



Die Schadstoffemissionen der Schweizer Zementwerke in den Jahren 2014 bis 2021 und der Vergleich mit den Emissionswerten deutscher Zementwerke

Bericht: JW-21-11.2-CH

Homepage: 210-2021¹

Datum: 25.10.2021

(Erweiterung; 10.11.2021)

Zusammenfassung

a.) Emission von NO_x und SO₂

Die ermittelten Tagesmittelwerte dieser Komponenten liegen, mit ganz wenigen Ausnahmen, in den Jahren 2014 bis 2021 unter dem Wert von 500 [mg/m³_N] (Grenzwert LRV 2016).

Die in der Branchenvereinbarung definierten Jahresmittelwerte für NO_x, welche nicht überschritten werden dürfen, sind branchen- und werksspezifisch eingehalten.

Zu erwähnen ist, dass die NO_x-Emissionen in der Schweiz deutlich höher sind als in Deutschland. Das ist eine Folge des deutlich höheren Grenzwertes in der Schweiz von 500 [mg/m³_N] gegenüber 200 [mg/m³_N] in Deutschland.

b.) Emission von organischen Verbindungen (angegeben als Gesamtkohlenstoff TOC)

Ein Grenzwert für diese Emissionen aus Zementöfen von 80 [mgC/m³_N] wurde erst 2016 in die Luftreinhalteverordnung aufgenommen. Dieser Grenzwert ist acht Mal höher als der Grenzwert in der Europäischen Union. Die Schweiz lässt dabei als einziges Land in Europa zu, dass Emissionen von organischen Verbindungen auch aus der Mitverbrennung von Abfällen emittiert werden dürfen. Das hat mitunter zur Folge, dass die Schweizer Emissionen deutlich höher sind als jene in Deutschland. Trotz des sehr hohen Grenzwertes kam es in der Zeitperiode zwischen 2016 bis 2021 in den Werken der Jura Cement in Wildegg (JCW) und bei Ciments Vigier (VIG) zu Überschreitungen.
(vgl. dazu auch Benzol)

¹ Homepage «waltisberg.com»

c.) Benzol

Benzol gehört zu den flüchtigen organischen Verbindungen (TOC), die mit dem TOC erfasst werden. Die Quelle ist die gleiche wie für die mit dem TOC erfassten Verbindungen, von denen Benzol eine ist. Die hohen Emissionen sind daher eine Folge der Zulassung aus Emissionen der Mitverbrennung von Abfällen. Das können abfallbasierte Brennstoffe, aber auch abfallbasierte Rohmaterialien sein,

Das Werk Wildegg hatte vor allem 2017 und 2018 hohe Emissionen und Überschreitungen des Grenzwertes. Mit einer Änderung der Vorbrennkammer konnten diese Emissionen reduziert werden. Doch dies reicht nicht und so hat sich das Werk entschlossen im Frühjahr 2022 landesweit die erste regenerativ-thermische Oxidationsanlage (RTO) einzubauen. Damit werden die organischen Emissionen und natürlich auch Benzol bis auf Spuren reduziert.

Im Werk von Ciments Vigier kommt es seit Installation der kontinuierlichen Messung zu hohen Emissionen und zu Überschreitungen des Grenzwertes, wobei zum Teil sehr hohe Maximalwerte gemessen wurden, so 7.5 [mg/m³N] für einen Tagesmittewert und 30.2 [mg/m³N] (berechnet aus dem Wert nach Abzug der Unsicherheit) für einen Stundenmittelwert. Das Vigier-Werk muss die Quelle dieser Emission identifizieren und sofort eliminieren. Solch krebserzeugende Emissionen dürfen auf keinen Fall emittiert und schon gar nicht akzeptiert werden.

d.) Dioxine und Furane (Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane – PCDD/PCDF)

Mit Ausnahme des Werkes der Holcim in Untervaz und der Jura Cement in Wildegg sind alle ermittelten Konzentrationen recht gering. Im Werk der Jura Cement in Wildegg trat ein hoher Wert über 0.1 [ng I-TEQ/m³N] im Direktbetrieb auf und zwar in der Zeit der hohen TOC- und Benzol-Werte. Nachdem die Vorbrennkammer verbessert wurde, traten nur noch geringe Emissionskonzentrationen auf. Dies deutet darauf hin, dass die erhöhten Werte, sowohl für TOC und Benzol als auch für PCDD/PCDF in diesem Werk durch die Mitverbrennung von Abfällen durch Vorläufersubstanzen verursacht wurden.

Im Werk Untervaz liegen von neun im Direktbetrieb gemessenen Werten vier über 0.1 [ng I-TEQ/m³N], wobei der Maximalwert von 0.43 [ng I-TEQ/m³N] den Grenzwert mehr als den Faktor vier übersteigt.

Im Werk Untervaz ereignete sich ein solcher Emissionsfall in den 90er Jahren. Damals konnte eindeutig eine Beimischung kritischer Stoffe zum Rohmaterial als Ursache identifiziert werden. Das Umweltamt des Kantons Graubünden wurde damals eingehend über diese Probleme informiert.

Das Holcim-Werk Untervaz muss die Quelle dieser Emission identifizieren und sofort eliminieren. Sehr wahrscheinlich löst eine abfallbasierte Rohmaterialkomponente diese Emissionen aus und diese Komponente darf auf keinen Fall in Zukunft weiterverwendet werden.

e.) Quecksilber Hg

Holcim Untervaz: 2019 und 2020 wurde der Grenzwerte von 0.05 [mg/m³] im Direktbetrieb mit 0.082 bzw. 0.053 [mg/m³] überschritten.

Ciments Vigier: Es wurde die Summe von Quecksilber und Cadmium angegeben, was nach den Bestimmungen der LRV falsch ist. Nach der LRV ist jede Verbindung einzeln mit einem Grenzwert von 0.05 [mg/m³N] belegt. 2020 könnte die Quecksilber-Emission im Bereich des Grenzwertes gelegen haben.

In beiden Werken stammen die hohen Emissionen aus abfallbasierten Brennstoffen oder Rohmaterialien. Dies muss in jedem Zementwerk durch entsprechende Eingangskontrollen verhindert werden.

- f.) Kontrollmessungen von weiteren Emissionen
Benzo(a)pyren, Dibenz(a,h)anthracen, und die Summe von Blei und Zink liegt in allen Werken recht deutlich unter dem jeweiligen Grenzwert.
- g.) Kohlenmonoxid
In der Schweizer Luftreinhalteverordnung gibt es keinen Grenzwert für Kohlenmonoxid (CO), das als Gradmesser für die Vollständigkeit der Verbrennung dient. Es ist dringend erforderlich, dafür einen Grenzwert einzuführen und die Zementwerksbetreiber zu verpflichten, diesen Schadstoff ebenfalls kontinuierlich zu messen, aufzuzeichnen und bekanntzugeben.

Résumé

- a.) Émissions de NO_x et de SO₂
Les valeurs moyennes journalières déterminées pour ces composants sont, à de très rares exceptions près, inférieures à la valeur de 500 [mg/m³N] pour les années 2014 à 2021 (valeur limite LRV 2016).
Les valeurs moyennes annuelles de NO_x définies dans l'accord sectoriel, qui ne doivent pas être dépassées, sont respectées dans chaque secteur et chaque usine.
Il convient de mentionner que les émissions de NO_x en Suisse sont nettement plus élevées qu'en Allemagne. C'est une conséquence de la valeur limite nettement plus élevée en Suisse de 500 [mg/m³N] par rapport à 200 [mg/m³N] en Allemagne.
- b.) Émission de composés organiques (spécifiée en tant que carbone organique total COT).
Une valeur limite de 80 [mgC/m³N] pour ces émissions des fours à ciment n'a été inscrite dans l'ordonnance sur la protection de l'air qu'en 2016. Cette valeur limite est huit fois plus élevée que la valeur limite dans l'Union européenne. La Suisse est le seul pays d'Europe qui autorise également les émissions de composés organiques provenant de la co-incinération des déchets. Cela signifie parfois que les émissions suisses sont nettement supérieures à celles de l'Allemagne. Malgré la valeur limite très élevée, des dépassements ont été enregistrés entre 2016 et 2021 dans les cimenteries du Jura à Wildegg et à Ciments Vigier. (cf. également benzène)

c.) Benzène

Le benzène fait partie des composés organiques volatils (COV) qui sont enregistrés avec le COT. La source est la même que pour les composés enregistrés avec le COT, dont le benzène fait partie. Les émissions élevées sont donc une conséquence de l'autorisation des émissions provenant de la co-incinération des déchets. Il peut s'agir de combustibles issus de déchets, mais aussi de matières premières issues de déchets,

L'usine de Wildegg a connu des émissions élevées et des dépassements de la valeur limite, notamment en 2017 et 2018. En modifiant la chambre de précombustion, ces émissions pourraient être réduites. Mais cela ne suffit pas et l'usine a donc décidé d'installer la première usine d'oxydation thermique régénérative (RTO) du pays au printemps 2022. Cela permettra de réduire les émissions organiques et, bien sûr, le benzène à l'état de traces.

A l'usine de Ciments Vigier, de fortes émissions et des dépassements de la valeur limite ont eu lieu depuis l'installation de la mesure en continu, avec des valeurs maximales très élevées mesurées dans certains cas, telles que 7.5 [mg/m³N] pour une valeur moyenne journalière et 30.2 [mg/m³N] (calculée à partir de la valeur après déduction de l'incertitude) pour une valeur moyenne horaire. L'usine de Vigier doit identifier la source de cette émission et l'éliminer immédiatement. De telles émissions cancérigènes ne doivent en aucun cas être émises et certainement pas acceptées.

d.) Dioxines et furanes (dibenzodioxines et dibenzofuranes polychlorés PCDD/PCDF).

A l'exception de l'usine Holcim à Untervaz et de Jura Cement à Wildegg, toutes les concentrations déterminées sont assez faibles.

A la cimenterie de Jura, une valeur élevée supérieure à 0.1 [ng I-TEQ/m³N] est apparue en fonctionnement direct, à savoir pendant la période où les valeurs de COT et de benzène étaient élevées. Après l'amélioration de la chambre de précombustion, seules de faibles concentrations d'émissions sont apparues. Ceci indique que les valeurs élevées pour le COT et le benzène ainsi que pour les PCDD/PCDF dans cette usine ont été causées par la co-incinération de déchets (substances précurseurs).

Dans l'usine d'Untervaz, sur neuf valeurs mesurées en fonctionnement direct, quatre sont supérieures à 0.1 [ng I-TEQ/m³N], la valeur maximale de 0,43 [ng I-TEQ/m³N] dépassant la valeur limite d'un facteur supérieur à quatre.

Un tel cas d'émission s'est produit à l'usine d'Untervaz dans les années 1990. À l'époque, un mélange de substances critiques à la matière première a pu être clairement identifié comme étant la cause. L'office de l'environnement du canton des Grisons a été informé en détail de ces problèmes à l'époque.

L'usine Holcim d'Untervaz doit identifier la source de cette émission et l'éliminer immédiatement. Il est très probable qu'un composant de matière première à base de déchets soit à l'origine de ces émissions et ce composant ne doit en aucun cas être utilisé à l'avenir.

- e.) **Mercure Hg**
Holcim Untervaz : en 2019 et 2020, la valeur limite de 0.05 [mg/m³] a été dépassée en opération direct avec 0.082 et 0.053 [mg/m³], respectivement.
Ciments Vigier : La somme du mercure et du cadmium a été indiquée, ce qui est incorrect selon les dispositions de l'OPair. Selon l'OPair, chaque composé est soumis à une valeur limite individuelle de 0.05 [mg/m³N]. En 2020, les émissions de mercure auraient pu se situer dans la valeur limite.
Dans les deux usines, les émissions élevées proviennent de combustibles ou de matières premières à base de déchets. Ce phénomène doit être évité dans une cimenterie par des contrôles entrants appropriés.
- f.) **Mesures de contrôle des autres émissions**
Le benzo(a)pyrène, le dibenz(a,h)anthracène et la somme du plomb et du zinc sont très nettement inférieurs à la valeur limite respective dans toutes les plantes.
- g.) **Monoxyde de carbone**
L'ordonnance sur la protection de l'air ne prévoit pas de valeur limite pour le monoxyde de carbone (CO), qui sert d'indicateur de l'achèvement de la combustion. Il est urgent d'introduire une valeur limite pour ce polluant et d'obliger les exploitants de cimenteries à le mesurer, l'enregistrer et le signaler en permanence.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	8
2. Messgenauigkeit und Grenzwert.....	8
2.1 Messgenauigkeit.....	8
2.2 Grenzwert.....	8
3. Staub.....	9
4. Stickoxide NO _x	10
4.1 Grenzwert.....	10
4.2 Jahresmittelwerte zwischen 2014 und 2021.....	11
4.3 Vergleich mit Deutschland (2020).....	11
4.4 Beurteilung der NO _x -Emissionen.....	11
5. Schwefeldioxid SO ₂	12
5.1 Grenzwert.....	12
5.2 Jahresmittelwerte zwischen 2014 und 2021.....	12
5.3 Vergleich mit Deutschland (2020).....	13
5.4 Beurteilung der SO ₂ -Emissionen.....	13
6. Flüchtige Organische Verbindungen – TOC.....	14
6.1 Grenzwert.....	14
6.2 Jahresmittelwerte zwischen 2014 und 2021.....	14
6.3 Vergleich mit Deutschland (2020).....	15
6.4 Überschreiten des Grenzwertes.....	15
6.5 Beurteilung der Emissionen von organischen Verbindungen.....	15
7. Benzol.....	16
7.1 Grenzwert.....	16
7.2 Jahresmittelwerte zwischen 2017 und 2021.....	17
7.3 Vergleich mit Deutschland (2020).....	17
7.4 Überschreitung des Grenzwertes.....	18
7.4.1 Tagesmittelwerte.....	18
7.4.2 Stundenmittelwerte.....	18
7.5 Beurteilung der Benzol-Emissionen.....	19
7.5.1 Jura Cement Wildegg.....	19
7.5.2 Ciments Vigier.....	19

8.	Dioxine und Furane (PCDD/PCDF)	20
8.1	Grenzwert	20
8.2	Resultate der Kontrollmessungen zwischen 2014 und 2021	21
8.3	Vergleich mit Deutschland (2020).....	21
8.4	Überschreitung des Grenzwertes	21
8.4.1	Jura Cement Wildegg	21
8.5	Beurteilung der PCDD/PCDF-Emissionen.....	22
9.	Kontrollmessungen von weiteren Emissionen	23
9.1	Benzo(a)pyren, Dibenz(a,h)anthracen, Summe Blei und Zink.....	23
9.2	Quecksilber	23
9.2.1	Holcim Untervaz.....	23
9.2.2	Ciments Vigier.....	24
10.	Kohlenmonoxid (CO)	24

1. Einleitung

Auf der Grundlage der Aarhus-Konvention², die von der Schweiz umgesetzt wurde, wurde die Übermittlung der Emissionsdaten (gereinigte Abgase aus dem Drehrohrofen) der Schweizer Werke für die Jahre 2019 und 2020 und für das 1. Halbjahr 2021 verlangt. Die übermittelten Werte wurden ausgewertet und teilweise mit den früher ausgewerteten Daten der Werke der Jahre 2014 bis 2018 verglichen.

Die Resultate der Schweizer Werke wurden ebenfalls mit den Deutschen Werten, welche aus den Veröffentlichungen des VDZ³ herausgelesen wurden, verglichen.

Abkürzungen:

SG	Holcim, Werk Siggenthal
UV	Holcim, Werk Untervaz
EC:	Holcim, Werk Eclépens
JCW	Jura Cement, Werk Wildegg
JCC	Jura Cement (Juracime), Werk Cornaux
VIG	Vigier Ciments, Péry

2. Messgenauigkeit und Grenzwert

2.1 Messgenauigkeit

Von den Werken bzw. von den entsprechenden Umweltämtern wurden nur die Tagesmittelwerte und die Resultate der Kontrollmessungen übermittelt. Es gibt aber keine Information über die Genauigkeiten der Messwerte und es muss daher angenommen werden, dass die übermittelten Daten genügend genau sind. Kontinuierliche Messgeräte müssen in regelmässigen Abständen kalibriert werden. Eine solche Kalibrierung ist nicht, wie oft gemeint wird, eine Einstellung des Messgerätes mit Prüfgasen, sondern eine Überprüfung der ermittelten Werte mit einem sogenannten Referenzverfahren (EN 14181).

2.2 Grenzwert

Es gelten die in der Luftreinhalteverordnung von 2016 oder in früheren Ausgaben definierten Grenzwerte, wobei eigentlich eine Sanierungsfrist von 5 Jahren nach Art. 10 gilt.

² Die Aarhus-Konvention ist das am 25. Juni 1998 in der dänischen Stadt Aarhus unterzeichnete und am 30. Oktober 2001 in Kraft getretene Übereinkommen der Wirtschaftskommission für Europa (UNECE) über den Zugang zu Informationen, die Öffentlichkeitsbeteiligung an Entscheidungsverfahren und den Zugang zu Gerichten in Umweltangelegenheiten.

Ratifizierung durch die Schweiz: 11.11.2013

³ Verein Deutscher Zementwerke (VDZ); Umweltdaten der deutschen Zementindustrie

- Bei den Stickoxiden wurde der Grenzwert 2016 neu definiert und eine Branchenvereinbarung abgeschlossen. Darin werden brachen- und werkspezifische Jahresmittelwerte definiert, welche nicht überschritten werden dürfen. Der branchenspezifische Jahresmittelwert der Jahre 2016 bis 2018 liegt bei 500 [mg/m³_N], was dem Grenzwert der Luftreinhalteverordnung 2016 entspricht. Allerdings ist dieser Wert in LRV für den Tagesmittelwert und nicht für einen Jahresmittelwert definiert.
- Für die flüchtigen organischen Stoffe existierte vor 2016 kein Grenzwert der für Zementwerke technisch anwendbar war. Für Dioxine und Furane existierte sogar überhaupt kein Grenzwert. Es ist nicht bekannt, ob die Behörden für Zementwerke verkürzte Sanierungsfristen definiert haben. Daher wird für diese Stoffe angenommen, dass der Grenzwert ab 2016 galt.

In diesem Bericht wird ein Grenzwert als überschritten bezeichnet, wenn ein ermittelter (Tagesmittelwert) den Grenzwert überschreitet. Es wird also kein Abzug für die Messunsicherheit berücksichtigt.

Das Amt für Umwelt und Energie des Kantons Bern definiert eine Überschreitung, wenn der ermittelte Tagesmittelwert minus 20 [%] Messunsicherheit grösser ist als der entsprechende Grenzwert. Andere Kantone berücksichtigen keine Messunsicherheiten.

3. Staub

Die Zementwerke haben als Hauptfilter Gewebefilter installiert, welche in der Regel sehr kleine Emissionen haben. Das Problem besteht nun darin, diese emittierten Staubkonzentrationen zu messen.

- Der Schweizer Grenzwert für Staub liegt gemäss Luftreinhalteverordnung für Zementwerke bei 20 [mg/m³_N]. Da der Grenzwert in Deutschland gemäss 17. BImSchV⁴ bei 10 [mg/m³_N] für den Tagesmittelwert definiert ist, werden heute die meisten Staubmessgeräte für einen kleinsten Messbereich von 0 bis 15 [mg/m³_N] konstruiert und auch nach EN15267 für diesen Messbereich geprüft. Solche Geräte können die Anforderungen hinter einem Gewebefilter erfüllen. Das heisst, sie können Staubgehalte um oder sogar unter 1 [mg/m³_N] noch messen.
Gute Streulichtgeräte, und nur diese erfüllen die verlangten Genauigkeiten, haben eine erweiterte Messunsicherheit von 5 bis höchstens 10 [%] des deutschen Grenzwertes, also etwa 0.5 bis 1 [mg/m³_N]
- Alle Stabmessgeräte müssen mit einem extraktiven Referenzverfahren (z.B. EN 13284-1) bei der Installation und später in regelmässigen Abständen kalibriert werden. Aber auch diese Verfahren weisen entsprechende Unsicherheiten auf.

⁴ 17. BImSchV: 17te Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen)

Hinter Gewebefiltern ist die Emissionskonzentration einmal klein und schwankt nur in engen Grenzen. Für ein installiertes Messgerät kann daher keine vernünftige Korrelation zwischen dem Messsignal und den extraktiv ermittelten Werten bestimmt werden. Der Ausweg heisst, man misst zig Werte und gleichzeitig die entsprechenden Messsignale des Gerätes und berechnet eine Gerade zwischen dem Nullpunkt und dem Schwerpunkt der Messungen.

Eine genaue Angabe der Emissionskonzentration bei tiefen Werten ist also gar nicht möglich. Die ermittelten Messwerte der Schweizer Werke liegen in der Regel unter 5 [mg/m³_N] und sind damit deutlich kleiner als der Grenzwert.

4. Stickoxide NOx

4.1 Grenzwert

Der Grenzwert lag vor 2016 bei 800 [mg/m³_N] und wurde dann auf 500 [mg/m³_N] gesenkt.

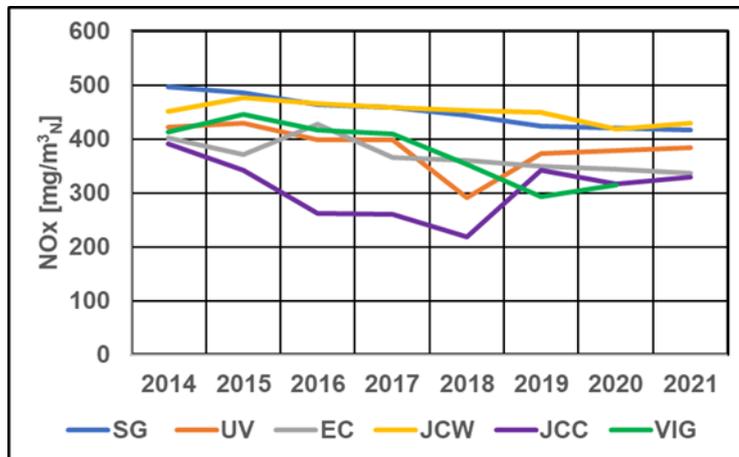
In der NOx-Branchenvereinbarung⁵ ist die Einhaltung folgender Werte festgelegt:

- Branchenspezifische Jahresmittelwerte:
 - ab 1.1.2016: 500 [mg/m³_N]
 - ab 1.1.2019: 480 [mg/m³_N]
 - ab 1.1.2020: 450 [mg/m³_N]
- werksspezifische Jahresmittelwerte:
 - ab 1.1.2016: 450 [mg/m³_N]
 - ab 1.1.2019: 430 [mg/m³_N]
 - ab 1.1.2020: 400 [mg/m³_N]

⁵ NOx-Branchenvereinbarung mit der Zementindustrie für die Periode vom 1. Januar 2017 bis zum 31. Dezember 2021

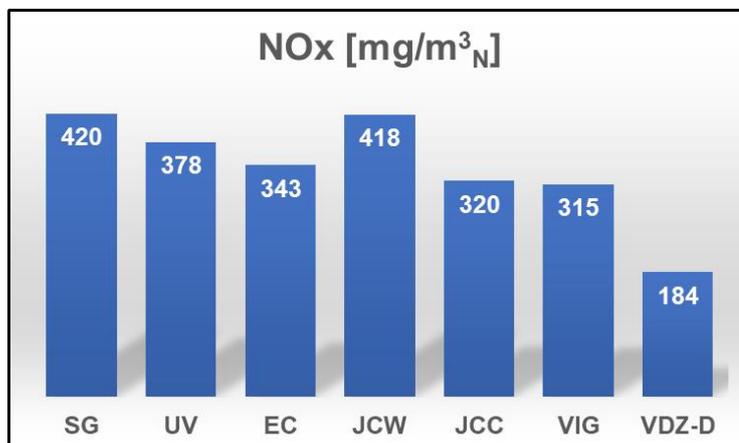
4.2 Jahresmittelwerte zwischen 2014 und 2021

FIGUR 01: Jahresmittelwerte der Schweizer Werke (2021, 1.Halbjahr)



4.3 Vergleich mit Deutschland (2020)

FIGUR 02: Jahresmittelwerte
Schweiz: Berechnet aus den Tagesmittelwerten
Deutschland: Mittelwert aus den Jahresmittelwerten



4.4 Beurteilung der NOx-Emissionen

Die Stickoxid-Emissionen sind in den letzten Jahren in den meisten Werken leicht gesunken. Die Ausnahme bildet das Holcim-Werk in Untervaz (UV), wo die Emissionen in den letzten drei Jahren angestiegen sind. In der Zeitperiode 2014 bis 2021 lagen nur vereinzelte Tagesmittelwerte über dem Wert von 500 [mg/m³_N] (Grenzwert der LRV ab 2016).

Alle ermittelten Jahresmittelwerte liegen unter den in der Branchenvereinbarung definierten Werten und zwar gilt das für die Branchen- und werkspezifischen Werte.

Die Schweizer Zementwerke reduzieren, mit Ausnahme des Werkes in Cornaux (Lepol-Ofen), die NO_x-Emissionen mit dem SNCR-Verfahren (selektive nicht-katalytische Reduktion). In der Schweiz liegt der Grenzwert seit 2016 bei 500 [mg/m³_N], in Deutschland wurde er auf 200 [mg/m³_N] gesenkt. Dies ist natürlich der Grund für die deutlich höheren Emissionen in der Schweiz.

Im Jahr 2020 wurden in der deutschen Zementindustrie⁶ 38 Ofenanlagen betrieben. An 20 dieser Anlagen wird das SCR-Verfahren (selektive katalytische Reduktion) inklusive 2 DeCONO_x-Anlagen zur NO_x-Minderung angewendet, in einem Fall ist eine Lösung mit katalytischen Filterschläuchen in Betrieb. Alle anderen Werke haben SNCR-Anlagen in Betrieb.

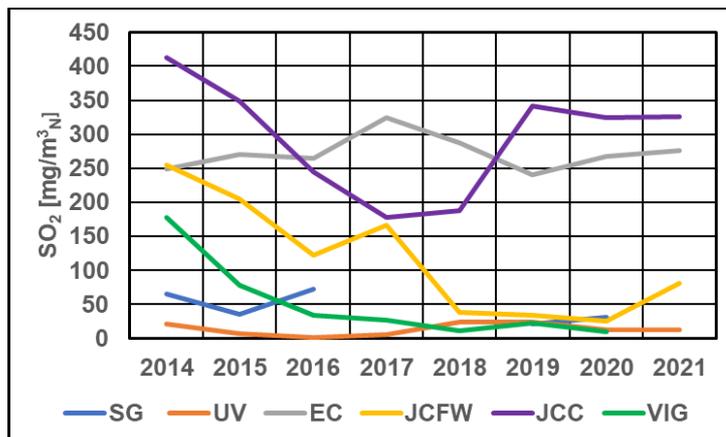
5. Schwefeldioxid SO₂

5.1 Grenzwert

Der Grenzwert liegt für die betrachtete Zeitperiode bei 500 [mg/m³_N].

5.2 Jahresmittelwerte zwischen 2014 und 2021

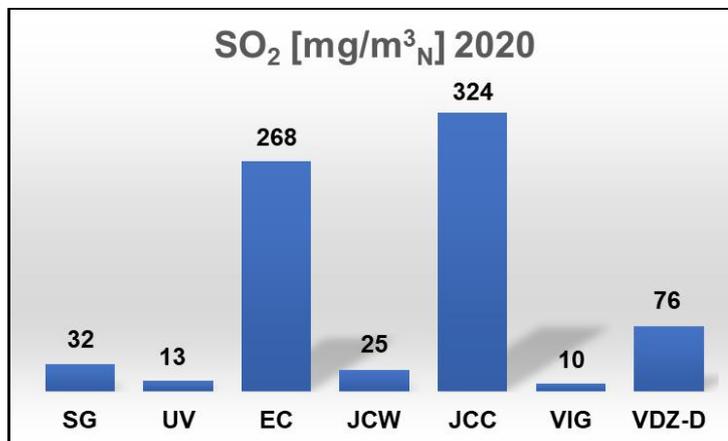
FIGUR 03: Jahresmittelwerte der Schweizer Werke (2021, 1.Halbjahr)



⁶ Verein deutscher Zementindustrie (VDZ); Umweltdaten der Deutschen Zementindustrie 2020

5.3 Vergleich mit Deutschland (2020)

FIGUR 04: Jahresmittelwerte
Schweiz: Berechnet aus den Tagesmittelwerten
Deutschland: Mittelwert aus den Jahresmittelwerten



Von den 38 deutschen Werken liegen die Jahresmittelwerte der SO₂-Emission in folgenden Bereichen:

- Zwischen 300 und 400 [mg/m³_N]: 3 Werke
- Zwischen 200 und 300 [mg/m³_N]: 5 Werke
- Zwischen 100 und 200 [mg/m³_N]: 4 Werke
- Zwischen 25 und 100 [mg/m³_N]: 5 Werke
- Unter 25 [mg/m³_N]: 21 Werke

5.4 Beurteilung der SO₂-Emissionen

Alle ermittelten Tagesmittelwerte der Schweizer Werke lagen in der Zeitperiode zwischen 2014 und 2021 (1. Halbjahr) unter dem Grenzwert von 500 [mg/m³_N]. In den Steinbrüchen kann ein Teil des Schwefels in sulfidischer Form vorliegen, z.B. Eisen(II)-Sulfid / Markasit (FeS₂). Dieser Schwefelanteil wird im Wärmetauscher, bei Temperaturen unter etwa 500 bis 550 [°C], teilweise zu Schwefeldioxid (SO₂) oxidiert und teilweise emittiert. Hingegen wird Schwefel in sulfatischer Form zum grössten Teil in den Klinker eingebunden.

- Die Werke der Holcim in Siggenthal (SG) und Untervaz (UV) haben Entschwefelungsanlagen und ihre Emissionen sind daher tief.
- Das Werk der Jura Cement in Wildeggen (JCW) hatte im letzten Jahrhundert relativ hohe SO₂-Emissionen, da der Steinbruch einen Teil des Schwefels in sulfidischer Form aufwies. Mit Zugabe von Kalkhydrat auf das Rohmaterial wurden die hohen Emissionen damals reduziert. Es zeigte sich aber, dass im Laufe der Zeit sich der sulfidische Anteil im Rohmaterial verringerte und die Reduktionsanlage nicht mehr benötigt wurde. Sie ist aber noch Stand-By für alle Fälle.

- Das Werk Juracime (JCC) in Coraux hat einen Lepol-Ofen, der ein Teil seiner Schwefeleinträge (Rohmaterial, Brennstoffe) emittiert.
- Das Holcim-Werk in Eclépens hat keine Anlage zur Reduktion ihres aus dem sulfidischen Schwefel stammenden Schwefeldioxids. Die Jahresmittelwerte der Emissionen liegen daher im Bereich zwischen 250 und etwas über 300 [mg/m³N]. Kein Tagesmittelwert überschritt aber seit 2014 den Grenzwert.
- Über den Grund der Abnahmen bei Ciments Vigier SA liegen keine Informationen vor.

6. Flüchtige Organische Verbindungen – TOC

6.1 Grenzwert

Bis Ende 2015 war kein Grenzwert im Anhang 2 der LRV speziell für Zementwerke definiert. Es galten daher die allgemeinen vorsorglichen Emissionsbegrenzungen des Anhang 1 (Ziffer 7). Diese waren aber für Zementwerke technisch nicht anwendbar. In der LRV 2016 wurde dann in Anhang 2 ein Grenzwert definiert.

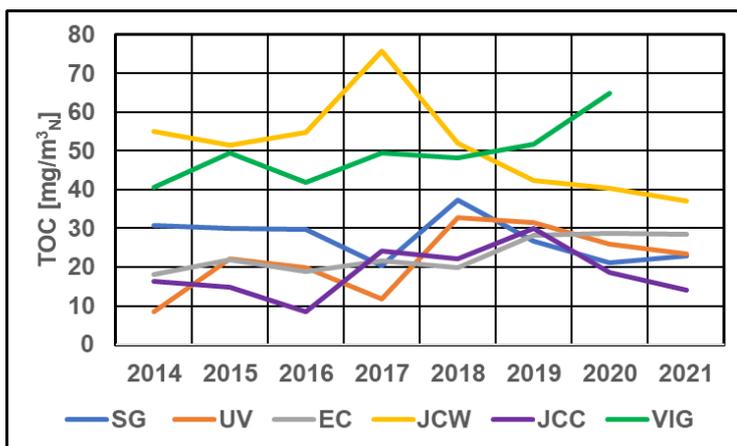
114 Gasförmige organische Stoffe

1 Die Emissionsbegrenzungen nach Anhang 1 Ziffer 7 gelten nicht.

2 Die Emissionen von gasförmigen organischen Stoffen werden als Gesamtkohlenstoff angegeben und dürfen 80 mg/m³ nicht überschreiten.

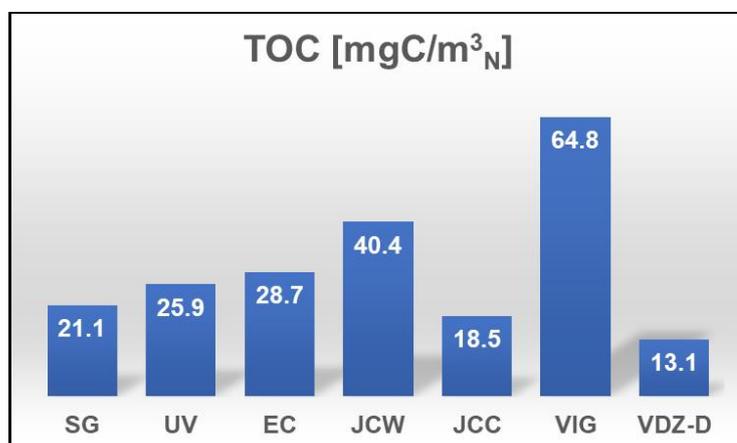
6.2 Jahresmittelwerte zwischen 2014 und 2021

FIGUR 05: Jahresmittelwerte der Schweizer Werke (2021, 1.Halbjahr)



6.3 Vergleich mit Deutschland (2020)

FIGUR 06: Jahresmittelwerte
Schweiz: Berechnet aus den Tagesmittelwerten
Deutschland: Mittelwert aus den Jahresmittelwerten



6.4 Überschreiten des Grenzwertes

Bei Holcim Siggenthal (SG) und Holcim Eclépens (EC) wurde in der ganzen Zeitperiode 2016 bis 2021 (1. Halbjahr) kein Tagesmittelwert gemessen, der grösser war als der 2016 definierte Grenzwert. Bei Holcim Untervaz (UV) wurden nur im Jahr 2017 zwei Messwerte über dem Grenzwert festgestellt, bei Juracim Cornaux (JCC) einer, sonst lagen alle darunter.

Bei den anderen beiden Zementwerken wurden folgende Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 80 [mg/m³N] festgestellt:

TABELLE 01: Anzahl Überschreitungen

	Jura Cement Wildegge	Ciments Vigier Péry
2016	35	0
2017	112	11
2018	0	6
2019	0	10
2020	0	40
2021/1.HJ	0	Keine Angabe

6.5 Beurteilung der Emissionen von organischen Verbindungen

Eine Quelle der TOC-Emissionen sind organische Bestandteile in den Rohmaterialien und zwar sowohl in den «natürlichen» Komponenten (Kalkstein, Mergel, Ton, etc.) wie auch in abfallbasierten Komponenten⁷ (kontaminierte Erde,

⁷ Oft auch alternative Komponenten genannt

Giessereisand, etc.), welche im Temperaturbereich bis etwa 600 [°C] aus dem Grundmaterial entweichen und emittiert werden.

Eine zweite Quelle ist die Sekundärverbrennung, wobei die organischen Verbindungen vorwiegend aus abfallbasierten Brennstoffen entstehen, welche in reduzierten Atmosphären ganz oder teilweise verbrannt werden.

Unabhängig von ihrer Herkunft lässt die Schweiz Emissionen von organischen Verbindungen bis zu einem Grenzwert von 80 [mgC/m³N] zu. Dieser Grenzwert ist in der Europäischen Union acht Mal tiefer als in der Schweiz und zudem lässt die Europäische Gesetzgebung keine Emissionen aus Abfällen zu.

Im Werk der Jura Cement (JCW) in Wildegg wurde festgestellt, dass die Ursache der hohen Werte und der Überschreitungen des Grenzwertes in den Jahren 2016 und 2017 die Verbrennung von Reifen in der Vorbrennkammer war. Durch technische Änderungen konnte die Verbrennung verbessert und die Emissionen gesenkt werden. Sie sind aber auch heute noch hoch und ein Teil stammt noch immer aus der Verbrennung von Abfällen, nämlich von Reifen.

Im Werk von Ciments Vigier sind die organischen Emissionen und auch die Überschreitungen des Grenzwertes im Laufe der Jahre angestiegen und erreichen 2020 mit einem Jahresmittelwert von 64.8 [mgC/m³N] eine neue Rekordmarke. Solche Emissionen können auf keinen Fall ausschliesslich mit Emissionen aus «natürlichen» Rohmaterial Komponenten begründet werden. Sie stammen aus der Verbrennung von abfallbasierten Rohmaterialkomponenten und/oder aus der Verbrennung von Abfall.

7. Benzol

Ab dem 01. Januar 2016 verlangt die Luftreinhalteverordnung (Anhang 2, Ziffer 119) die kontinuierliche Messung und Aufzeichnung von Benzol, wenn Abfälle mitverbrannt werden, was in den fünf Werken der Fall ist.

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*

7.1 Grenzwert

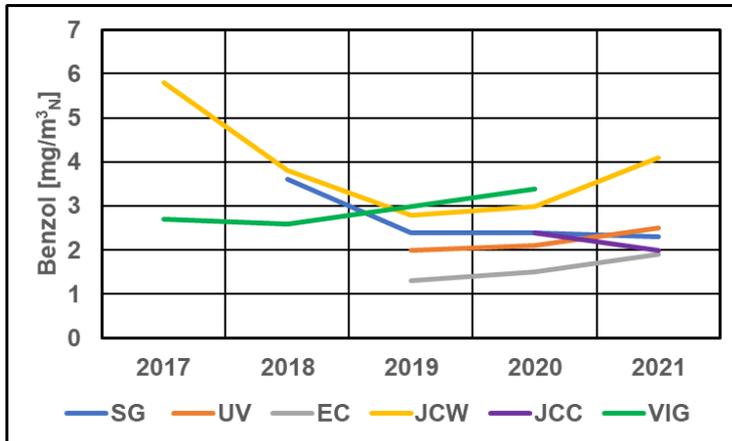
Benzol ist in der Luftreinhalteverordnung der Schweiz als krebserzeugender Stoff eingestuft und mit einem Grenzwert von 5 [mg/m³N] belegt.

In Anhang 1/Ziffer 82 wird zudem ein Minimierungsgebot für krebserzeugende Stoffe formuliert.

Die Emissionen von krebserzeugenden Stoffen sind unabhängig vom Risiko der durch sie verursachten krebserzeugenden Belastung so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

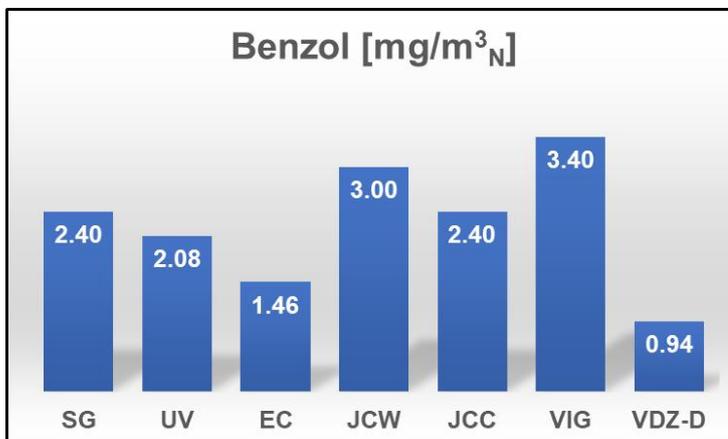
7.2 Jahresmittelwerte zwischen 2017 und 2021

FIGUR 07: Jahresmittelwerte der Schweizer Werke (2021, 1.Halbjahr)



7.3 Vergleich mit Deutschland (2020)

FIGUR 08: Jahresmittelwerte
Schweiz: Berechnet aus den Tagesmittelwerten
Deutschland: Mittelwert aus den Jahresmittelwerten



7.4 Überschreitung des Grenzwertes

7.4.1 Tagesmittelwerte

TABELLE 02: Überschreiten des Grenzwertes (Tagesmittelwerte)

	Holcim			Jura Cement		Ciments Vigier
	Siggen-thal	Eclépens	Unter-vaz	Wildegg Cement	Cornaux	
2017				172		17
2018	8			21		23
2019	0	0	0	1		0
2020	0	0	0	2	0	15
2021 (1.HJ)	0	0	0	1	0	---

Hinweis: Eine kontinuierliche Überwachung von Benzol wurde in der LRV 2016 erstmals verlangt. Die Installationen erfolgten zum Teil etwas später.

7.4.2 Stundenmittelwerte

a.) Jura Wildegg (JCW)

Die Überschreitungen des Grenzwertes (ohne Abzug) wurden vom Werk bzw. von der Aargauischen Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt, wie folgt bekanntgegeben:

TABELLE 03: Überschreitung des Grenzwertes (Stundenmittelwerte)

Überschreitungen	2 x Stundenmittelwert 10 [mg/m ³]
ab Mai 2016	94
2017	687
2018	32
Apr.- Dez. 2018	7
2019	1

Bemerkung: Im März/April 2018 wurde die Vorbrennkammer verändert.

b.) Ciments Vigier

Das Amt für Umwelt und Energie hat die Überschreitungen des doppelten Grenzwertes nach Abzug der Unsicherheit für die Stundenmittelwerte bekanntgegeben. In der nächsten Tabelle sind die maximalen Werte angegeben, wobei

der eigentliche Messwert aus dem angegebenen Wert mit dem Abzug berechnet wurde (20 [%] Unsicherheit).

TABELLE 04: Überschreitung des doppelten Grenzwertes
(Stundenmittelwerte)

Jahr	Anzahl Überschreitungen 6 [mg/m ³ N]	Maximaler Wert nach Abzug	Maximaler Wert ohne Anzug (berechnet)
2019	7	25.2	30.2
2020	23	22.3	26.8

7.5 Beurteilung der Benzol-Emissionen

Benzol gehört zu den flüchtigen organischen Verbindungen, die mit dem TOC erfasst werden. Die Quelle ist die gleiche wie für die mit dem TOC erfassten Verbindungen, von denen Benzol eine ist. Die hohen Emissionen sind daher eine Folge der Zulassung von Emissionen aus der Mitverbrennung von Abfällen (abfallbasierte Rohmaterialien und Brennstoffe) durch die Behörden in der Schweiz im Gegensatz zu anderen europäischen Staaten.

7.5.1 Holcim Siggenthal (SG)

Die Überschreitungen des Grenzwertes im Jahre 2018 war eine Folge der Verwendung von «Strassensammelgut» (Wischgut, Gut aus Abwasserschächten, etc.). Die Benzol-Emissionen stammen aus dem Gummiabrieb von Reifen, wie schon Versuche im Holcim-Werk in Untervaz im Jahre 1997 gezeigt haben.

7.5.2 Jura Cement Wildegg (JCW)

Das Werk Wildegg hat erkannt, dass die Emissionen dieser Verbindung aus der Vorbrennkammer stammen und diese abgeändert, was zu einer Verminderung der Emissionen führte. Doch das reicht nicht und so hat sich das Werk entschlossen im Frühjahr 2022 landesweit die erste regenerativ-thermische Oxidationsanlage (RTO) einzubauen. Damit werden die organischen Emissionen und natürlich auch Benzol bis auf Spuren reduziert.

7.5.3 Ciments Vigier

Das Werk von Vigier hat den Grenzwert für die krebserzeugende Verbindung sowohl bei den Tagesmittelwerten als auch bei den Stundenmittelwerten sehr oft überschritten, wobei zum Teil sehr hohe Maximalwerte gemessen wurden, so 7.5 [mg/m³N] für einen Tagesmittelwert und 30.2 [mg/m³N] (berechnet aus dem Wert nach Abzug der Unsicherheit) für einen Stundenmittelwert. Für eine krebserzeugende Verbindung, und das ist Benzol, gilt nicht nur der Grenzwert, sondern auch das Minimierungsgebot der LRV.

Anhang 1: 8 Krebserzeugende Stoffe

82 Emissionsbegrenzung

1 Die Emissionen von krebserzeugenden Stoffen sind unabhängig vom Risiko der durch sie verursachten krebserzeugenden Belastung so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

Das Vigier-Werk muss also die Quelle dieser Emission identifizieren und sofort eliminieren. Solch krebserzeugende Emissionen dürfen auf keinen Fall akzeptiert werden. Diese hohen Emissionen existieren mindestens seit 2017 (Beginn der kontinuierlichen Messung)

8. Dioxine und Furane (PCDD/PCDF)

(Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane)

8.1 Grenzwert

Die Schweiz hat den Grenzwert erst 2016 in die Luftreinhalteverordnung der Schweiz aufgenommen. In europäischen Verordnungen ist dieser Grenzwert schon seit der Jahrtausendwende definiert.

Anhang 2, Ziffer 118 (Dioxine und Furane)

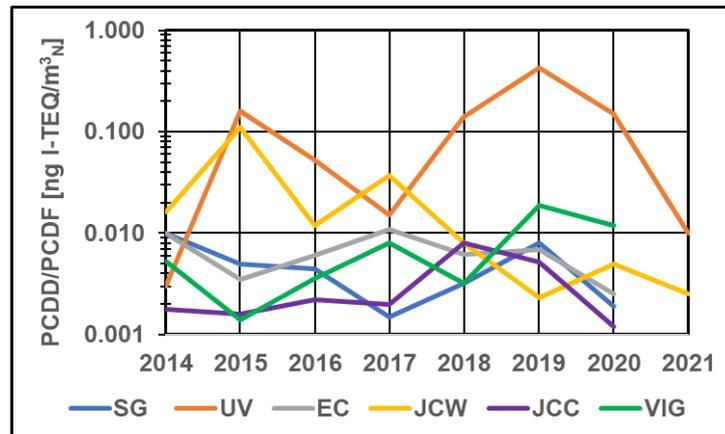
Die Emissionen von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen (Dioxine) und Dibenzofuranen (Furane), angegeben als Summenwert der Toxizitätsäquivalente nach EN 1948-1, dürfen 0,1 ng/m³ nicht überschreiten.

Zu erwähnen ist im Weiteren, dass auch für diese Verbindungen, analog zu Benzol, das Minimierungsgebot (vgl. Benzol, 7.1) gilt.

8.2 Resultate der Kontrollmessungen zwischen 2014 und 2021

PCDD/PCDFs reichern sich im äusseren Kreislauf (Kreislauf zwischen oberster Vorwärmerstufe und Filter) an und werden vorwiegend im Direktbetrieb emittiert. Daher sind auch nur die Messungen dieser Betriebsart dargestellt.

FIGUR 09: Resultate der Kontrollmessungen
(logarithmische Darstellung der Werte)



Ciments Ciments (VIG) hat die Werte bis 2018 im Verbundbetrieb angegeben. Holcim Untervaz hat im Jahr 2019 die Kontrollmessung wiederholt (siehe Tabelle 05)

8.3 Vergleich mit Deutschland (2020)

Nach dem veröffentlichten Diagramm mit der graphischen Darstellung der ermittelten PCDD/PCF-Emissionen in den Umweltdaten des Vereins der deutschen Zementindustrie (VDZ) wurden folgende PCDD/PCDF-Emissionen gemessen:

- Etwa 0.05 [ng I-TEQ/m³N]: 1 Werk
- Zwischen 0.02 und 0.04 [ng I-TEQ/m³N]: 3 Werke
- < 0.01 [ng I-TEQ/m³N]: 32 Werke

8.4 Überschreitung des Grenzwertes

8.4.1 Jura Cement Wildegg (JCW)

Den Wert von 0.1 [ng I-TEQ] wurde im Werk der Jura Cement Wildegg 2015 mit 0.11 [ng I-TEQ] knapp überschritten. Damals existierte in der Schweiz aber noch kein Grenzwert. Der hohe Wert trat im Direktbetrieb auf und zwar in der Zeit der hohen TOC- und Benzol-Werte. Nachdem die Vorbrennkammer verbessert wurde, traten nur noch geringe Emissionskonzentrationen auf. Dies deutet darauf hin, dass die Ursache der erhöhten Werte, sowohl für TOC und Benzol als auch für PCDD/PCDF durch die Mitverbrennung von Abfällen von Abfällen (Reifen) war.

8.4.2 Holcim Untervaz (UV)

Das Werk der Holcim in Untervaz weist sehr hohe PCDD/PCDF-Emissionen in beiden Betriebsarten auf, was auf einen hohen Gehalt dieser Verbindungen im äusseren Kreislauf hindeutet. Die hohen Emissionen treten nicht regelmässig auf, was auf einen nicht-konstanten Einfluss hindeutet, z.B. auf abfallbasierte Rohmaterialkomponenten.

TABELLE 05: Ergebnisse aller PCDD/PCDF-Messungen in Untervaz

PCDD/PCDF	Grenzwert [ng I-TEQ/m ³ N]	Verbundbetrieb [ng I-TEQ/m ³ N]	Direktbetrieb [ng I-TEQ/m ³ N]
2014	Kein GW	0.002	0.003
2015	Kein GW	0.087	0.16
2016	0.1	0.059	0.052
2017		0.0032 ± 0.0013	0.015 ± 0.005
2018		0.045 ± 0.0014	0.14 ± 0.04
2019		0.057 ± 0.017	0.43 ± 0.13
		0.068 ± 0.021	0.15 ± 0.05
2020		0.043 ± 0.013	0.082 ± 0.025
2021/H1		0.0038 ± 0.0018	0.010 ± 0.003

Im Werk Untervaz ereignete sich ein solcher Emissionsfall in den 90er Jahren. Damals konnte eindeutig eine Beimischung kritischer Stoffe zum Rohmaterial als Ursache identifiziert werden. Das Umweltamt des Kantons Graubünden wurde damals eingehend über diese Probleme informiert.

8.5 Beurteilung der PCDD/PCDF-Emissionen

Nach den Erfahrungen des Autors werden hohe PCDD/PCDFs im Zementofen in der Regel durch abfallbasierte Komponenten des Rohmaterials verursacht, welche bestimmte organische Verbindungen enthalten. Wie Untersuchungen gezeigt haben, sind die organischen Verbindungen in diesen Komponenten nur leicht gebunden und werden bei der Aufheizung spätestens in den obersten Zyklonstufen des Vorwärmers verdampft, bilden teilweise einen Kreislauf zwischen Filter und obersten Vorwärmerstufen (sogenannter äusserer Kreislauf), und werden vorwiegend im Direktbetrieb emittiert. Dieser Kreislauf bildet sich genau im kritischen Temperaturbereich der «De-Novo-Synthese» der PCDD/PCDFs und aus Vorläufersubstanzen können sich diese Verbindungen bilden. Es ist auch möglich, dass die Vorläufersubstanzen aus einer unvollständigen Verbrennung in die kritische Zone gelangen, was wahrscheinlich im Fall Wildegg der Fall war.

Kritisch ist die PCDD/PCDF-Emission nur im Holcim-Werk in Untervaz. Es wurden dort vier Werte über 0.1 [ng I-TEQ/m³N] bestimmt. Der 2019 gemessene Wert im Direktbetrieb liegt mit 0.43 [ng I-TEQ/m³N] sogar um mindestens Faktor vier über dem Grenzwert.

Für diese Verbindungen gilt nicht nur der Grenzwert, sondern auch das Minimierungsgebot der Luftreinhalteverordnung (vgl. Benzol, 7.1)

Das Holcim-Werk Untervaz muss also die Quelle dieser Emission identifizieren und sofort eliminieren. Sehr wahrscheinlich löst eine abfallbasierte Rohmaterialkomponente diese Emissionen aus und diese darf auf keinen Fall in Zukunft weiterverwendet werden. Ihr Einsatz ist weder technisch noch betrieblich notwendig und ein Verzicht ist sicher auch wirtschaftlich tragbar.

9. Kontrollmessungen von weiteren Emissionen

9.1 Benzo(a)pyren, Dibenz(a,h)anthracen, Summe Blei und Zink

Die Emissionen dieser Verbindungen liegen in allen Werken recht deutlich unter dem jeweiligen Grenzwert.

9.2 Quecksilber

Quecksilber reichert sich im äusseren Kreislauf zwischen Wärmetauscher und Filter an und wird vorwiegend im Direktbetrieb, also bei ausgeschalteter Mühle, emittiert.

Quecksilber wird einmal über die Brennstoffe und andererseits über die «natürlichen» und teilweise auch durch die abfallbasierten Rohmaterialien in das System eingetragen. Nach den Erfahrungen des Autors ist der Eintrag über die «natürlichen» Rohmaterialien in der Schweiz klein und somit verbleiben als Ursprung die abfallbasierten Rohmaterialien und Brennstoffe.

9.2.1 Holcim Untervaz.

TABELLE 06: Kontrollmessungen zwischen 2017 und 2021

Quecksilber Hg	Grenzwert [mg/m ³ N]	Verbundbetrieb [mg/m ³ N]	Direktbetrieb [mg/m ³ N]
2017	0.05	0.0013 ± 0.0004	0.015 ± 0.004
2018		< 0.0005	0.024 ± 0.006
2019		0.0062 ± 0.0015 0.0081 ± 0.002	0.082 ± 0.021 0.046 ± 0.012
2020		0.0024 ± 0.0006	0.053 ± 0.013
2021/H1		0.00048 ± 0.00019	0.0033 ± 0.0008

2019 und 2020 wurden der Grenzwerte im Direktbetrieb überschritten. Wahrscheinlich ist das Quecksilber über abfallbasierte Rohmaterialien oder Brennstoffe in das Ofensystem gelangt. Dies muss in einem Zementwerk durch entsprechende Eingangskontrollen verhindert werden. Es sei auch hier für Quecksilber auf das Minimierungsgebot der LRV hingewiesen (vgl. Benzol; 7.1).

9.2.2 Ciments Vigier

Bei Vigier trat 2020 ein hoher Emissionswert der Summe aus Quecksilber und Cadmium von 0.052 [mg/m³N] auf.

Nach Anhang 2 (Steine und Erden), Ziffer 116 der Luftreinhalteverordnung gilt für die beiden Verbindungen folgendes:

Die Emissionen von Quecksilber und Cadmium und deren Verbindungen, angegeben als Metalle, dürfen je 0.05 mg/m³ nicht überschreiten.

Es gilt also für Zementöfen kein Summengrenzwert für Quecksilber und Cadmium, sondern ein Grenzwert für jede der beiden Verbindungen.

Da Cadmium in der Regel nur im Bereich von 0.00x [mg/m³N] emittiert wird, könnte die Emission von Quecksilber in Bereich des Grenzwertes liegen.

10. Kohlenmonoxid (CO)

In der Schweizer Luftreinhalteverordnung gibt es keinen Grenzwert für Kohlenmonoxid (CO), das als Gradmesser für die Vollständigkeit der Verbrennung dient. Es ist dringend erforderlich, dafür einen Grenzwert einzuführen und die Zementwerksbetreiber zu verpflichten, diesen Schadstoff ebenfalls kontinuierlich zu messen, aufzuzeichnen und bekanntzugeben.

Josef Waltisberg
dipl. Ing. ETH
Eichhaldenweg 23
CH-5113 Holderbank
Mail: josef@waltisberg.com
Homepage: waltisberg.com