tabelle 01 zeigt.

TABELLE 01: Auswertung der Emissionen 2016 und 2017

Ausgewertete Emissionsdaten	Ab Mai 2016		2017	
	Gesamt-C	Benzol	Gesamt-C	Benzol
Grenzwert	80	5	80	5
Anzahl Überschreitungen des Grenzwertes (Tagesmittelwert)	35	39	113	172
Überschreitung des 2-fachen Grenzwertes (Stundenmittelwerte)	0	94	0	687
Überschreitung des 1.2fachen Grenzwertes (Stundenmittelwerte)	1.77 [%]	10.7 [%]	0 [%]	32.7 [%]

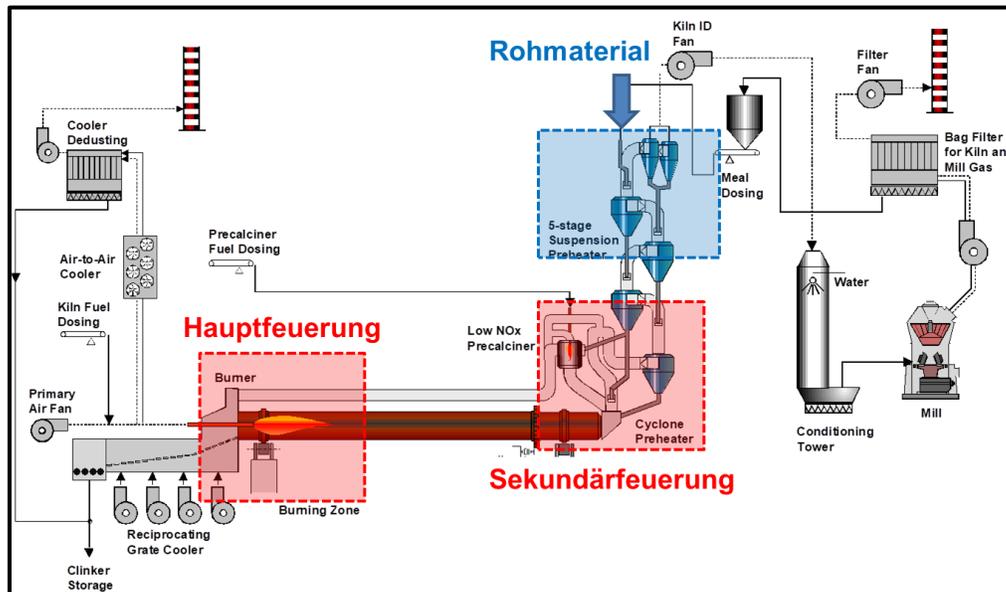
Anmerkung: Alle Konzentrationen in diesem Bericht werden gemäss den Regeln der Luftreinhalteverordnung und den Europäischen Regeln angegeben.

- Normalbedingungen: 0 [°C], 1013 [mbar]
- trockenes Abgas
- Referenzsauerstoffgehalt 10 [vol-%]

2.1 Ursache der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen und Benzol

Flüchtige organische Verbindungen und Benzol können im Zementofen an drei Stellen entstehen, nämlich in der Hauptfeuerung, in der Sekundärfeuerung und aus dem Rohmaterial.

FIGUR 01: Schema eines Zementofensystems



2.1.1 Hauptfeuerung

Die maximale Temperatur in der Flamme der Hauptfeuerung liegt bei etwa 2000 [°C] und im Drehteil des Ofens bleibt das Gas mindestens 5 bis 6 Sekunden auf einer Temperatur über 1100 [°C]. Wegen der Klinkerqualität muss zudem die Verbrennung im Bereich der Brennzone mit Luftüberschuss betrieben werden. Eigene Untersuchungen am Ofeneinlauf (Übergangsteil Drehofen/Vorwärmer) an mehreren Öfen haben ergeben, dass alle organischen Substanzen der Hauptflamme oxidiert wurden und keine organischen Verbindungen, insbesondere keine chlorierten organischen Verbindungen, nachgewiesen werden konnten. Zum gleichen Schluss kommt auch der VDZ /Lit.8A/. Allerdings stimmt dies nur für die Hauptflamme und nicht für die Sekundärverbrennung, was der VDZ aber nicht erwähnt bzw. verschweigt.

Die Abgaskonzentrationen von CO und organisch gebundenem Kohlenstoff sind bei Energieumwandlungsanlagen, wie z. B. Kraftwerken, ein Mass für den Ausbrand der eingesetzten Brennstoffe. Der Klinkerbrennprozess ist dagegen ein Stoffumwandlungsprozess, der aus Gründen der Klinkerqualität stets mit Luftüberschuss betrieben werden muss. In Verbin-

dung mit den langen Verweilzeiten bei hohen Temperaturen führt dieses praktisch zu einem vollständigen Brennstoffausbrand.

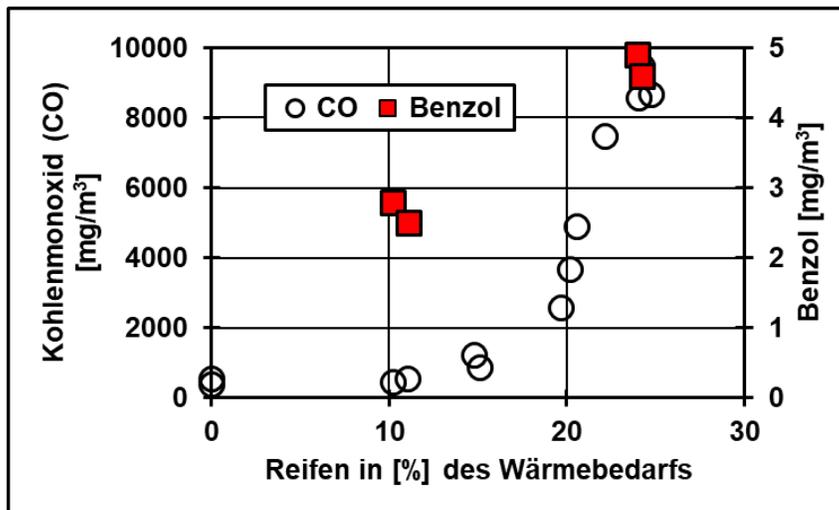
2.1.2 Sekundärverbrennung

In einer Sekundärverbrennung herrschen Temperaturen zwischen etwa 850 und 1100 [°C]. In vielen Zementofensystemen werden in dieser Sekundärverbrennungszone auch lokal reduzierende Bedingungen geschaffen um die aus dem Dreiteil kommenden Stickoxide teilweise zu reduzieren. Es zeigt sich aber, dass vor allem bei stückigen Brennstoffen (z.B. Reifen, Holz, etc.) die Nachoxidation der in dieser Zone entstandenen Verbindungen oft ungenügend ist und Kohlenmonoxid und organische Verbindungen emittiert werden. In diesem Fall muss entweder die Verteilung der Verbrennungsluft geändert werden oder weniger Brennstoff sekundär aufgegeben werden.

Untersuchung einer Reifenaufgabe

In einer der ersten Reifenverbrennungen in Deutschland, Mitte der 80er Jahre, stellte man fest, dass sich die Kohlenmonoxid-Emission mit der Anzahl Reifen bzw. dem Anteil der Reifen am Wärmebedarf des Ofens stark änderte.

FIGUR 02: Reifenverbrennung



Es wurde vor allem ein massiver Anstieg der Emission zwischen etwa 15 und 20 [%] des Wärmebedarfs festgestellt. Man vermutete auch einen Anstieg der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und von Benzol. Man entschloss sich nur zwei kurze Messungen der Benzolemission mit Kohleröhrchen (Absorption eines Teilgasstromes an Aktivkohle) zu machen. Der Verdacht bestätigte sich. Die Benzol-Emission, die später genauer gemessen wurde, lag bei 2.5

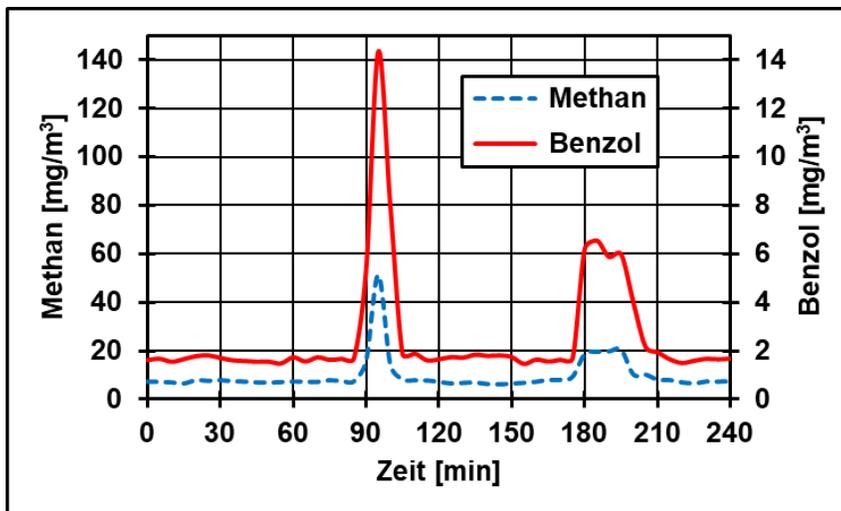
bis 3.5 [mg/m³] bei kleiner (< 15 [%]) oder bei keiner Reifenaufgabe. Dieser Anteil stammte nicht aus den Reifen, sondern aus den Rohmaterialien. Die Emission stieg aber bei einer Reifenaufgabe um 20 [%] des Wärmebedarfs auf etwa 4.5 bis 5.5 [mg/m³].

Überfütterungsversuch

In einem späteren Versuch in einem anderen Werk wurde das Problem der Reifenstörung untersucht. Es kommt immer wieder vor, dass die automatischen Reifenaufgaben der Werke blockiert werden. Dann werden Reifen von Hand entfernt und teilweise einfach wieder auf das Transportband geschmissen. Dabei gelangen oft kurzfristig zu viele Reifen ins Ofensystem.

In einem kurzen Versuch wurde „diese Überfütterung“ studiert. Mit dem kontinuierlich messenden Massenspektrometer konnte in diesem Werk nachgewiesen werden, dass bei normaler Reifenaufgabe keine zusätzlichen Emissionen aus der Sekundärfeuerung stammten. Die Ursache der organischen Emissionen waren wiederum organische Verbindungen der Rohmaterialien. Bei der „Überfütterung“ mit Reifen stiegen insbesondere die organischen Komponenten Methan und Benzol stark an.

FIGUR 03: Überfütterungsversuch



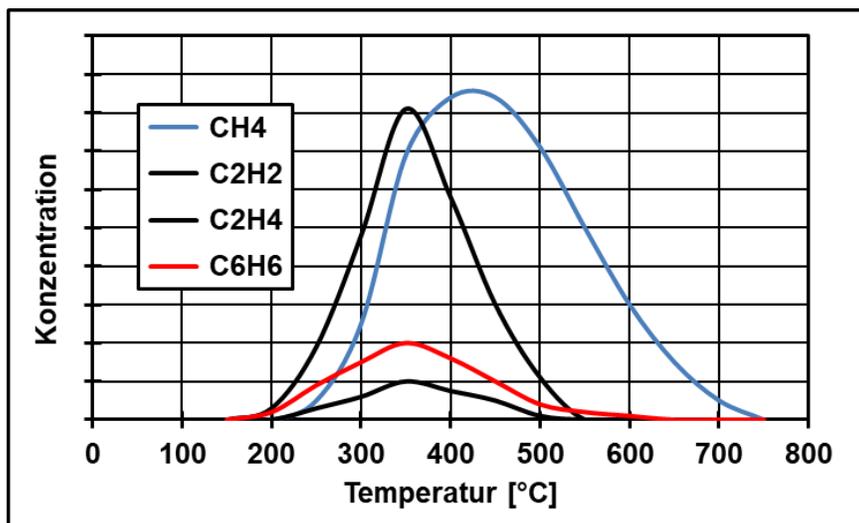
2.1.3 Rohmaterial

Hier muss man unterscheiden zwischen dem „natürlichen“ Rohmaterial (Kalkstein, Mergel, ...) und dem alternativen Rohmaterial (Abfall-basierte Rohmaterialien), welche z.B. durch organischen Verbindungen kontaminiert sind.

Natürliches Rohmaterial / natürliche Rohmaterialkomponenten

Die natürlichen Bestandteile des Rohmaterials (Kalkstein, Mergel, ...) besitzen auch organische Verbindungen, die aus pflanzlichem und tierischen Ursprungs stammen und vor einigen Millionen Jahren in diese Materialien eingelagert wurden. Wenn das Rohmehl (gemahlenes Rohmaterial) im Wärmetauscher aufgeheizt wird, dann werden diese Verbindungen ausgetrieben, wobei ein „Cracken“ (spalten) der Verbindungen stattfindet. Das heisst im Rohmehl kann man zum Beispiel kein Benzol nachweisen, es entwickelt sich erst beim Aufheizen des Materials. In der Figur 04 dargestellt ist die Entwicklung von vier verschiedenen organischen Verbindungen aus einem Rohmehl. Gemessen wurde dieses Verhalten mit dem sogenannten Austreibungsversuch /Lit.10/.

FIGUR 04: Entwicklung von organischen Komponenten aus einem Rohmehl mit dem Austreibungsversuch



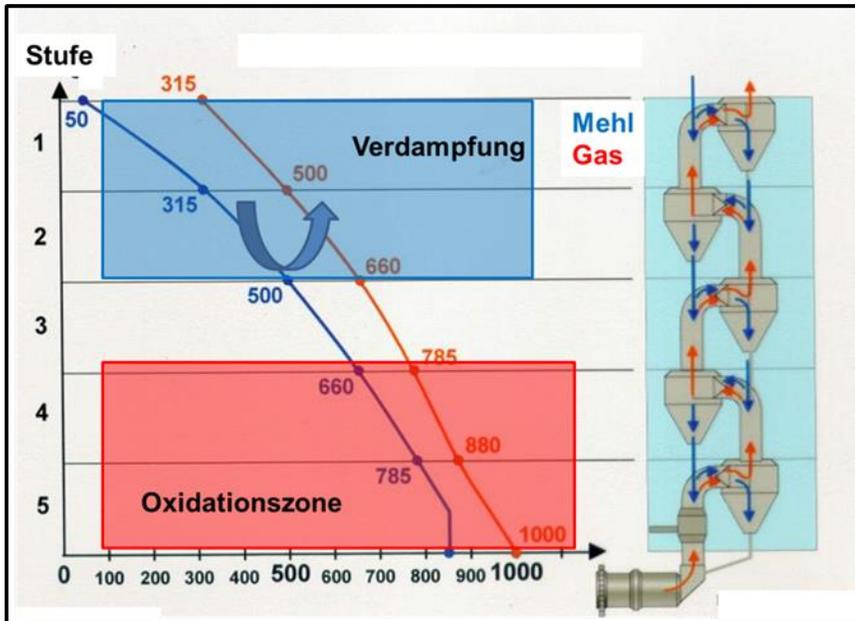
Die Gesteinsmischungen des Schweizer Juras verursachen, ohne alternative Komponenten, etwa folgende Emissionen:

- Flüchtige organische Verbindungen: 20 bis maximal 40 [mgC/m³]
- Benzol: 2 bis maximal etwa 4 [mg/m³]

Alternatives Rohmaterial / alternative Rohmaterialkomponenten

In Gegensatz zu den natürlichen Rohmaterialien sind in alternativen Rohmaterialkomponenten organische Verbindungen in der Regel nur leicht im Material adsorbiert, wobei es sich zum Teil auch um recht kritische Verbindungen handeln kann. Typisch sind wohl belastete Böden bzw. kontaminiertes Erdreich. Die enthaltenen organischen Verbindungen verdampfen in der Regel schon bei geringen Temperaturen unter 400 [°C] und werden nicht oxidiert, denn sie erreichen niemals eine Temperaturzone, wo dies geschehen könnte.

FIGUR 05: Verhalten von alternativen Rohmaterialien mit leicht gebundenen organischen Verbindungen



2.2. Gesetzliche Regelungen

2.2.1 Flüchtige organische Verbindungen

Schweiz

In der Luftreinhalteverordnung hat die Schweiz einen Grenzwert für flüchtige organische Verbindungen (Gesamt-C) von 80 [mg/m³] eingeführt. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) /Lit.3/ begründet die Höhe diesen Grenzwert, dass:

... in allen Schweizer Zementwerken belastete Böden bzw. kontaminiertes Erdreich als Rohmaterialersatz eingesetzt werden kann.

Vergessen hat man aber, dass mit dieser Regelung auch organische Emissionen aus der Verbrennung von Abfällen in der Sekundärfeuerwerk zugelassen werden, wie nachfolgend das Beispiel des Werkes Wildegg zeigt. .

Deutschland

In Deutschland ist dieser Grenzwert in der 17. BImSchV /Lit.6/ definiert und liegt bei 10 mg/m³, allerdings ist eine Ausnahmeregelung zu beachten.

Die zuständige Behörde kann auf Antrag des Betreibers Ausnahmen für ... Gesamtkohlenstoff genehmigen, sofern diese Ausnahmen auf Grund der Zusammensetzung der natürlichen Rohstoffe erforderlich sind und ausge-

geschlossen werden kann, dass durch den Einsatz von Abfällen ... zusätzliche Emissionen an Gesamtkohlenstoff ... entstehen.

Die Europäische Regelung /Lit 7A und 7B/ entspricht der deutschen Regelung, d.h. der Grenzwert ist gleich und es ist auch eine entsprechende Ausnahmeregelung definiert.

Die TA Luft 2002 (TA Luft, 2002) /Lit.13/ berücksichtigt die Möglichkeit der Emission von organischen Stoffe durch verunreinigte Rohstoffe. In Ziffer 5.4.2 Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe heißt es unter Ziffer 5.4.2.3 Anlagen der Nummer 2.3 für Anlagen zur Herstellung von Zementklinker oder Zementen, soweit ausschließlich Brennstoffe der Nummer 1.2 verwendet werden:

„ORGANISCHE STOFFE - ... Soweit Abfälle mit relevanten Gehalten an organischen Inhaltsstoffen als Rohstoffe eingesetzt werden, deren Einsatz nicht in der 17. BImSchV, in der jeweils gültigen Fassung, geregelt ist, soll eine Zugabe über den Ofeneinlauf oder den Calcinator erfolgen

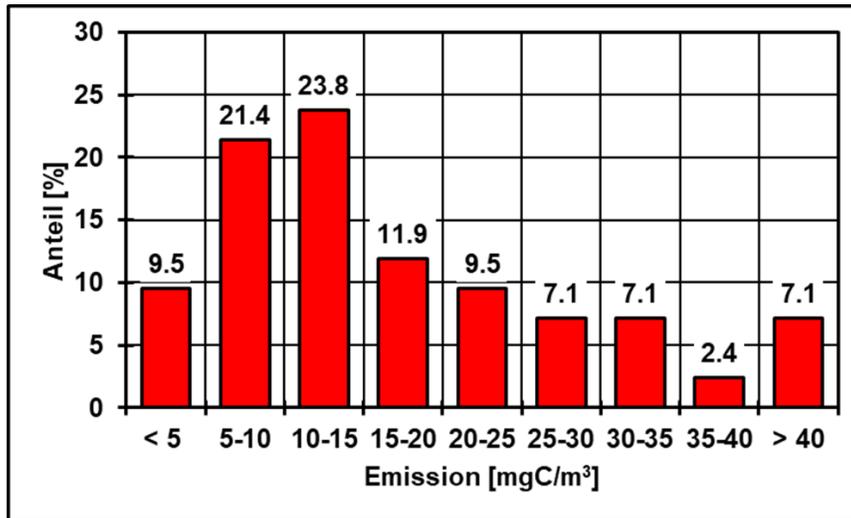
Unterschied Schweiz/Deutschland

Im Gegensatz zu der Schweizer Regelung sind die organischen Emissionen aus dem Rohmaterial und der Verbrennung in Deutschland mit einem tiefen Grenzwert von 10 [mg/m³] limitiert. Zementwerke, welche diesen Grenzwert nicht einhalten, können einen höheren Grenzwert verlangen. Allerdings darf die 10 [mg/m³] übersteigende Emission nicht aus der Verbrennung von Abfällen stammen. Im Weiteren dürfen auch keine Rohmaterialienkomponenten mit relevanten organischen Gehalten zu natürlichen Rohmaterial zugemischt werden. .

Der Verein Deutscher Zementwerke /Lit.8A/ publizierte für 2016 die Messwerte der Konzentration von organischem Gesamtkohlenstoff (ΣC) im Reingas von 36 Drehofenanlagen. In der nachfolgenden Figur sind die einzelnen Messwerte, herausgelesen aus der VDZ-Publikation, in Emissionsklassen (Emission von/bis) aufgeteilt, dargestellt.

Daraus geht hervor, dass mindestens 2/3 der Deutschen Zementwerke höhere Emissionen als 10 [mg/m³] haben. Das heisst, diese Zementwerke können keine alternativen Rohmaterialien mit organischen Verbindungen einsetzen.

FIGUR 06: Emission von flüchtigen organischen Verbindungen in Deutschland (2016)



2.2.2 Benzol

Grenzwerte in der Schweiz und in Deutschland

Für Benzol, das krebserzeugend eingestuft ist, gilt in beiden Ländern und auch in Europa ein Grenzwert von 5 [mg/m³].

Minimierungsgebot für krebserzeugende Stoffe

Krebserzeugende Emissionen sind gemäss Luftreinhalteverordnung Anhang 1, Ziffer 82 „so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.“ Eine ähnliche Regelung findet sich auch in den deutschen und europäischen Vorschriften.

Das heisst, dass man auf einen Brennstoff oder einen Rohmehlersatzstoff zu verzichten hat, wenn die Gefahr besteht, dass krebserzeugende Substanzen emittiert werden. „Geringere Mehremissionen in die Luft“, wie das BAFU /Lit.3/ schreibt, sind also für das krebserzeugende Benzol nicht zulässig.

2.3 Die VOC- und Benzol-Emissionen im Werk Wildegg

Wie die Tabelle 01 zeigt, sind die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen und von Benzol im Werk Wildegg hoch und liegen teilweise deutlich über dem entsprechenden Grenzwert. Beide Emissionen liegen auch deutlich über den zu erwartenden Emissionen aus den natürlichen Gesteinskomponenten Kalkstein und Mergel von 20 bis maximal 40 [mgC/m³] für flüchtige organische Verbindungen (VOC) respektive von 2 bis maximal etwa 4 [mg/m³] für Benzol (vgl. 2.1.3).

Die Komponenten müssen daher entweder aus alternativen Rohmehlkomponenten oder aus der Sekundärverbrennung des Werkes stammen.

Verbesserung der Situation in einem anderen Zementofensystem als Beispiel

Im dargestellten Fall in Deutschland (vgl. 2.1.2 – Untersuchung einer Reifenaufgabe) wurde die Reifenaufgabe sofort auf 15 [%] des Wärmebedarfs reduziert und die fehlende Wärmemenge über die Hauptfeuerung erzeugt. Später, bei einem Umbau des Ofensystems, wurde die Luftverteilung im kritischen Bereich verbessert und es konnte dann eine grössere Menge Reifen eingesetzt werden. Das Beispiel zeigt, dass es Lösungen gibt, welche sofort realisiert werden können. Nachfolgend können dann andere Lösungen realisiert werden, welche aber gewisse Anpassungen am System erfordern.

3. Emission von Dioxinen

Dioxine – oder fälschlicherweise Dioxin (Singular) – werden im allgemeinen Sprachgebrauch und teilweise auch in der Literatur polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF) genannt. Im folgenden Text werden diese Verbindungen als Dioxine bezeichnet.

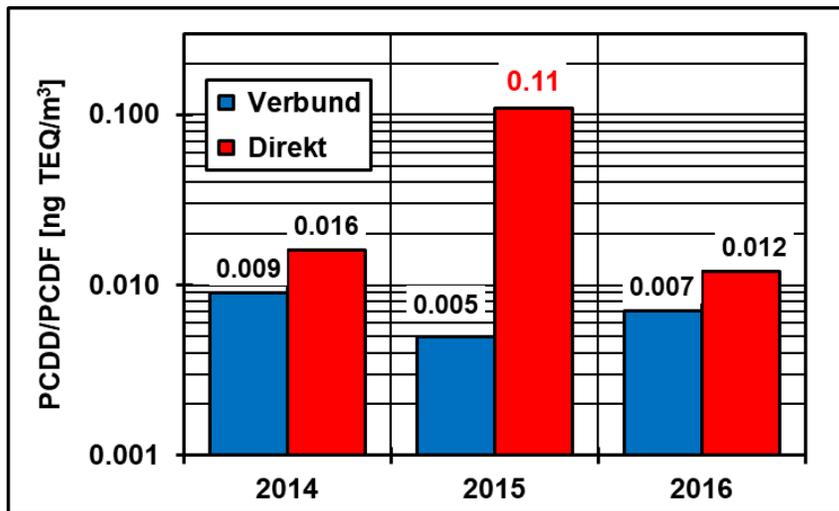
Die Gefahren der Dioxine liegen darin, dass die Verbindungen im Körperfett gespeichert werden, sich dort anreichern und nur sehr langsam eliminiert werden. Das 2,3,7,8 - Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (2,3,7,8 TCDD) ist von der Weltgesundheitsorganisation WHO im Februar 1997 als humankanzerogen (krebserzeugend für den Menschen) eingestuft worden. Andere Dioxine stehen im Verdacht krebserzeugend zu sein. Aus Tierversuchen sind Störungen des Immunsystems und der Reproduktion schon bei sehr niedrigen Dioxinkonzentrationen bekannt.

In den Jahren 2014, 2015 und 2016 wurden in zwei Schweizer Werken hohe Dioxin-Emissionen gefunden, wie die nachfolgenden zwei Figuren zeigen (Anmerkung: Man beachte die logarithmische Darstellung der Figuren 07 und 08).

Emissionen im Werk Wildegg

Im Werk Wildegg zeigt sich ein einzelner hoher Wert im Jahr. Die anderen Werte liegen in einem „normalen bis leicht hohen“ Bereich von Emissionen aus Zementwerken.

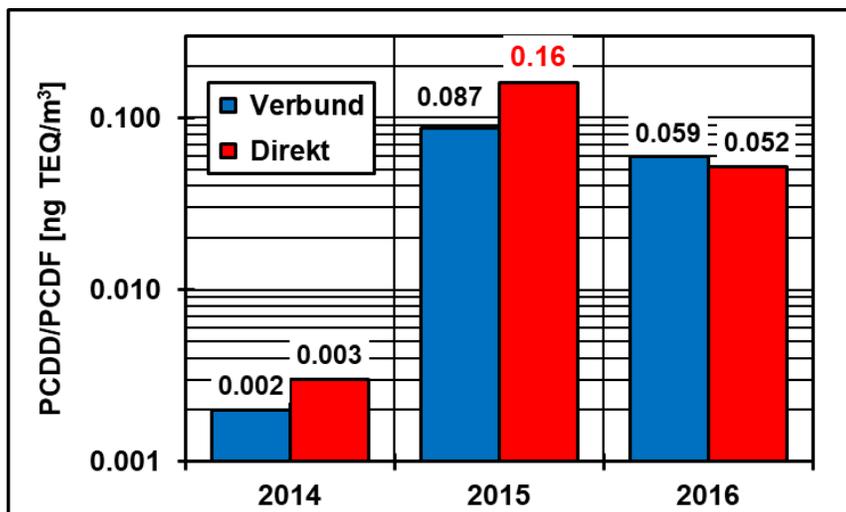
FIGUR 07: Dioxine im Werk Wildegg



Emissionen im Werk Untervaz

Das Werk in Untervaz weist im Jahr 2014 einen „normalen“ Wert auf, der auch in dieser Größenordnung in den Vorjahren gemessen wurde. In den Jahren 2015 und 2016 wird ein drastischer Anstieg der Emissionen (Faktoren im Bereich 20 bis 50) festgestellt.

FIGUR 08: Dioxine im Werk Untervaz



3.1 Gesetzliche Regelung der Emission von Dioxinen

3.1.1 Grenzwerte

Schon in der ersten Version der 17. BImSchV /Lit.6/ von 1990 wurden in Deutschland Emissionsgrenzwerte für Dioxin-Emissionen für Zementwerke, welche Abfälle verwenden, festgelegt.

Die Verbrennungsanlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass ... kein Mittelwert, der über die jeweilige Probenahmezeit gebildet ist, den Emissionsgrenzwert für die im Anhang I genannten Dioxine und Furane – angegeben als Summenwert nach dem im Anhang 1 festgelegten Verfahren - von 0.1 ng/m³ überschreitet.

Europa hat diesen Grenzwert in der Direktive EC/76/EG (/Lit.7/) übernommen und in der Schweiz wurde dieser Grenzwert von 0.1 [ngTEQ/m³] erst in der Version 2016 der LRV eingeführt (Anhang 2, Ziffer 118).

3.1.2 Falsche Interpretation von Dioxin-Emissionswerte

Im Zementwerk bildet sich über die Staubrückführung ins Ofensystem ein Kreislauf von Dioxinen, der beeinflusst wird durch Ab-/Adsorptionsvorgänge im Mühlsystem. Das hat zur Folge, dass bei ausgeschalteter Mühle die Dioxin-Emissionen (Direktbetrieb) höher sind als bei eingeschalteter Mühle (Verbundbetrieb).

Dioxine können nur mit einer sogenannten Kontrollmessung in regelmässigen Abständen gemessen werden, in Zementwerken jährlich (Anhang 2, Ziffer 119). Oft wird dabei nur der Verbundbetrieb gemessen (Beispiel: Vigier Cement in Reuchenette), da er zeitlich der längste Betrieb ist (60 – 90 [%] der Betriebszeit) oder es wird argumentiert, dass man einen Mittelwert aus Direkt- und Verbundbetrieb zu bilden hätte. Beides ist nach den Bestimmungen der Luftreinhalteverordnung falsch.

Art. 14: Durchführung der Messungen

1 Die Messungen müssen die für die Beurteilung wichtigen Betriebszustände erfassen.

Art. 15: Beurteilung der Emissionen

Bei Abnahme- und Kontrollmessungen gelten die Emissionsbegrenzungen als eingehalten, wenn keiner der nach Absatz 2 bestimmten Mittelwerte den Grenzwert überschreitet

3.2 Entstehung von Dioxinen

Der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) /Lit.8B/ schreibt:

Drehofenanlagen der Zementindustrie unterscheiden sich von klassischen Feuerungsanlagen in erster Linie durch die Verbrennungsbedingungen beim Klinkerbrennen. Brenngut und Drehofenabgase werden im Gegenstrom geführt und intensiv durchmischt. Temperaturverlauf und Gasverweilzeit in Drehöfen bieten daher besonders günstige Bedingungen, um organische Verbindungen, die über Brennstoffe eingetragen werden oder daraus entstehen, vollständig zu zerstören. Polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane (kurz: Dioxine und Furane) liegen deshalb in Abgasen von Drehöfen der Zementindustrie nur in sehr geringen Konzentrationen vor. Untersuchungen haben gezeigt, dass ihre Emissionen unabhängig von der Art der Einsatzstoffe sind und durch verfahrenstechnische Massnahmen nicht beeinflusst werden können.

Aus meiner Erfahrung kann diese Aussage bestätigt werden. Verschwiegen wird aber, dass es trotzdem in Einzelfällen zu hohen Emissionen kommen kann. In allen von mir untersuchten Fällen lag das Problem nicht in der Verbrennung, wie auch der VDZ sagt, sondern in der Aufgabe von kritischen Verbindungen zum Rohmaterial. Das heisst: Das Problem sind alternative Rohmaterialkomponenten! Wie schon unter Punkt 2.1.3 erwähnt, können kritischen Verbindungen in solchen alternativen Rohmaterialkomponenten vorhanden sein, welche unter etwa 400 bis 500 [°C] verdampfen, ins Ofenabgas gelangen, teilweise wieder am frischen Rohmaterial in der Mühle ad-/absorbiert werden und ins System zurückgeführt werden, aber schlussendlich am Kamin emittiert werden.

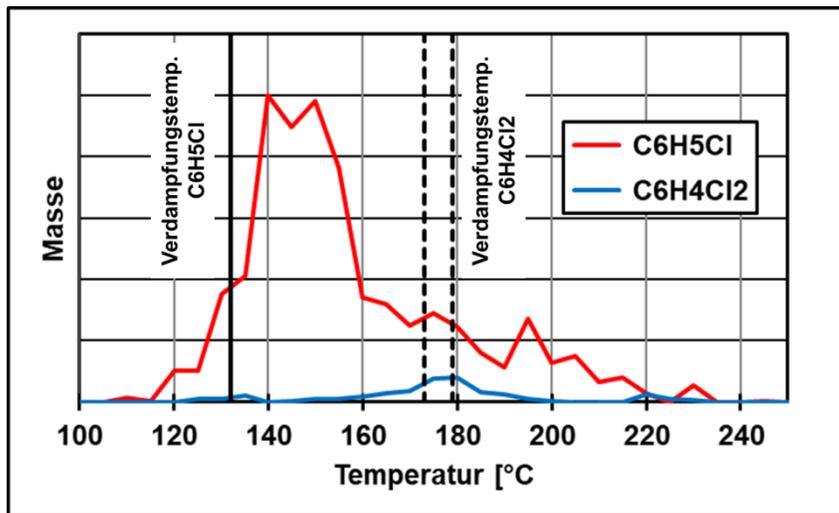
Im kritischen Temperaturbereich unter 400 bis 500 [°C] findet eine Art „de-Novo-Synthese“ statt, allerdings nicht wie in Müllverbrennungsanlagen wegen der Verbrennung, sondern wegen der Anwesenheit von Vorläufersubstanzen welche aus dem alternativen Komponenten des Rohmaterials stammen.

3.2.1 Entstehung von kritischen Substanzen – Zwei Beispiele

Emission von Monochlorbenzol

In einem Zementwerk, wurde in der Vergangenheit eine Emission von Monochlorbenzol gemessen. Die Untersuchung der Eisenkorrekturkomponente, die dem Rohmaterial zugemischt wurde, zeigte im Austreibungsversuch /Lit.10/ eine Entwicklung von Monochlorbenzol und Spuren von Dichlorbenzol im tiefen Temperaturbereich. Eine spätere chemische Analyse des Abgebers, einer chemischen Industrie, bestätigte diesen Befund.

FIGUR 09: Austreibungsversuch an einer Eisenkorrekturkomponente



Die chlorierten Benzole wurden in diesem Fall schon bei relativ tiefen Temperaturen aus der Eisenkorrekturkomponente ausgetrieben (Siedepunkt von C₆H₅Cl der Verbindung: 132 [°C]) und zwar in der Rohmehlmühle oder in den obersten Zyklonstufen und wurden unverändert emittiert.

Dieses Verhalten von Monochlorbenzol ist symptomatisch für viele organische Verbindungen, die in Kandidaten für alternative Komponenten mit Hilfe des Austreibungsversuches /Lit.10/ gefunden wurden.

Beispiele:

- Kontaminierte Erden:
 - Sehr unterschiedlich; meist Strukturen aus Ölen oder Benzin
 - Zum Teil kritische (chlorierte) Strukturen.
 - In einer Altlast (Boden) wurden Cyanverbindungen nachgewiesen
- Sammelgut aus der Strassenreinigung, teilweise auch von Entleerungen der Strassen-Gullys: BETX (Benzol, Ethylbenzol, Toluol, Xylol)
- Sand aus einer Giesserei: (Nichtchlorierte) Furane
- Eisenkorrekturkomponenten aus der chemischen Industrie: Chlorbenzole
- Kalkhydrat (Abfall): Acetylen und BETX (Benzol, Ethylbenzol, Toluol, Xylol)
- Flugaschen: Benzol- und Phenolstrukturen
- Materialien aus der chemischen Industrie: unter anderem Benzol, Ethylbenzol, Toluol, Xylol, Chlorierte Benzole und Phenole, Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB), etc.
- Auskleidungen der Elektrolysezellen von Aluminiumschmelzöfen: Cyanverbindungen

Der HCB-Skandal im Görtschitztal

In der Gemeinde Brückl im Görtschitztal in Österreich wurde zwischen 1952 und 1981 Blaukalk, ein Nebenprodukt der Acetylen-Herstellung, gemeinsam mit Chlorkohlenwasserstoff-haltigen Schlämmen in einer Deponie der Donau Chemie gelagert /Lit.11A/. Im Rahmen der ab 2011 durchgeführten Sanierungsarbeiten erhielt das Zementwerk „w&p Zement“, nach einer öffentlichen Ausschreibung, den Auftrag einer thermischen Entsorgung des Materials. Nach Angaben des Abgebers des Materials, der Donau Chemie, war eine Entsorgung bei hohen Temperaturen über 800 [°C] möglich.

Im März 2014 stellte die Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit in Lebensmitteln aus dem Görtschitztal Überschreitungen des Hexachlorbenzol-Grenzwertes fest. Am 16. Dezember 2014 wurde der Zementfabrik die Genehmigung der Landesregierung für die Verwertung von Blaukalk entzogen und die Zementherstellung wurde ohne Einsatz von Blaukalk am 13. Februar 2015 wieder aufgenommen.

Ein Papier des Landes Kärnten /Lit.11B/ belegt, dass eine 95-% Aufgabe in die Rohmühle erfolgte. Die veröffentlichten Fakten und Zahlen belegen im Weiteren, dass in diesem Fall wohl die Unkenntnis des Zementprozesses zu diesen Problemen geführt hat.

- 1.) Die Verbindung Hexachlorbenzol (HCB) ist nur leicht im Grundmaterial Blaukalk gebunden und hat einen Siedepunkt zwischen 323 und 326 [°C].
- 2.) Die Verbindung wird unter 400 [°C] in der Rohmehlmühle oder in der obersten Stufe des Wärmetauschers aus dem Blaukalk verdampfen.
- 3.) Wenn die Mühle läuft (sogenannter Verbundbetrieb), dann wird ein (grosser) Teil der Verbindung am Rohmehl ad-/absorbiert und in den Prozess zurückgeführt. Es baut sich also ein Kreislauf zwischen obersten Zyklonstufen und Filtersystem auf. Solche Kreisläufe wurden auch für andere Verbindungen, z.B. polychlorierte Biphenyle, festgestellt.
- 4.) Wenn die Mühle gestoppt wird (sogenannter Direktbetrieb), dann ist diese Ad-/Absorption wesentlich kleiner und es kommt zu einer hohen Emission dieser Verbindung.

Die publizierten Messungen belegen genau diesen Vorgang, auch wenn sie zum Teil nicht richtig interpretiert wurden. So stammten die gemessenen Emissionen bei der Aufgabe in den Ofeneinlauf nicht aus dieser Zone – dort wären sie oxidiert worden – sondern aus dem aufgegebenen kontaminierten Rohmehl (Kreislauf). Im Weiteren wurde wahrscheinlich nur im Verbundbetrieb gemessen. Einzig der hohe Wert von 82 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] deutet darauf hin, dass der Ofen teilweise mit abgestellter Mühle gefahren wurde.

Der Fall Görtschiztal zeigt eine wesentliche Tatsache: Organische Verbindungen von alternativen Rohmaterialkomponenten, welche über den Rohmaterialweg in das Ofensystem gelangen werden, verdampfen in der Regel beim Aufheizvorgang und werden emittiert.

3.2.2 Die gefährliche Schweizer Regelung

Die Schweiz erlaubt nun die Verwendung von Abfällen mit kritischen Verbindungen als Rohmaterialersatzstoffe, wenn die Stoffe gewisse Konzentrationen (vgl. Tabelle 02) nicht überschreiten /Lit.2/. Eine Mengenbeschränkung erfolgt über die Konzentration von bestimmten Schwermetallen im Klinker und der Bestimmung, dass Rohmehlersatzstoffe höchstens einen Anteil von 5 Gewichtsprozent an der Gesamtmenge von Rohmaterial und Rohmehlkorrekturstoffen ausmachen dürfen. Bei belastete Böden bzw. kontaminiertes Erdreich und auch anderen Rohmehlersatzstoffen ist oft der Schwermetallgehalt kein Problem und in diesen Fällen wird die Menge auf 5 [%] beschränkt.

AAEV: Art.4 Anhang 24

Anforderungen an Abfälle für die Herstellung von Zement und Beton

1 Verwendung von Abfällen als Rohmaterial und Rohmehlkorrekturstoffe

1.1 Abfälle dürfen als Rohmaterial bei der Herstellung von Zementklinker verwendet werden, wenn sie die nachfolgenden Grenzwerte (Gesamtgehalte) nicht überschreiten und der hergestellte Zementklinker die Anforderungen nach Ziffer 1.4 (Anmerkung: Grenzwerte von Gehalt an Schwermetallen im Klinker) einhält:

TABELLE 02: Tabelle aus der VVAE (ohne Schwermetalle)

Stoff	Grenzwert in mg/kg Trockensubstanz
<i>Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW) 1)</i>	<i>10</i>
<i>Polychlorierte Biphenyle (PCB) 2)</i>	<i>10</i>
<i>Aliphatische Kohlenwasserstoffe C5–C10 3)</i>	<i>100</i>
<i>Aliphatische Kohlenwasserstoffe C10–C40</i>	<i>5'000</i>
<i>Monocyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) 4)</i>	<i>10</i>
<i>Benzol</i>	<i>1</i>
<i>Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) 5)</i>	<i>250</i>
<i>Benzo[a]pyren</i>	<i>3</i>
<i>Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)</i>	<i>50'000</i>

- 1) $\Sigma 7$ LCKW: Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlormethan, cis-1,2-Dichlorethylen, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethylen (Tri), Perchlorethylen (Per)
- 2) $\Sigma 6$ Kongenere $\times 4.3$ (IUPAC_Nr.): 28, 52, 101, 138, 153, 180
- 3) $\Sigma C5$ - bis $C10$ -KW: Fläche FID-Chromatogramm zwischen n-Pentan und n-Decan, multipliziert mit dem Response Faktor von n-Hexan, minus $\Sigma BTEX$
- 4) $\Sigma 6BTEX$: Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o-Xylol, m-Xylol, p-Xylol
- 5) $\Sigma 16$ EPA-PAK: Naphthalin, Acenaphthylen, 1,2-Dihydroacenaphthylen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benz[a]anthracen, Chrysen, Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Dibenz[a,h]anthracen, Benzo[g,h,i]perylen, Indeno[1,2,3-c,d]pyren

Beispiel polychlorierte Biphenyle

PCBs sind technische PCB-Gemische sind zähflüssige Flüssigkeiten oder Harze mit einem Chlorgehalt zwischen 30 und 60 [%], die in Rohmaterialersatzstoffen als Verschmutzung vorhanden sein können. Diese haben einen Siedepunkt zwischen 365 und 390 [°C]. Eingbracht in die Aufheizzone eines Zementofens entstehen aus diesen Vorläufersubstanzen zum Teil Dioxine und Furane.

Nimmt man einmal an, dass die in einem Rohmehlersatzstoff enthaltenen Schwermetalle keine kritische Grenze überschreiten, so darf 5 [%] alternatives Rohmaterial mit 10 [mg/kg] PCBs zum natürlichen Rohmaterial zugemischt werden. Nimmt man einen Feuchtegehalt von 20 [%] für dieses alternative Material an, so sind das 0.4 [mg/kg] bezogen auf die Rohmaterialmischung. Verdampfen nun alle diese PCBs im Wärmetauscher und werden nicht zersetzt, so entsteht eine Emission in der Größenordnung von 0.27 [mg/m³].

Die deutsche 17. BImSchV /Lit.6/ spricht bei PCB-haltigen Stoffen von Brennstoffen, die niemals über den Rohmaterialweg ins Zementofensystem gelangen dürfen und legt Mindestbedingungen für die Verbrennung fest (Temperatur, Verweilzeit). In der Bewilligung für die Verwendung von Abfällen im Werk Göllheim /Lit.12/ steht folgender Satz:

Überschreitet der Massegehalt an polychlorierten aromatischen Kohlenwasserstoffen, wie polychlorierte Biphenole (PCB) oder Pentachlorbenzol (PCP) in den als sekundär eingesetzten flüssigen brennbaren Abfällen oder Stoffe (Hinweis: Sekundärfeuerung) einen Wert von 10 mg/kg (Milligramm/Kilogramm) und weist der brennbare flüssige Abfall oder Stoff einen Heizwert von weniger als 30 MJ/kg (Megajoule/Kilogramm) auf, ist der brennbare flüssige Abfall oder Stoff als besonders überwachungsbedürftig einzustufen.

Es sei nochmals wiederholt:

1. Diese Substanzen, aufgegeben mit dem Rohmaterial, werden nicht im Ofen oxidiert, sondern sie werden grösstenteils emittiert, wobei sich sogar ein Kreislauf zwischen Wärmetauscher und Filtersystem bilden kann.
2. Verschiedene dieser Substanzen, wie etwa polychlorierte Biphenyle, sind zudem Vorläufer der Dioxine und dürfen auf keinen Fall mit dem Rohmaterial aufgegeben werden.

3.2.3 Überwachung der Emissionen

Der Gesetzgeber in der Schweiz hat wohl die Problematik seiner Bestimmungen geahnt und hat in der Luftreinhalteverordnung eine Überwachung von Benzol, Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen angeordnet, wenn Abfälle als Rohmaterial eingesetzt werden, welche organische Verbindungen enthalten.

Anhang 2, 119 Überwachung

2 Wer Abfälle, die organische Verbindungen enthalten, als Rohmaterial in der Zementherstellung einsetzt, muss zusätzlich zu Absatz 1:

- a. den Gehalt von Benzol im Abgas kontinuierlich messen und aufzeichnen;*
- b. jährlich kontrollieren, ob insbesondere die Emissionsgrenzwerte für Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen eingehalten sind*

Die Emissionen von Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen muss nach der Luftreinhalteverordnung jährlich überprüft. Eine entsprechende Vorschrift für Dioxine legt die Luftreinhalteverordnung nicht fest, doch wurden in den Jahren 2014, 2015 und 2016 diese Emissionen jährlich gemessen, was wohl auch in Zukunft der Fall sein wird.

Abfälle, welche als Rohmaterial bei der Herstellung von Zementklinker, verwendet werden, wie etwa kontaminierte Erden oder Altlasten, werden in der Regel nicht kontinuierlich sondern eher batchweise eingesetzt. Ganz im Gegenteil dazu werden Korrekturkomponenten (Korrektur der Gehalte an Eisen und/oder Aluminium) in der Regel über längere Zeit vom selben Abgeber bezogen und eingesetzt.

Werden nun Abfälle als Rohmaterial eingesetzt, welche die Grenzwerte der Tabelle 02 einhalten, so können, wie dargestellt, trotzdem kritische Emissionen entstehen und/oder Dioxin gebildet werden. Eine jährliche Messkampagne, die wenige Tage dauert, ist eine Momentaufnahme und sagt nichts über die Emissionen von Materialien, welche ausserhalb dieser Periode eingesetzt wurden.

3.2 Der frühere „Dioxin-Fall“ im Werk Untervaz

Im Werk Untervaz traten, wie dargestellt, in den Jahren 2015 und 2016 hohe Dioxin-Emissionen auf. Diese Emissionen sind sehr wahrscheinlich auf Zumischungen kritischer Substanzen zurückzuführen, was aber mangels genauer Informationen nicht eindeutig belegt werden kann.

Doch schon einmal traten in diesem Werk hohe Dioxin-Werte im Bereich zwischen ca. 0.2 und 0.3 [ng TEQ/m³] auf. Das Werk verbrennt Altöl und musste damals den Altöltank reinigen. Dabei wurde ein Teil des Schlamms aus dem Tank fälschlicherweise dem Mischbett, also dem Rohmaterial, zugeführt. Da zu dieser Zeit eine Nullmessung für einen Versuch mit Plastik gemacht wurde, bemerkte man die hohen Dioxin-Werte und konnte auch die Ursachen eruieren. Es wurde damals eine provisorische Einrichtung eingebaut mit welcher der Ofenstaub direkt in den Ofeneinlauf geleitet wurde, also in eine sehr heisse Temperaturzone. Die Dioxine waren innert wenigen Tagen deutlich reduziert und erreichten nach etwa 14 Tagen wieder die „normalen Werte“ unter etwa 0.005 [ngTEQ/m³]. Die ganze Problematik der Beimischung zum Rohmaterial, also der Ursache dieses „Dioxin-Falls“, wurde damals mit dem Umweltamt des Kantons besprochen.

Eine spätere Analyse eines ähnlichen Materials zeigte hohe Gehalte an polychlorierten Biphenylen und chlorierten organischen Verbindungen. Die Erkenntnisse aus diesem Fall haben sich dann auch in anderen „Dioxin-Fällen“ im Ausland bestätigt und halfen entsprechende Fehler zu eliminieren.

3.3 Beurteilung der „Dioxin-Fälle“ in Wildegg und Untervaz

3.3.1 Die Werte des Jahres 2015

Wie beschrieben, existiert in der Schweiz erst ein Grenzwert seit 2016. Die Werte des Jahres 2015 von 0.11 [ngTEQ/m³] (Wildegg) bzw. 0.16 [ngTEQ/m³] (Untervaz) können daher nicht als Überschreitung des Grenzwertes angesehen werden. Allerdings steht in Anhang 1, Ziffer 31 der Luftreinhalteverordnung:

Die in den Ziffern 5–8 nicht aufgeführten Stoffe werden den Stoffklassen zugeordnet, mit denen sie in ihrer Einwirkung auf die Umwelt vergleichbar sind. Dabei sind insbesondere die Abbaubarkeit und Anreicherbarkeit, die Toxizität, die Auswirkungen von Abbauvorgängen und deren Folgeprodukten sowie die Geruchsintensität zu berücksichtigen.

Die Giftigkeit von Dioxinen ist allgemein bekannt und daher müssten die Behörden die Ursachen dieser hohen Emissionen untersuchen bzw. untersuchen lassen. Insbesondere Im Fall von Untervaz ist es nicht ein Einzelfall, sondern ein signifikanter Anstieg aller Messwerte der Jahre 2015 und 2016.

3.3.2 **Keine alternative Rohmehlkomponenten ins Rohmaterial!**

Verschiedene „Dioxin-Fälle“, welche der Autor im In- und Ausland untersucht hat, zeigen, dass stets die Ursache für die Dioxin-Bildung in alternativen Rohmaterialkomponenten zu suchen war. Es wurden in diesen Komponenten kritische Verbindungen, wie polychlorierte Biphenyle, chlorierte Phenole, etc. gefunden und in einem Fall waren sogar selbst Dioxine vorhanden.

Das BAFU /Lit.3/ schreibt:

Das bedingt zwar geringere Mehremissionen in die Luft, dieser Entsorgungsweg (Anmerkung: über das Rohmaterial) ist aber unter einer gesamtheitlichen Ressourcenbetrachtung gewünscht und in gewissen Fällen beispielsweise einer Deponierung oder anderweitigen Behandlung vorzuziehen.

Das Minimierungsgebot der Luftreinhalteverordnung /Lit.1/ (LRV, Anhang 1, Ziffer 82) lässt eine Mehremission von krebserzeugenden Verbindungen nicht zu und man muss sich die Frage stellen, ob erhöhte Dioxin-Emissionen nicht vor eine Ressourcenbetrachtung zu stellen sind.

Alternative Rohmaterialkomponenten mit kritischen Verbindungen, wie zum Beispiel polychlorierten Biphenylen, können in Zementwerken entsorgt werden, allerdings nicht auf dem Rohmaterialweg, sondern sie müssen der Sekundärfeuerung zugeführt werden. Dort werden die kritischen Substanzen oxidiert.

Deutschland erlaubt die Verwendung von Rohmehlersatzstoffen, so zum Beispiel im Werk der Dyckerhoff AG in Göllheim /Lit.12/. Es wurde dort aber verfügt, dass Aufgrund ihres Gehalts an organischen Schadstoffen die alternativen Rohstoffe Giessereisand und Papierschlamm über die Sekundärfeuerung zugeführt werden müssen.

Allerdings muss gesagt werden, dass ein Zementwerk die entsprechenden Eingabesysteme und eventuell gewisse Aufbereitungssysteme haben muss. Ein Fehlen solcher Vorrichtungen erlaubt aber nicht den gefährlichen Rohmaterialweg zu benutzen.

Josef Waltisberg, dipl.Ing. ETH
Eichhaldenweg 23, 5113 Holderbank
josef@waltisberg.ch

Literatur

- /1/ Schweizer Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 (Stand am 1. Januar 2016)
- /2/ Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015 (Stand am 1. Januar 2018)
- /3/ Erläuterungen zur Totalrevision der Technischen Verordnung über Abfälle TVA, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEC) – Bundesamt für Umweltschutz (BAFU); Referenz/Aktenzeichen N185-0625
- /4/ UNO-Wirtschaftskommission für Europa (UNECE), Übereinkommen über den Zugang zu Informationen, die Öffentlichkeitsbeteiligung an Entscheidungsverfahren und den Zugang zu Gerichten in Umweltangelegenheiten
- /5/ Schweizer Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983 (Stand am 1. April 2015)
- /6/ Deutschland - Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV)
- /7/ Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen
- /8A/ Verein Deutscher Zementwerke, Umweltdaten der deutschen Zementindustrie, Environmental Data of the German Cement Industry - 2016 -- Kapitel 5.5: Kohlenstoffmonoxid (CO) und organischer Gesamtkohlenstoff (ΣC)
- /8B/ Verein Deutscher Zementwerke, Umweltdaten der deutschen Zementindustrie, Environmental Data of the German Cement Industry – 2016 -- Kapitel 5.6 Dioxine und Furane (PCDD/F)
- /9/ cemsuisse, Jahresberichte – Kennzahlen der Jahre 2006 bis 2017
- /10/ Josef Waltisberg, Laborversuch zur Bestimmung der Emissionen von organischen Substanzen aus Zementrohstoffen, ZKG International 11/1998 (Versuch wird „Austreibungsversuch“ genannt)

- /11A/ HCB-Skandal im Görtschitztal – Wikipedia, de.wikipedia.org/wiki/HCB-Skandal_im_G%C3%B6rtschitztal
- /11B/ Bericht des Land Kärnten, HCB Görtschitztal - Zwischenergebnisse 27. Jänner 2015
- /12/ Kreisverwaltung Donnersbergkreis, 67285 Kirchheimbolanden
Vollzug des Bundes-Immissionsgesetzes (BImSchG) und des Gesetzes über Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG), Antrag auf Erteilung der Genehmigung zur wesentlichen Änderung der Anlage zur Herstellung von Zementklinker durch Einsatzerweiterung von Sekundärbrennstoffen und Sekundärrohstoffen im Ofeneinlauf und in der Hauptfeuerung der Grehrohranlagen I und II am Standort 67307 Göllheim.
- /13/ Deutschland - Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002