

# **Staubmonitoring des Steinbruchs Auenstein/Veltheim der Jura-Cement-Fabriken AG**

*Resultate der Messkampagne 2022*



Freiburg, 03.7.2023  
Version 1.0

<b>Auftraggeber</b> Jura Cement SA Talstrasse 13 5103 Wildegg	<b>Projektleitung</b> Andreas Kofler Projekte Steinbrüche	<b>Autoren</b> Dr. Juanita Rausch Dr. David Jaramillo Vogel Particle Vision GmbH
--	---	---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1. Ausgangslage und Fragestellung</b>	<b>5</b>
<b>2. Messstandorte und Probenahme</b>	<b>6</b>
2.1 Staubniederschlag-Probenahme (Bergerhoff-Topf)	8
2.2 Grobstaub-Probenahme (Sigma-2 Passivsammler)	8
<b>3. Methoden</b>	<b>9</b>
3.1 Gravimetrische Staubbestimmung	9
3.2 Automatisierte Rasterelektronenmikroskopie gekoppelt mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (REM/EDS)	9
3.3 Partikelklassifikator (PACLA)	9
3.4 Monitoring-Strategie	10
<b>4. Resultate</b>	<b>12</b>
4.1 Staubniederschlag (Gravimetrie)	12
4.2 Morpho-chemische Charakterisierung und Quellendifferenzierung des Grobstaubes 2.5 – 80 µm (REM/EDS/PACLA)	14
<b>5. Wichtigste Ergebnisse</b>	<b>18</b>
<b>6. Fazit</b>	<b>19</b>
<b>7. Referenzen</b>	<b>20</b>
<b>8. Anhang</b>	<b>21</b>
8.1 Heatmap Lesebeispiel	21
8.2 Heatmaps Emmissionsstandort JCF2	21

# Zusammenfassung

Die Jura-Cement-Fabriken (JCF) haben sich nach der ersten Staubmonitoring-Messkampagne (2016) verpflichtet, die Staubemissionen am Standort Steinbruch Garage (JCF2) um ein Drittel zu reduzieren. Für die Überwachung der Staubemissionen und um die Staubreduktion dokumentieren zu können, wurde in den Jahren 2017-2022 erneut ein quellendifferenzierendes Staubmonitoring mit Particle Vision GmbH durchgeführt. Der vorliegende Bericht präsentiert die Resultate zwischen dem 17. Februar 2022 und dem 14. Februar 2023. Dazu wurde bei den wichtigsten Messparametern ein Vergleich zu den vergangenen Jahren gezogen.

Die Aufgabe war, den Staub, welcher aus den Steinbruchaktivitäten stammt, am Emissionsstandort (JCF2) zu differenzieren und zu quantifizieren. Zusätzlich wurden Reserveproben am Immissionsstandort JCF1 genommen, welche zur Beurteilung von auffälligen Staubereignissen zur Verfügung standen.

Für die Staubüberwachung wurde ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Einerseits wurden einmonatige Bergerhoffproben auf die Staubbiederschlagmenge nach VDI 4320 Blatt 1 untersucht und mit dem LRV-Jahresgrenzwert verglichen. Andererseits wurden in zweiwöchigen Probenahmenintervallen Sigma-2 Proben mittels Rasterelektronenmikroskopie gekoppelt mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (REM/EDS) analysiert, um die Massenkonzentration des Grobstaubes (2.5 - 80 µm) nach VDI 2119 Blatt 4 zu ermitteln. Für die detailliertere Partikelcharakterisierung wurden die morpho-chemischen Informationen aus der REM/EDS Einzelpartikelanalytik beigezogen. Mit diesen Daten wurde eine detaillierte Quellenzuordnung und eine Berechnung der Anteile der verschiedenen Quellen (Steinbruchpartikel vs. andere Partikel, welche biogene, geogene und Verkehrspartikel umfassen) vorgenommen.

Die Resultate der Messkampagne im Jahr 2022 zeigen auf, dass der Staubbiederschlag am Emissionsstandort JCF2 (Jahresmittelwert:  $102 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) unter dem Immissions-Jahresgrenzwert von  $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  lag.

Die Grobstaubbelaftung (2.5-80 µm) im Steinbruch selbst und in der Umgebung wird von verschiedenen Partikelquellen beeinflusst. Bis 2018 bestanden die Staubemissionen aus dem Steinbruch hauptsächlich aus lokalem Kalkstein und Mergel. Im Jahr 2019 wurden zusätzlich neben Kalkstein und Mergel aus anderen Steinbrüchen (z.B. Seekreide und Bözberg-Kalkstein/Mergel) auch silikatische Gesteine (z. B. Moräne und Auffüllmaterial aus Gubrist, Bözberg und Giessereialtsand) in den Steinbruch geliefert. Daher wurde der Fingerprint der neu eingeführten Gesteine in der Messkampagne von 2019 bestimmt und in die Partikelbibliothek als «Steinbruchpartikel» eingefügt (siehe Bericht 2019).

Ausser dem Kalkstein, Mergel und silikatische Partikel aus dem Steinbruch sind auch natürliche (Pollen, Sporen und geogener Staub) und anthropogene Partikel (meist aus dem Strassenverkehr wie z. B. Pneu- und Bremsabrieb, welche typische Bestandteile der untersuchten Partikelfraktion: 2.5 - 80 µm sind) vorhanden. Diese beeinflussen die Staubkonzentration je nach Jahreszeit unterschiedlich und machten im Messjahr 2022 zwischen 21 % (Periode 4) und 60 % (Periode 18) des gesamten Grobstaubes aus. Das bedeutet gleichzeitig, dass der relative und absolute Anteil an Steinbruchpartikeln über das ganze Jahr auch stark variieren kann (Abbildung 1). Deshalb kann kein konstantes Verhältnis zwischen Steinbruchpartikeln und anderen Partikeln angenommen werden. Im Durchschnitt betrug der Anteil der Partikel aus anderen Quellen als aus dem Steinbruch 37 %. Der Jahresmittelwert der Grobstaubbelaftung (2.5-80 µm geom. Partikeldurchmesser) durch die Summe von Kalkstein, Mergel und silikatische Partikel (z.B. Moräne und Auffüllmaterial) aus den Steinbruchaktivitäten betrug an dem Emissionsstandort JCF2,  $14.7 \text{ µg} \cdot \text{m}^{-3}$  (rote Linie in der Abbildung 1). Somit wurde im Vergleich zu dem Mittelwert der Steinbruchemissionen am JCF2 von  $35 \text{ µg} \cdot \text{m}^{-3}$  aus der Messkampagne 2016 (schwarze Linie in der Abbildung 1) eine Abnahme von 58 % festgestellt (Abbildung 2). Diese ist praktisch identisch zu der Abnahme des vergangenen Jahres (2020 = 57 %). Somit wird der Zielwert (d.h. 1/3 der Staubemissionen vom Jahr 2016), welcher im

Jahr 2018 erreicht wurde, im Jahr 2022 sowie im Jahr 2019, 2020 und 2021 weiterhin aufrechterhalten (Abbildung 2).

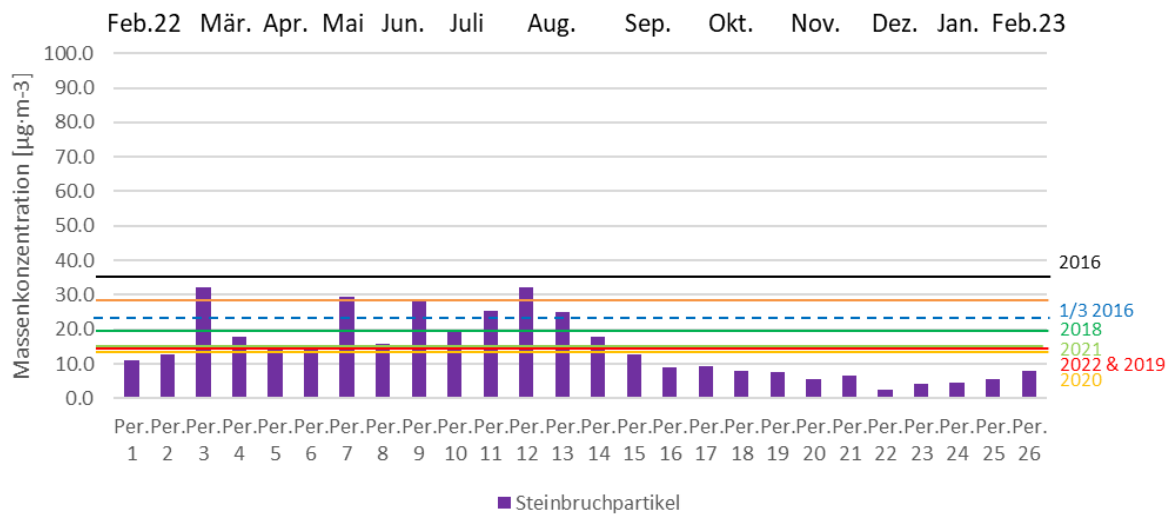


Abbildung 1: Konzentrationsverlauf der Steinbruchpartikel während der Messkampagne 2022. Schwarze Linie: Mittelwert aus der Messkampagne 2016 (berechnet aus 4 Stichperioden); orange Linie: Jahresmittelwert aus der Messkampagne 2017; gestrichene, blaue Linie: Zielwert, der eine Reduktion der Staubemissionen aus dem Steinbruch Auenstein/Veltheim um 1/3 des Mittelwertes aus dem Jahr 2016 entspricht. Dunkle-grüne Linie: Jahresmittelwert aus der Messkampagne 2018. Gelbe Linie: Jahresmittelwert aus der Messkampagne 2020. Hell-grüne Linie: Jahresmittelwert aus der Messkampagne 2021. Rote Linie: Jahresmittelwert aus der Messkampagne 2022 und 2019.

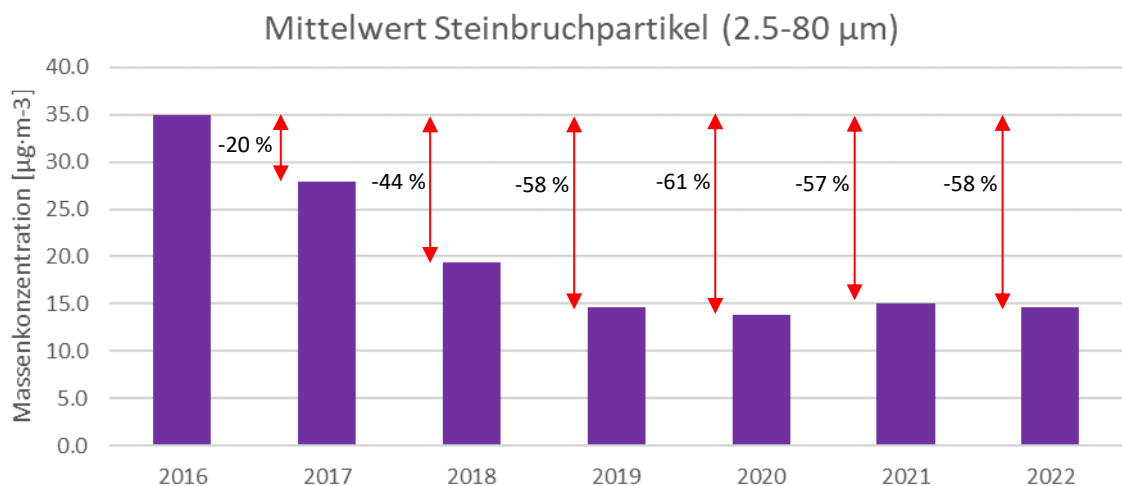


Abbildung 2: Vergleich der Jahresmittelwerte für die Massenkonzentration an Steinbruchpartikeln (2.5-80 µm geom. Durchmesser) der Messkampagnen 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 und 2022 für den Standort JCF2.

# 1. Ausgangslage und Fragestellung

Die Jura-Cement-Fabriken (JCF) führen seit Ende Januar 2016 ein Staubmonitoring, das die Aktivitäten im Steinbruch Auenstein/Veltheim überwacht, mit Particle Vision GmbH durch. Im Jahr 2016 wurden die Staubemissionen und -immissionen aus dem Steinbruch Auenstein/Veltheim an mehreren Orten (vier permanent und sechs saisonal betriebene Standorte) in Detail untersucht. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse wurden im Juni 2017 die Anzahl der Standorte reduziert. Es wurde entschieden am Emissionsstandort JCF2 eine detaillierte Staubbildifizierung über das ganze Jahr durchzuführen. Die Aufgabe war die Entwicklung der Emissionen zu dokumentieren, da JCF sich verpflichtet hat die Staubemissionen um einen Drittel im Bezug zum Mittelwert 2016 zu senken.

Zusätzlich dazu wurden die Proben des Immissionsstandorts JCF1 bis Mai 2020 weiter auf ihre Konzentration analysiert, und die Staubimmissionen auffälliger Perioden morpho-chemisch charakterisiert und nach Quellen differenziert. Diese Messstrategie wurde ab Mai 2020 angepasst, in dem am JCF1 weiterhin Proben genommen aber nicht analysiert werden. Diese stellen Reserveproben dar, welche zur Beurteilung von eventuellen auffälligen Staubereignissen bzw. Klagen der Bevölkerung zur Verfügung stehen.

Die detaillierte Partikelherkunftsbestimmung der Proben aus dem Emissionsstandort JCF2 sollen weiterhin als Erfolgskontrolle der umgesetzten Massnahmen dienen.

## 2. Messstandorte und Probenahme

Das betriebene Messnetz im Jahr 2022 umfasste die Standorte JCF2 (Steinbruch Garage) und als Reserve JCF1 (Steinbitz). Die Lage der beiden Messstandorte entsprach genau der Lage der Messkampagnen im Jahr 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 und 2021 (Abbildung 3). Der Standort JCF2 diente einerseits der Erfassung des Staubbiederschlags für Partikel mit einem geometrischen Durchmesser  $< 1 \mu\text{m}$ , der Staubmassenkonzentration für Partikel zwischen  $2.5\text{-}80 \mu\text{m}$  geometrischem Durchmesser, und andererseits ihrer Herkunftsbestimmung.



Abbildung 3: Geographische Lage der permanent betriebenen Standorte im 2022 (JCF1: Reserveproben, JCF2: kontinuierliche Staubquantifizierung und -differenzierung).

Die Tabelle 1 und Tabelle 2 geben die Standortbezeichnung, Probenahmemethoden und Probenahmezeiten der Standorte wieder. Da die Sigma-2 Messintervalle (= Periode) nicht synchron mit der Bergerhoffprobenahme (= Serie) erfolgten, wurden sie jeweils unterschiedlich genannt.

Messstandort-code	Messstandortbezeichnung	Standorttyp	Serie/Perioden	Probenahmemethoden
JCF1	Steinbitz	Immission	1-26	Sigma-2 Passivsammler (Reserveproben)
JCF2	Steinbruch Garage	Emission	1-13 1-26	Bergerhofftopf Sigma-2 Passivsammler

Tabelle 1: Angaben zu den Messstandorten (Code, Bezeichnung, Standorttyp, Probenahmeperioden und -methoden).

Periode	Probenahme Start	Probenahme Ende	Serie	Probenahme Start	Probenahme Ende
	<b>Sigma-2 Passivsammler</b>			<b>Bergerhofftopf</b>	
Per. 1	17.02.2022	02.03.2022	Ser. 1	17.02.2022	16.03.2022
Per. 2	02.03.2022	16.03.2022	Ser. 2	16.03.2022	13.04.2022
Per. 3	16.03.2022	31.03.2022	Ser. 3	13.04.2022	11.05.2022
Per. 4	31.03.2022	13.04.2022	Ser. 4	11.05.2022	16.06.2022
Per. 5	13.04.2022	27.04.2022	Ser. 5	16.06.2022	11.07.2022
Per. 6	27.04.2022	11.05.2022	Ser. 6	11.07.2022	03.08.2022
Per. 7	11.05.2022	03.06.2022	Ser. 7	03.08.2022	31.08.2022
Per. 8	03.06.2022	16.06.2022	Ser. 8	31.08.2022	28.09.2022
Per. 9	16.06.2022	28.06.2022	Ser. 9	28.09.2022	27.10.2022
Per. 10	28.06.2022	11.07.2022	Ser. 10	27.10.2022	22.11.2022
Per. 11	11.07.2022	22.07.2022	Ser. 11	22.11.2022	20.12.2022
Per. 12	22.07.2022	03.08.2022	Ser. 12	20.12.2022	19.01.2023
Per. 13	03.08.2022	18.08.2022	Ser. 13	19.01.2023	14.02.2023
Per. 14	18.08.2022	31.08.2022			
Per. 15	31.08.2022	15.09.2022			
Per. 16	15.09.2022	28.09.2022			
Per. 17	28.09.2022	13.10.2022			
Per. 18	13.10.2022	27.10.2022			
Per. 19	27.10.2022	09.11.2022			
Per. 20	09.11.2022	22.11.2022			
Per. 21	22.11.2022	07.12.2022			
Per. 22	07.12.2022	20.12.2022			
Per. 23	20.12.2022	05.01.2023			
Per. 24	05.01.2023	19.01.2023			
Per. 25	19.01.2023	01.02.2023			
Per. 26	01.02.2023	14.02.2023			

*Tabelle 2: Angaben zu den Probenahmenintervallen am Emissionsstandort JCF2. Bei der Serie 7 der Bergerhoff-Probenahme fand leider ein Ausfall leider statt.*

Die Probenahmen und Analysen konnten mit der Ausnahme der Serie 7 (Bergerhoff) erfolgreich durchgeführt werden.



## 2.1 Staubniederschlag-Probenahme (Bergerhoff-Topf)

Der Staubniederschlag für Partikel mit einem geometrischen Durchmesser  $< 1\text{ mm}$  wurde mittels Bergerhoff-Töpfen gemäss VDI 4320 Blatt 1 erfasst (Abbildung 4). Dazu wird ein Kunststofftopf mit einer Öffnungsfläche von  $90\text{ cm}^2$  in einem Vogelschutzkorb ausgesetzt.



Abbildung 4: Staubniederschlag-Probenahme nach Bergerhoff mit einem Kunststofftopf (links vom Verkehrsschild) und Sigma-2 Passivsammler (rechts vom Verkehrsschild).

## 2.2 Grobstaub-Probenahme (Sigma-2 Passivsammler)

Für die Massenkonzentrationsberechnungen mit den Daten aus der automatisierten Rasterelektronenmikroskopie Einzelpartikelanalyse und für die morpho-chemische Charakterisierung der groben Partikel ( $2.5\text{--}80\text{ }\mu\text{m}$ ) wurde die Probenahme mittels Sigma-2 Passivsammler (nach VDI 2119, Blatt 4) vorgenommen (Abbildung 4).



Das im Sigma-2 exponierten Kohlenstoff-Klebepad (Abbildung 5) wurde mittels automatisierter Rasterelektronenmikroskopie gekoppelt mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (REM/EDS) für die morpho-chemische Charakterisierung der einzelnen Partikel analysiert. Für die Auswertung der morphologischen und chemischen Partikeldaten wurde der von Particle Vision GmbH entwickelte Partikelklassifikator (PACLA) eingesetzt (Methoden, Kap. 3)

Abbildung 5: Haftoberfläche mit verschiedenen Substraten (Bor: unten rechts, C-Pad: oben rechts und Glasoberfläche: links)



## 3. Methoden

### 3.1 Gravimetrische Staubbestimmung

Der Inhalt des Bergerhofftopfes (in der Regel flüssige Phase) wird durch ein Edelstahlsieb mit einer Maschenweite von 1 mm Kantenlänge filtriert. Damit werden gröbere Partikel, wie Pflanzenreste, Insekten etc. aus der Probe entfernt. Das Wasser des Filtrates wird im Labor abgedampft und der feste Rückstand gewogen. Die resultierende Masse wird unter Einbezug der Öffnungsfläche des Auffanggefäßes, und der Expositionszeit in die Massendepositionsrates in  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  berechnet.

### 3.2 Automatisierte Rasterelektronenmikroskopie gekoppelt mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (REM/EDS)

Alle Proben vom Standort JCF2 wurden mittels automatisierter REM/EDS Einzelpartikelanalytik auf die chemische Zusammensetzung und morphologischen Eigenschaften untersucht (Abbildung 6). Dabei wurden die C-Pads der Sigma-2 Proben mit einem Zeiss Gemini SEM 300 Mikroskop ausgerüstet mit einem Oxford X-MAX 80  $\text{mm}^2$  EDS-Detektor analysiert. Mit den erzeugten n-dimensionalen morpho-chemischen Daten lässt sich unter Verwendung des Partikelklassifikators (Kap. 3.3) die Herkunft der Partikel und deren Anteile im nichtflüchtigen Grobstaub bestimmen.

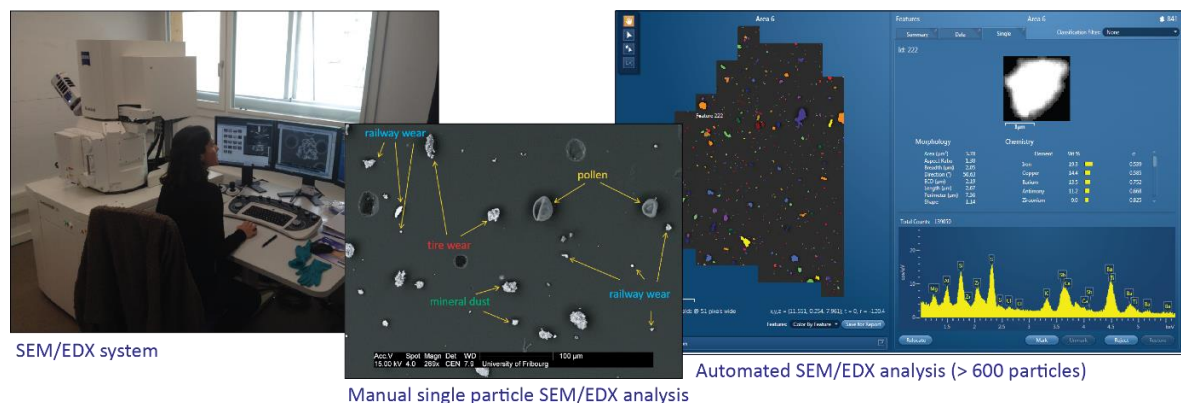


Abbildung 6: Ablaufschema der automatisierten REM/EDS Einzelpartikelanalytik

### 3.3 Partikelklassifikator (PACLA)

Die Auswertung der grossen Anzahl von Parametern (Chemiedaten, Grössenverteilung, Formen etc.), welche aus der Einzelpartikelanalytik entstehen, ist ohne ein automatisiertes, statistisches Verfahren fehleranfällig und sehr zeitintensiv. Um diese komplexe Arbeit optimal und effizient zu gestalten, wurde die Hauptauswertung mit dem Partikelklassifikator (PACLA) vorgenommen. Dabei handelt sich um eine Software, die Particle Vision GmbH zusammen mit dem Institut für Datenanalyse und Prozessdesign (IDP) der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) und der Universität Fribourg mit finanzieller Unterstützung der Kommission für Technologie und Innovation (KTI), entwickelt hat (Meier et al., 2018).

Basiert auf einer Clusteranalyse werden die Partikel nach ihrer chemischen Zusammensetzung gruppiert und anschliessend nach ihren morphologischen Eigenschaften unterteilt (Abbildung 7).

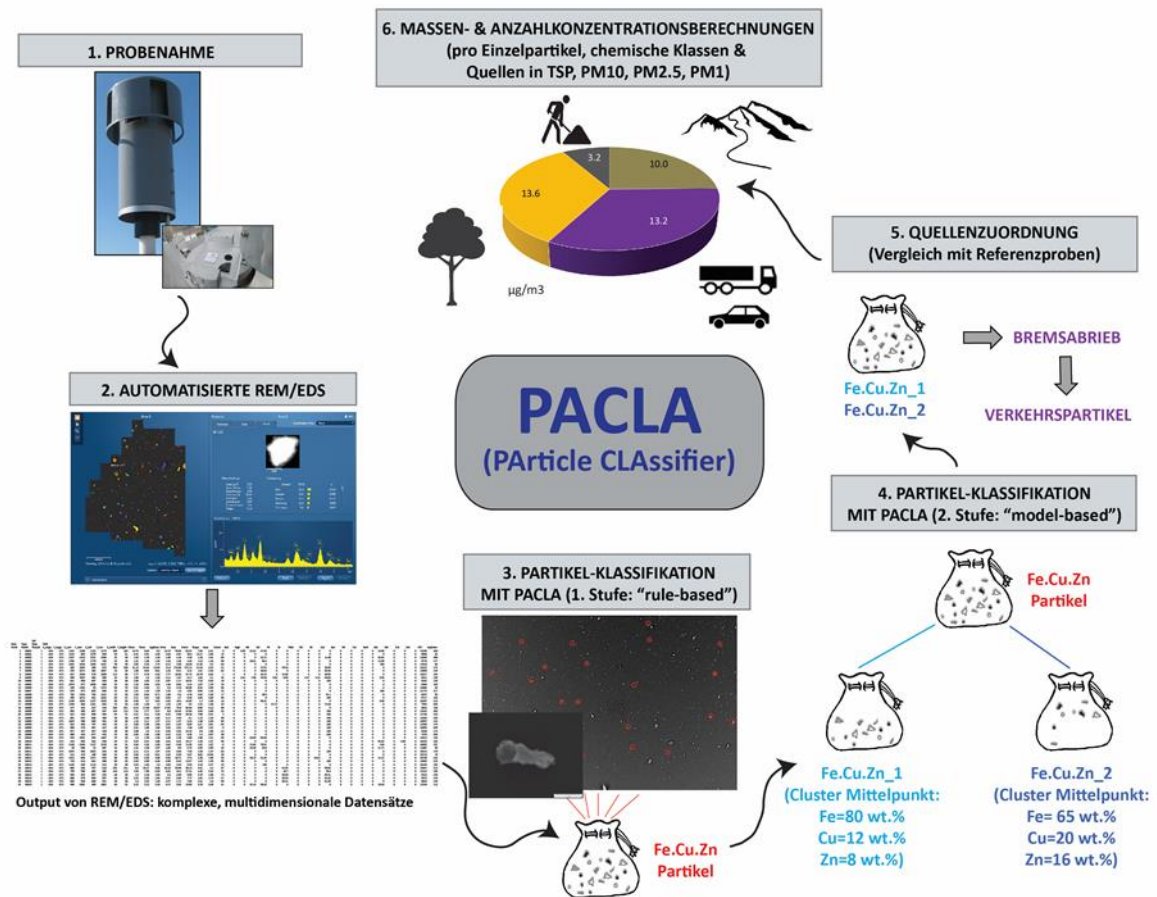


Abbildung 7: Ablaufschema der Partikeldatenauswertung mittels PACLA.

### 3.4 Monitoring-Strategie

Für das quellendifferenzierende Staubmonitoring des Steinbruches Auenstein/Veltheim kamen zwei Methoden zum Einsatz (Abbildung 8), die Angaben über zwei bestimmte Staub-Grössenbereiche ermöglichen. Einerseits wurden die einmonatigen Bergerhoffproben auf den Staubbiederschlag untersucht. Mit den Bergerhoffanalysen kann überprüft werden, ob der LRV-Jahresgrenzwert ( $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) an den untersuchten Standorten eingehalten wird, wobei am Emissionsstandort JCF2 dieser Wert nur als orientierend betrachtet wird, da der LRV Jahresgrenzwert nur für Immissions- und nicht für Emissionsstandorte gültig ist.

Parallel dazu wurden die zweiwöchigen Sigma-2 Proben aus dem Standort JCF2 mittels REM/EDS morpho-chemisch charakterisiert. Diese Analysen ermöglichten die detaillierte Quellenzuordnung (z.B. als Steinbruchpartikel) und die Quellenanteilberechnung im vorhandenen Staub. Bis Mai 2020 wurden die Sigma-2 Proben ebenfalls mittels Lichtmikroskopie analysiert.

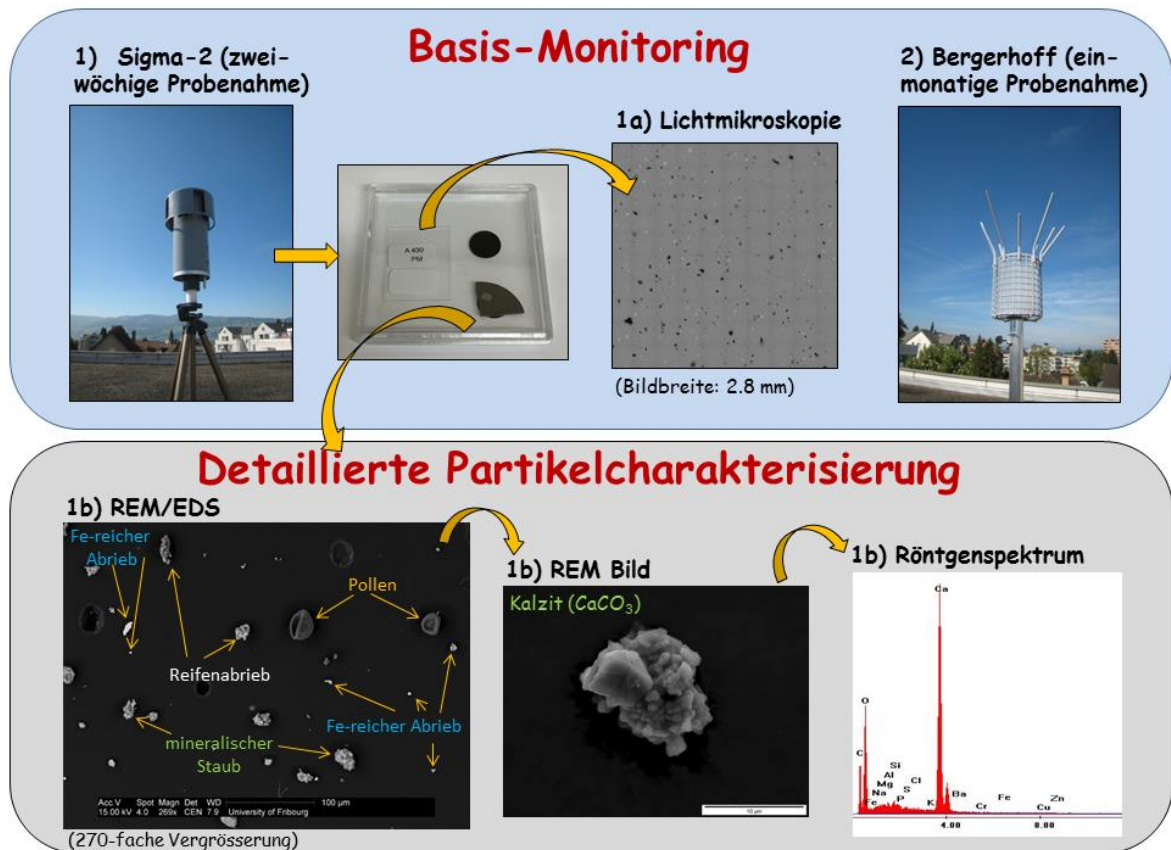


Abbildung 8: Ablaufschema des quellendifferenzierenden Staub-Monitorings

## 4. Resultate

### 4.1 Staubniederschlag (Gravimetrie)

Die Werte der Staubniederschlag-Deposition liegen am Standort JCF2 jeden Monat ausser in der Serie 5 (16.6.-11.7.2022) unter dem LRV Jahresgrenzwert von  $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (Abbildung 9).

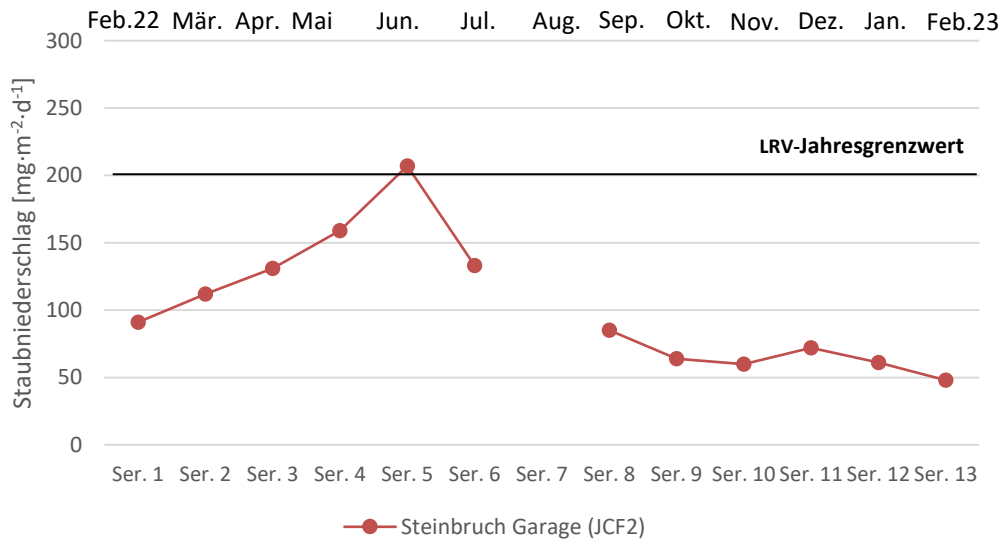


Abbildung 9: zeitlicher Staubdepositionsverlauf am JCF2. Die schwarze Linie zeigt den LRV-Jahresgrenzwert von  $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .

Somit wurde der LRV-Grenzwert am Standort JCF2 eingehalten ( $102 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  Jahresmittel) (Abbildung 10). Im Vergleich mit dem Jahresmittelgrenzwert für die Staubdeposition weist der Standort JCF2 ca. 51 % der zulässigen Belastung für Immissionsstandorte auf.

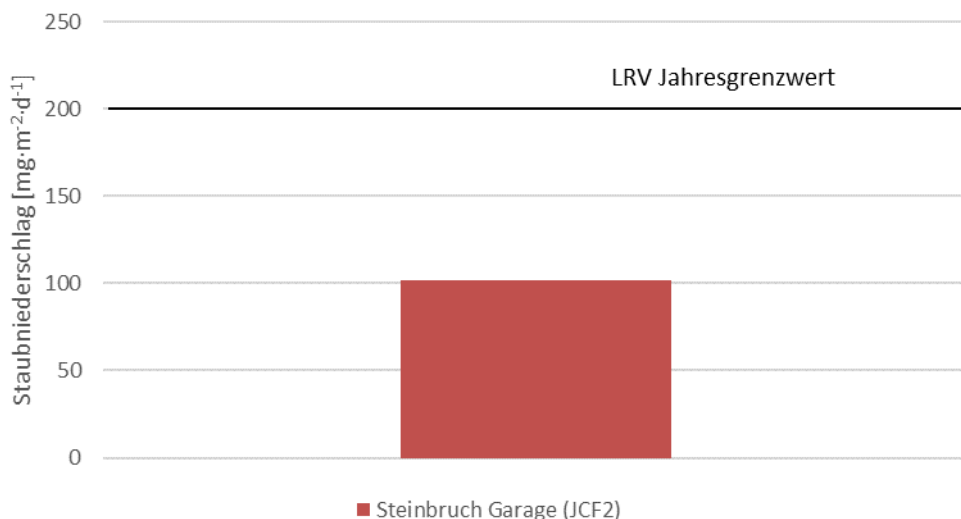


Abbildung 10: Staubniederschlag-Jahresmittelwert für den Standort JCF2 im Messjahr 2021.

#### 4.1.1 Vergleich der Staubniederschlagswerte zwischen 2016 und 2022

Im Vergleich zu der Messkampagne 2021 war die Staubdeposition im Jahr 2022 am JCF2 Standort 16 % höher (Abbildung 11 und Abbildung 12). Die Jahresmittelwerte der früheren Messkampagnen 2021, 2020, 2019, 2018 und 2016 (mit der Ausnahme der Messkampagne im 2017) waren ebenfalls tiefer als der Mittelwert am JCF2 für die Messkampagne 2022.

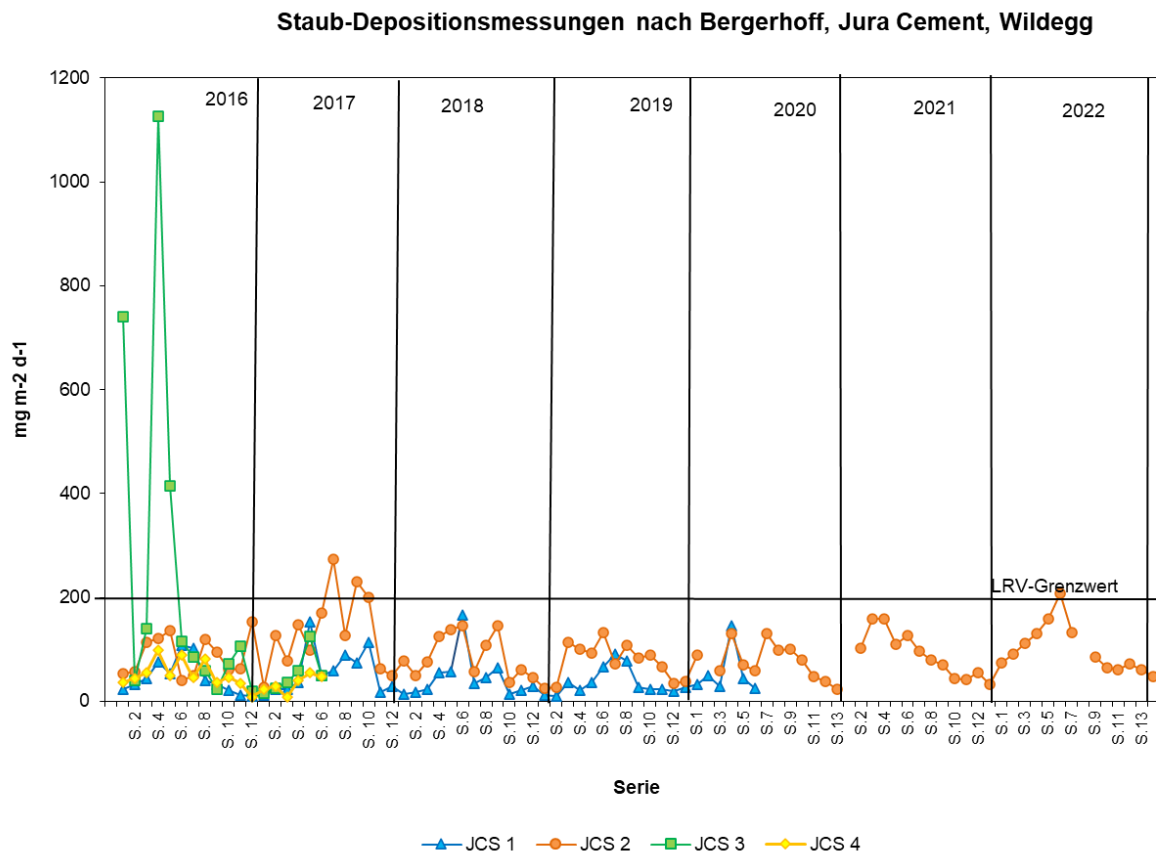


Abbildung 11: Vergleich des zeitlichen Staubdepositionsverlaufs an den untersuchten Standorten seit Messbeginn (2016-2022). Die schwarze Linie zeigt den LRV-Jahresgrenzwert von  $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .

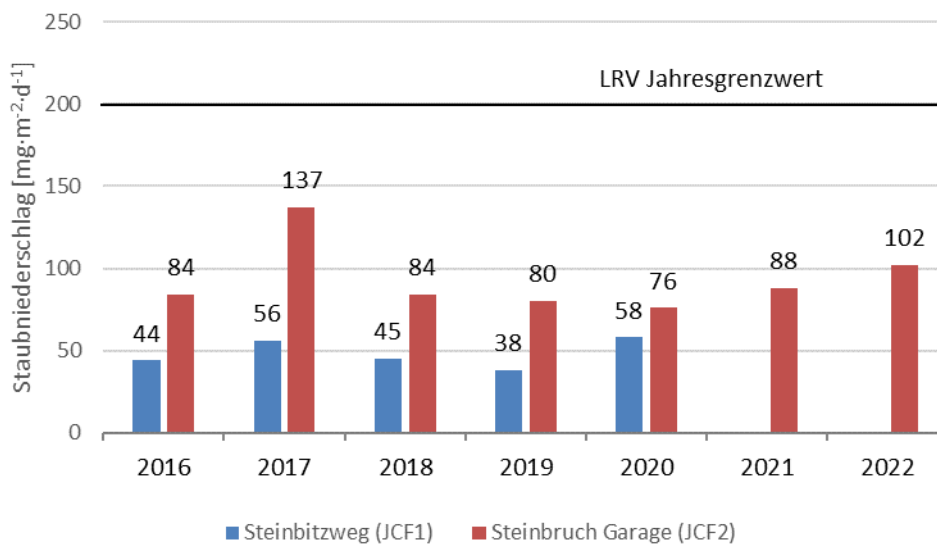


Abbildung 12: Vergleich der Jahresmittelwerte der Standorte JCF1 und JCF2 für die Messkampagnen 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 und 2022. Ab 2021 stehen nur Werte für JCF2 zur Verfügung.

## 4.2 Morpho-chemische Charakterisierung und Quellendifferenzierung des Grobstaubes 2.5 – 80 $\mu\text{m}$ (REM/EDS/PACLA)

Die morpho-chemische Charakterisierung des Grobstaubes mittels REM/EDS wurde in dem Fall von JCF2 für alle Perioden vorgenommen, um einen lückenlosen Jahresmittelwert der emittierten Steinbruchpartikel ermitteln zu können. Dieser Wert soll als Vergleichswert zu den vergangenen Jahren 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 und 2021 dienen.

### 4.2.1 Erweiterung des Fingerprint-Inventars

In den ersten Messkampagnen wurden in den Emissionsproben hauptsächlich Kalkstein und Mergel gemessen. Dies war auch im Einklang mit dem Steinbruchabbau, da bis 2017 hauptsächlich lokalen Kalkstein und Mergel in den Steinbruchaktivitäten involviert waren (mit der Ausnahme der Seekreide-Einfuhr im Herbst 2017). In der Staubmesskampagne 2018 wurde festgestellt, dass die Proben einen bedeutenden Anteil an silikatischen Partikeln enthielten. Diese Entwicklung war auf Veränderungen in den Steinbruchaktivitäten zurückzuführen. In den Jahren 2018 und 2019 wurden zusätzlich neben Kalkstein und Mergel aus anderen Steinbrüchen (z.B. Seekreide und Bözberg-Kalkstein/Mergel) auch silikatische Gesteine (z. B. Moräne und Auffüllmaterial aus Gubrist, Bözberg und Giesereialtsand) über das ganze Jahr in den Steinbruch eingeführt. Daher wurde der Fingerprint der neu eingeführten Gesteine in der Messkampagne 2018 bestimmt und in die Partikelbibliothek als «Steinbruchpartikel» eingefügt (für weitere Details s. Kapitel 7. Anhang im Bericht zum Staubmonitoring des Steinbruchs Auenstein/Veltheim der Jura Cement SA für die Messkampagne 2018).

### 4.2.2 Zeitliche Variabilität am Emissionsstandort JCF2 (Steinbruch Garage)

Die Konzentrationen an Steinbruchpartikel (d.h. Kalkstein, Mergel und silikatische Partikel) am Emissionsstandort JCF2 fluktuieren im Jahr 2022 zwischen  $32.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (Periode 3) und  $2.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (Periode 22) (Abbildung 13). Die letzten Perioden des Jahres 2022 (Per. 20-25) zeigten - wie in den Vorjahren - besonders tiefe Konzentrationen an Steinbruchpartikeln, welche auf die Betriebsferien und eingeschränkte Steinbruchaktivitäten zurückzuführen sind. Zusätzlich begünstigten die nassen und winterlichen Verhältnisse sehr wahrscheinlich die zurückhaltende Resuspension der Partikel.



Das Verhältnis Kalkstein vs. Mergel vs. silikatische Partikel variiert besonders stark (11-63 % Kalkstein, 36-79 % Mergel und 1-32 % silikatische Partikel). Diese Verhältnisse verdeutlichen welchen Anteil die jeweiligen Gesteinstypen zu der Staubbelastrung in den respektiven Zeiträumen (Perioden) beitragen (Abbildung 13).

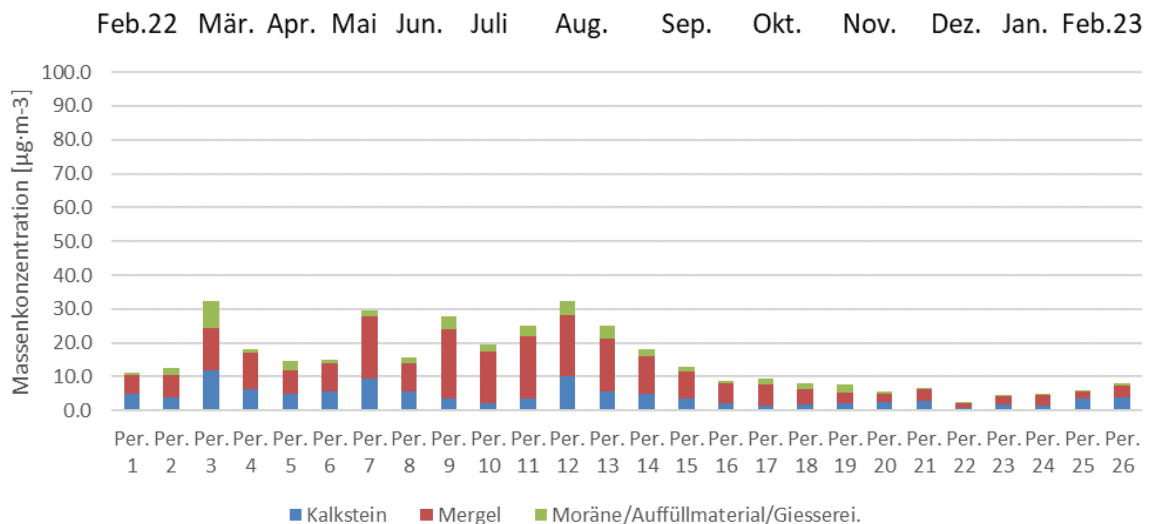


Abbildung 13: Konzentrationsverlauf des kalkigen, mergeligen und silikatischen Staubes (2.5 – 80 µm) am Emissionsstandort JCF2 während der Messkampagne 2022.

Um den Anteil an Steinbruchpartikeln gegenüber Partikel anderer Quellen im gesamten Grobstaub darzustellen, wurden die Partikel aus allen anderen Hauptquellen (*biogene Partikel* wie Pollen, Sporen, Pilzfäden, *mineralischer Hintergrundpartikel* wie Boden, und *Strassenverkehrspartikel* wie Reifen, Fahrzeug- und Bremsabrieb) in der Klasse «Andere Partikel» zusammengefasst. Die Abbildung 14 zeigt den Quellenanteilsverlauf für die Messkampagne 2022.

Der Anteil an Steinbruchpartikeln im Grobstaub (2.5 – 80 µm) schwankt zwischen 40 % (Periode 18) und bis zum 79 % (Periode 4). Dies bedeutet, dass kein konstantes Verhältnis zwischen Steinbruchpartikeln und anderen Partikeln angenommen werden kann. Der durchschnittliche relative Anteil an Steinbruchpartikeln im Jahr 2022 beträgt 63 %. Einschließlich saisonal bedingter Schwankungen (z.B. höhere Einträge von Pollen im Frühling oder von Sporen im Herbst) war die absolute Konzentration an «Anderen Partikeln» über das ganze Jahr 2022 mit ca. 3 – 12 µg·m<sup>-3</sup> relativ konstant. Diese Werte liegen im sehr ähnlichen Bereich wie die Werte von den vergangenen Jahren. Die massenmässig relevantesten Partikelunterklassen innerhalb der Klasse «Andere Partikel» sind a) mineralische Partikel mit einer chemischen Zusammensetzung, die dem Fingerprint der Steinbruchpartikeln nicht entspricht und b) biogene Partikel, die verstärkt im Frühling (Pollen) und Herbst (Sporen) vorkommen. Dazu kommt ein kleinerer Anteil an Strassenverkehrspartikel wie z.B. Pneu- und Bremsabrieb.

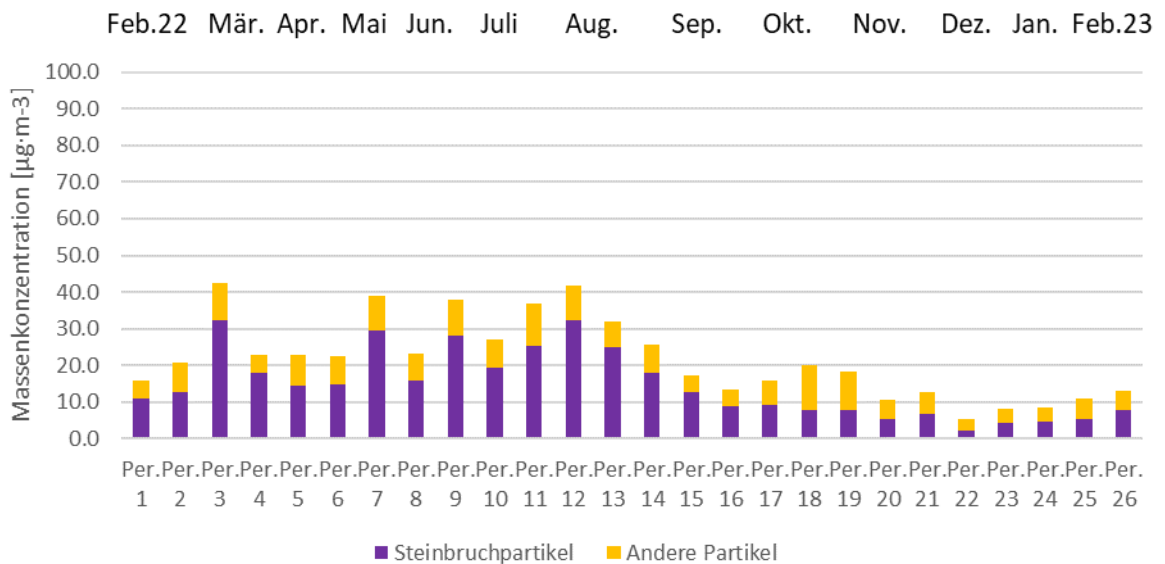


Abbildung 14: Konzentrationsverlauf der Summe der Steinbruchpartikel (Kalkstein + Mergel + silikatische Partikel) und der Anderen Partikel (biogene, geogene und Verkehrspartikel) am Emissionsstandort JCF2 während der Messkampagne 2022.

#### 4.2.3 Jahresmittelwert der Steinbruchpartikel am Standort JCF2

Die Massenkonzentration der Steinbruchpartikel für die Messkampagne 20212 betrug im Mittel  $14.65 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . In den vorhergehenden Jahren 2021, 2020, 2019, 2018, 2017 und 2016 betrug der Jahresmittelwert  $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $13.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $14.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $19.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $27.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  bzw.  $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Somit ist der Jahresmittelwert für die Messkampagne 2022 ca. 58 % tiefer im Vergleich zum Messbeginn (Messkampagne 2016) (

Abbildung 15 und Tabelle 3). Dabei gilt zu beachten, dass der Mittelwert aus der Messkampagne 2016 aus vier ausgewählten Perioden mit eher hohen Konzentrationen berechnet wurde und damit eher an der oberen Grenze des Mittelwertes für das Jahr 2016 lag. Im Gegensatz stellt der Mittelwert für die Messkampagnen 2017, 2018, 2019, 2020 und 2021, welcher aus allen Messperioden berechnet wurde, ein echter Jahresmittelwert dar.

Im Vergleich zum Jahresmittelwert der Messkampagne 2020 veränderte sich der Jahresmittel 2021 um + 9 %.

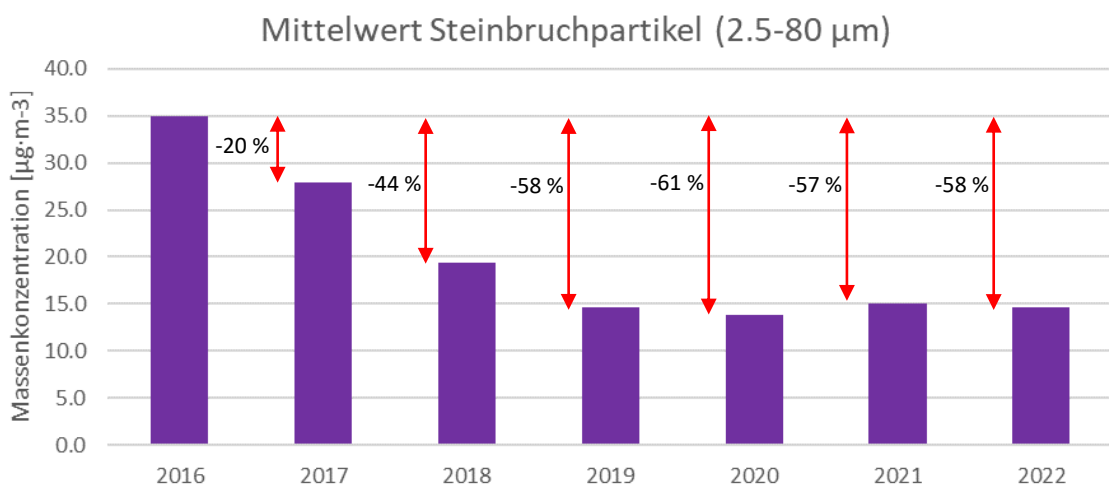


Abbildung 15: Vergleich der Jahresmittelwerte für die Massenkonzentration an Steinbruchpartikeln (2.5-80 µm geom. Durchmesser) der Messkampagnen 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 und 2022 für den Standort JCF2.

Messkampagne	Massenkonzentration ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) Steinbruchpartikel 2.5 – 80 $\mu\text{m}$
2016	35.0
2017	27.9
2018	19.4
2019	14.7
2020	13.8
2021	15.0
2022	14.7

*Tabelle 3: Jahresmittelwerte der Massenkonzentration von Steinbruchpartikeln (2.5-80  $\mu\text{m}$  geom. Durchmesser) am JCF2 für die Messkampagnen 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 und 2022.*

## 5. Wichtigste Ergebnisse

Die wichtigsten Resultate und Erkenntnisse der Messkampagne 2022 sind:

- Die Staubniederschlagbelastung lag am Emissionsstandort JCF2 unter dem Jahresgrenzwert von  $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . Im Vergleich mit dem Jahresmittelgrenzwert für den Staubniederschlag wies der Standort JCF2 ca. 51 % ( $102 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) der zulässigen Belastung für Immissionsstandorte auf. Im Vergleich mit dem Jahresmittelwert für die Staubdeposition im Jahr 2021 wies der Standort JCF2 ca. 16 % höhere Werte auf.
- Der Jahresmittelwert der Grobstaubbelastung von  $2.5\text{-}80 \mu\text{m}$  geom. Durchmesser durch Kalkstein, Mergel und silikatische Partikel (z.B. Moräne und Auffüllmaterial) aus dem Steinbruch betrug an dem Emissionsstandort JCF2,  $14.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Somit wurde im Vergleich zu dem Mittelwert der Steinbruchemissionen am JCF2 aus der Messkampagne 2016 ( $35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) eine Abnahme von 58 % festgestellt. Diese ist praktisch identisch als die Abnahme des vergangenen Jahres (2021). Somit wird der Zielwert (d.h. 1/3 der Staubemissionen vom Jahr 2016), welcher im Jahr 2018 erreicht wurde, im Jahr 2022 sowie in den Jahren 2019, 2020 und 2021 weiterhin aufrechterhalten.

## 6. Fazit

Die Staubbelastung im Steinbruch Auenstein/Veltheim und in der Umgebung wird von verschiedenen Partikelquellen beeinflusst. Ausser den Kalkstein- Mergel- und silikatischen Partikeln aus dem Steinbruch, sind auch natürliche (biogene und geogene Partikel) und anthropogene Partikel (Pneumabrieb und metallischer Abrieb aus dem Strassenverkehr, siehe Rausch et al., 2022) vorhanden. Der relative Anteil dieser anderen «externen» Quellen kann je nach Steinbruchaktivitäten und Aktivitäten aus der Natur stark variieren. Dieses Verhalten macht sich auch in dem breiten Spektrum der gemessenen Anteile der nicht durch den Steinbruch emittierten Partikel bemerkbar (21-60 %). Somit ist die Ermittlung der aus dem Steinbruch emittierten Partikel unter der Berücksichtigung aller Perioden mit grosser Wahrscheinlichkeit das akkurateste Vorgehen, um die Steinbruchemissionen und die vorgenommenen Staubreduktionen zu überwachen und zu dokumentieren.

## 7. Referenzen

Meier MF, Mildenerberger T, Locher R, Rausch J, Zünd T, Neururer C, Ruckstuhl A, Grobéty B (2018) A model based two-stage classifier for airborne particles analyzed with Computer Controlled Scanning Electron Microscopy. *Journal of Aerosol Science* 1;123:1-6.

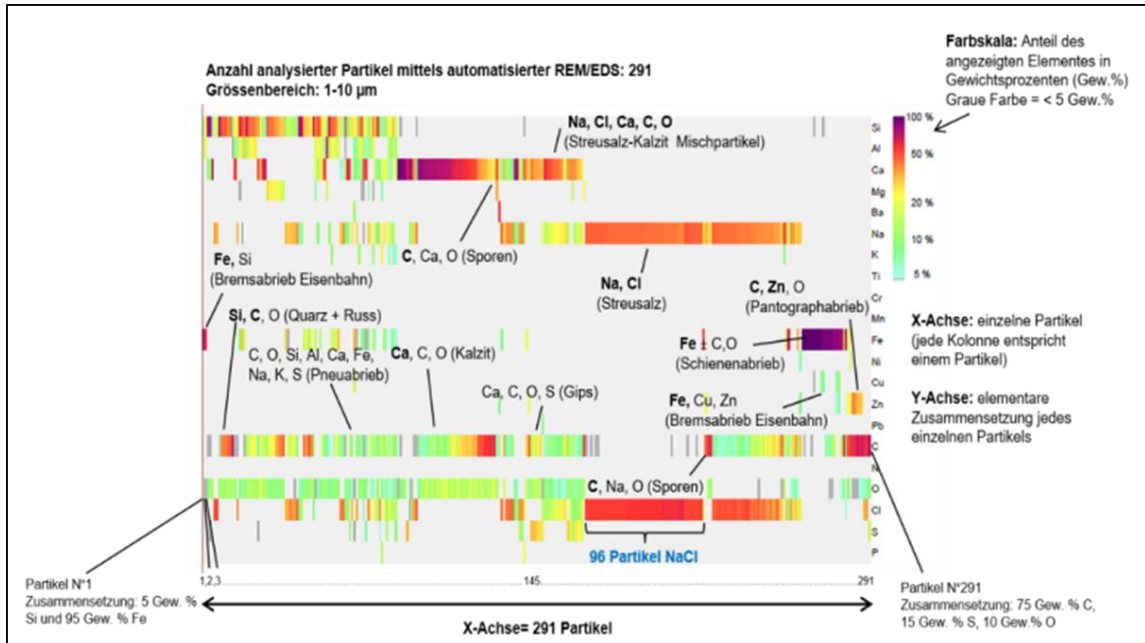
Rausch J, Jaramillo-Vogel D, Perseguers S, Schnidrig N, Grobéty B, Yajan P. (2022) Automated identification and quantification of tire wear particles (TWP) in airborne dust: SEM/EDX single particle analysis coupled to a machine learning classifier. *Science of The Total Environment*: 10;803:149832.

VDI 2119 (2013). Ambient air measurements sampling of atmospheric particles > 2.5 µm on an acceptor surface using the Sigma-2 passive sampler. Characterization by optical microscopy and calculation of number settling rate and mass concentration. ICS: 13.040.01. Beuth Verlag, Berlin.



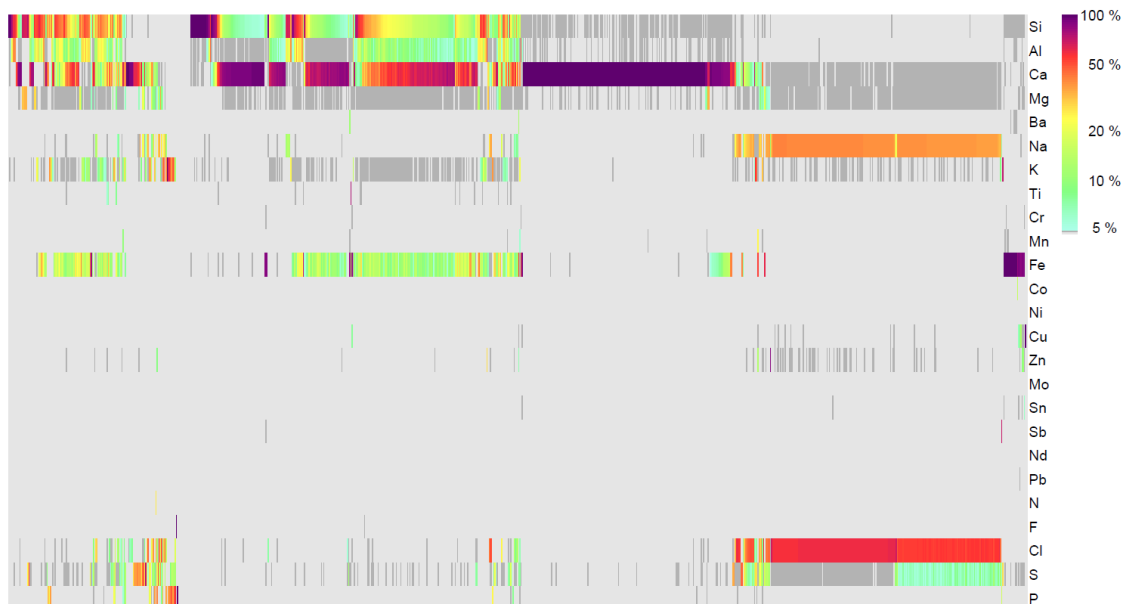
## 8. Anhang

### 8.1 Heatmap Lesebeispiel

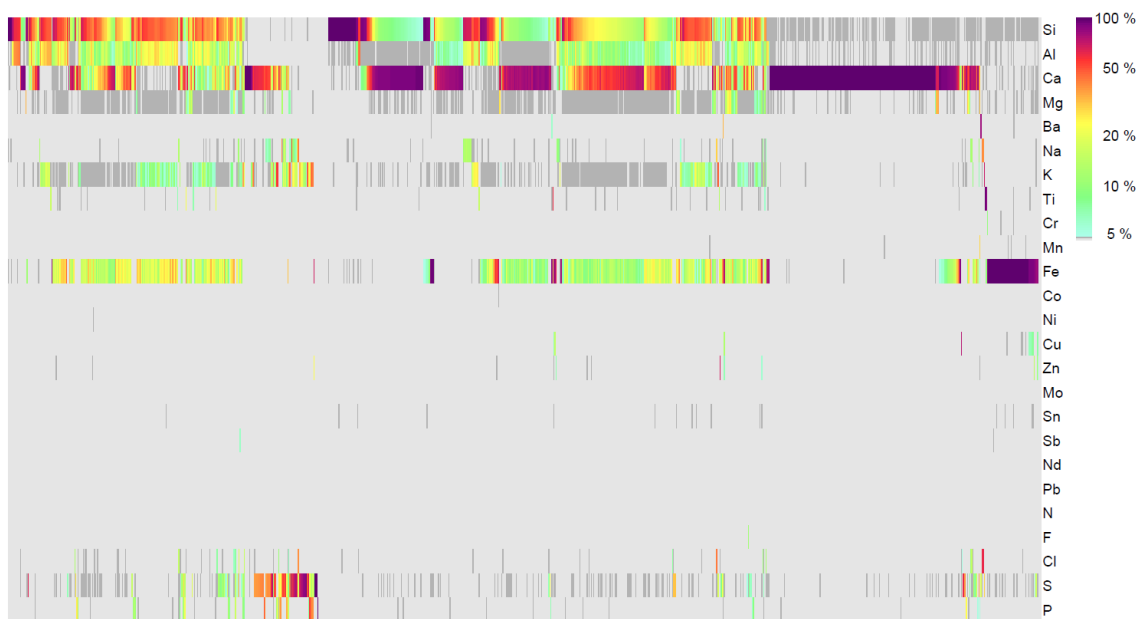


### 8.2 Heatmaps Emmissionsstandort JCF2

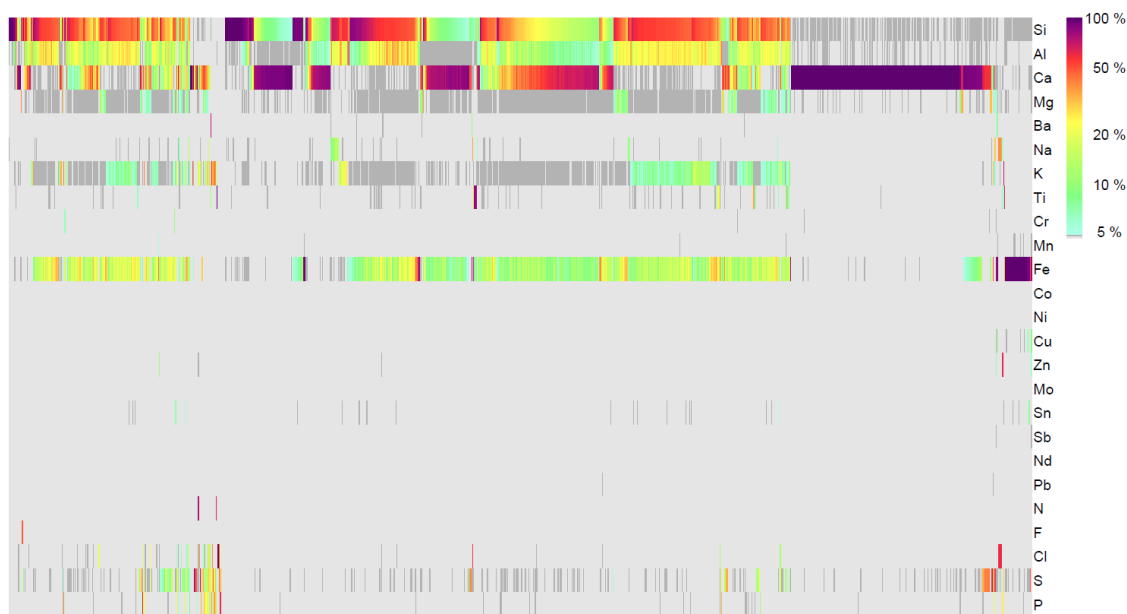
Per. 1



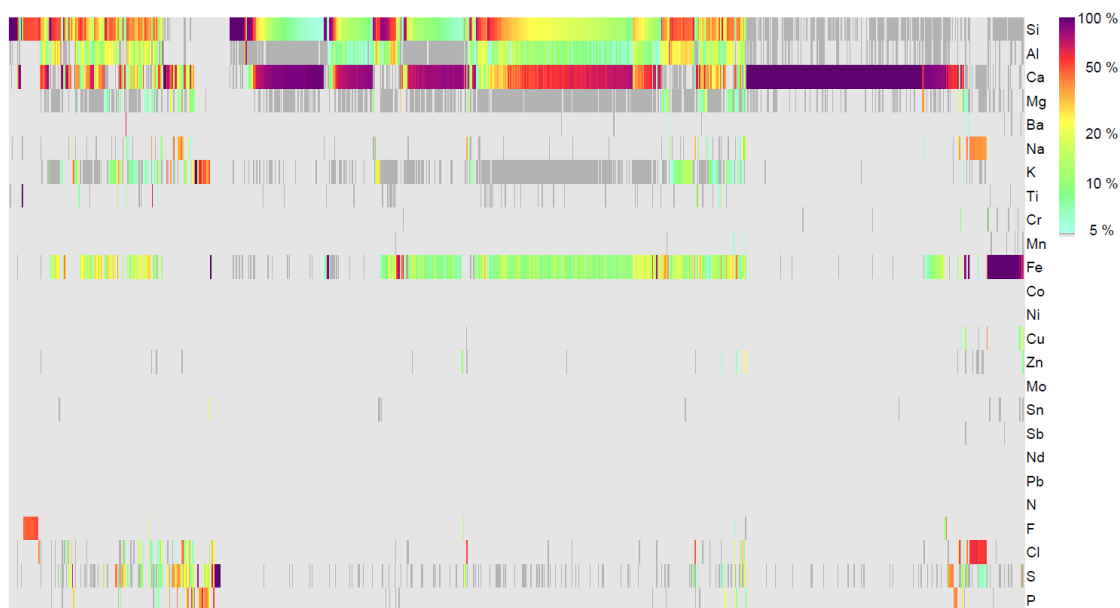
Per. 2



Per. 3



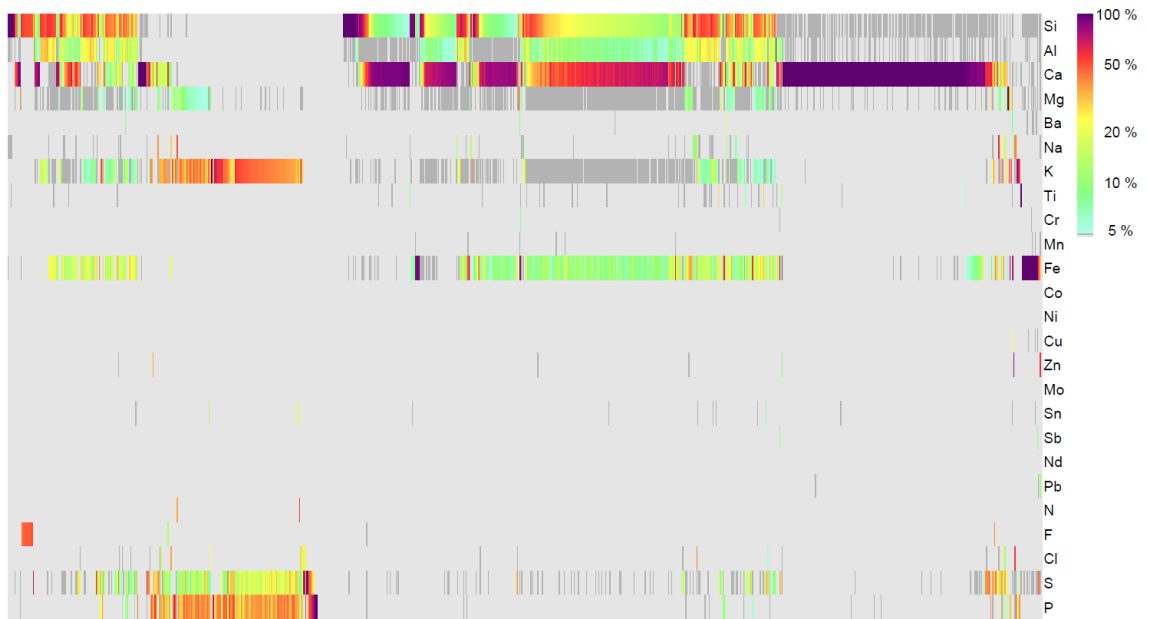
Per. 4



Per. 5



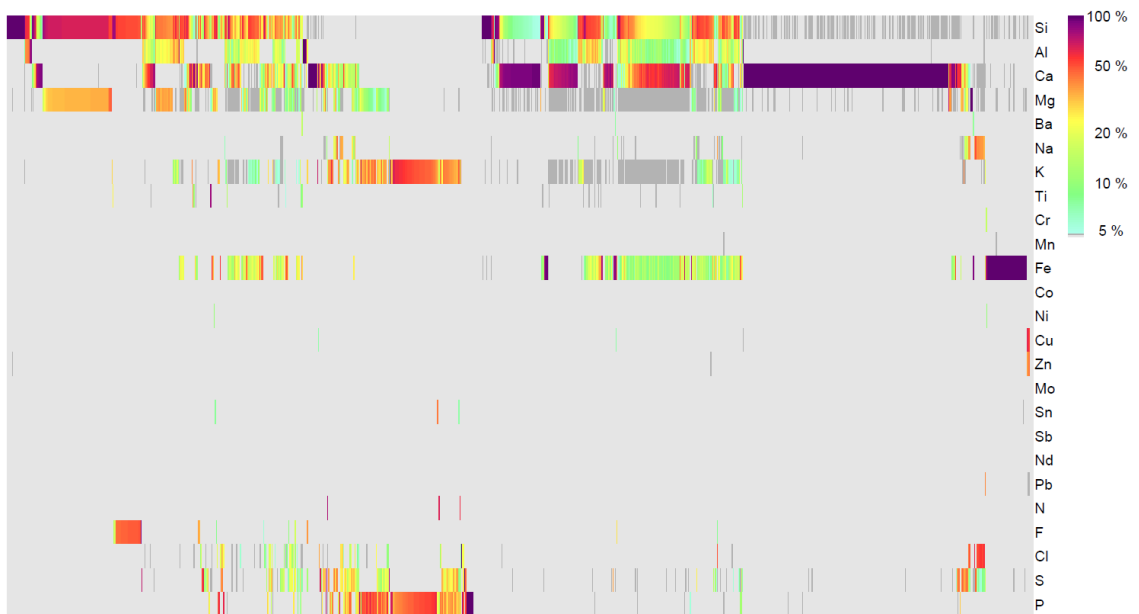
## Per. 6



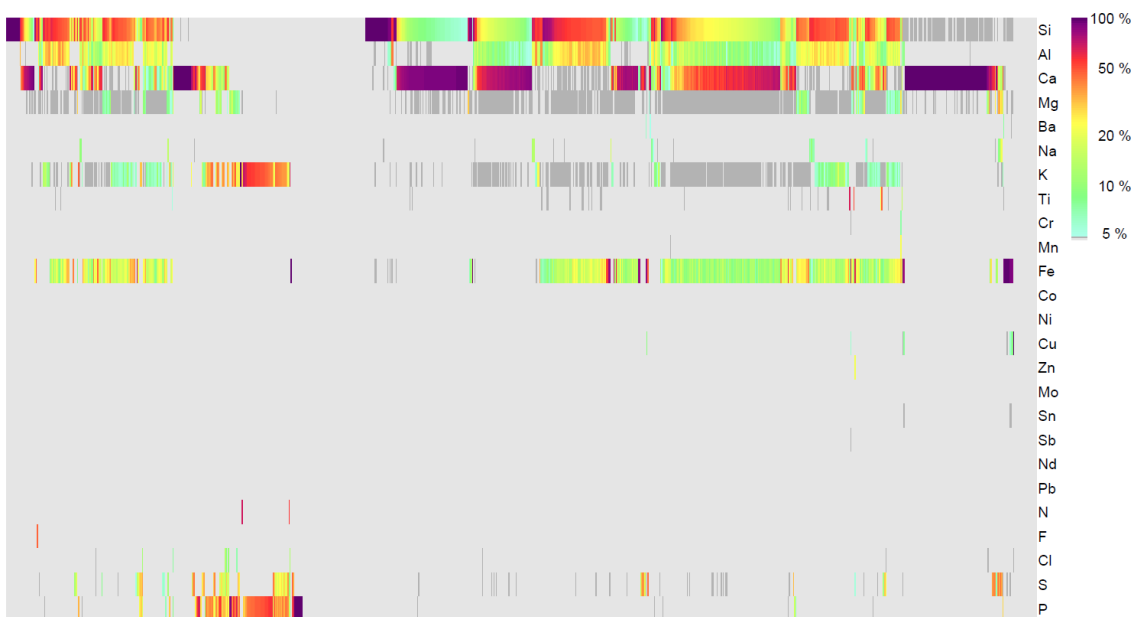
## Per. 7



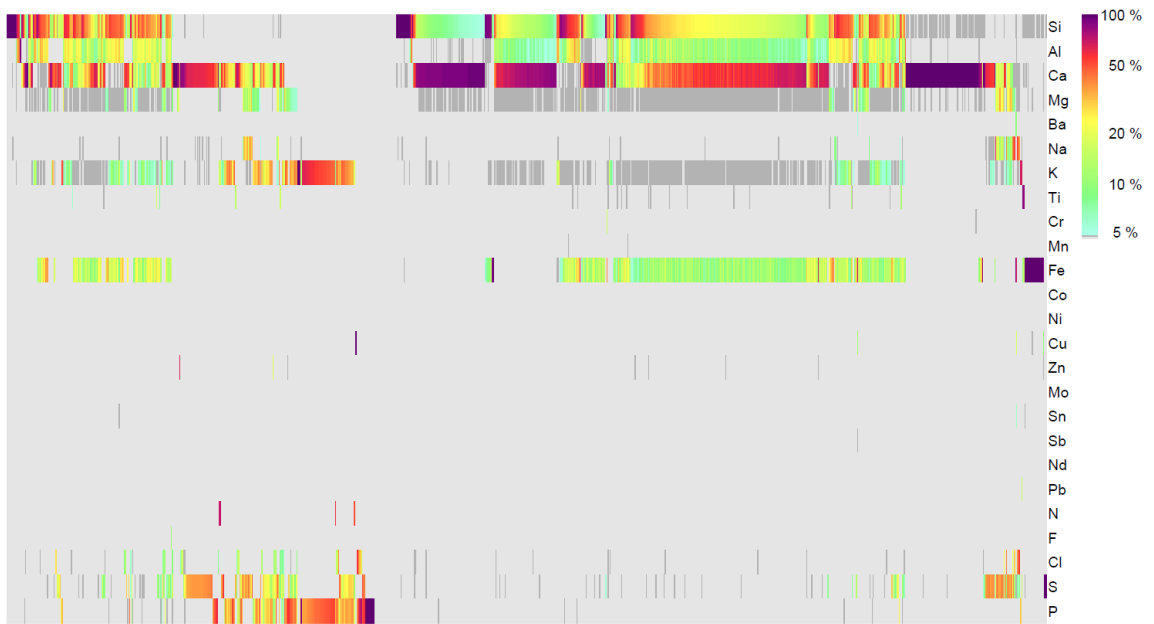
Per. 8



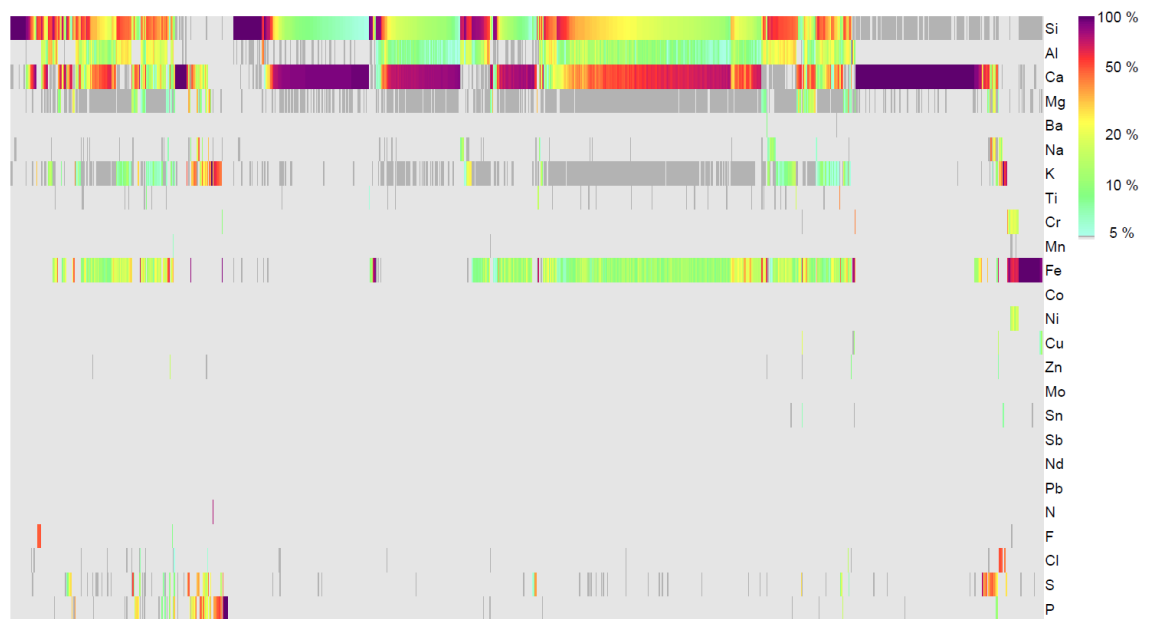
Per. 9



Per. 10

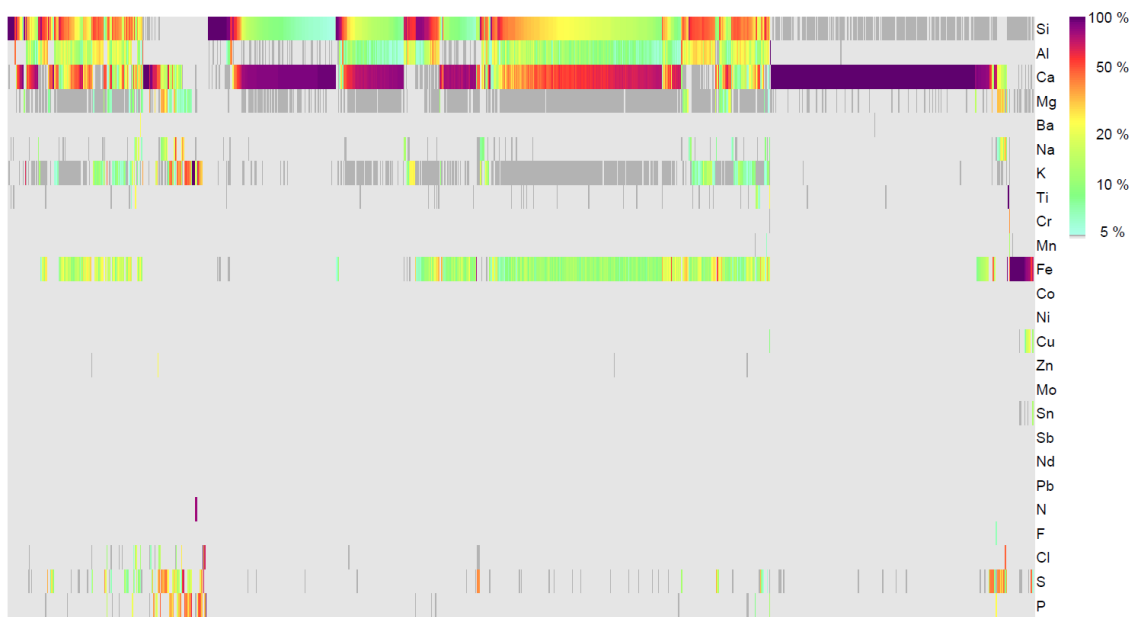


Per. 11

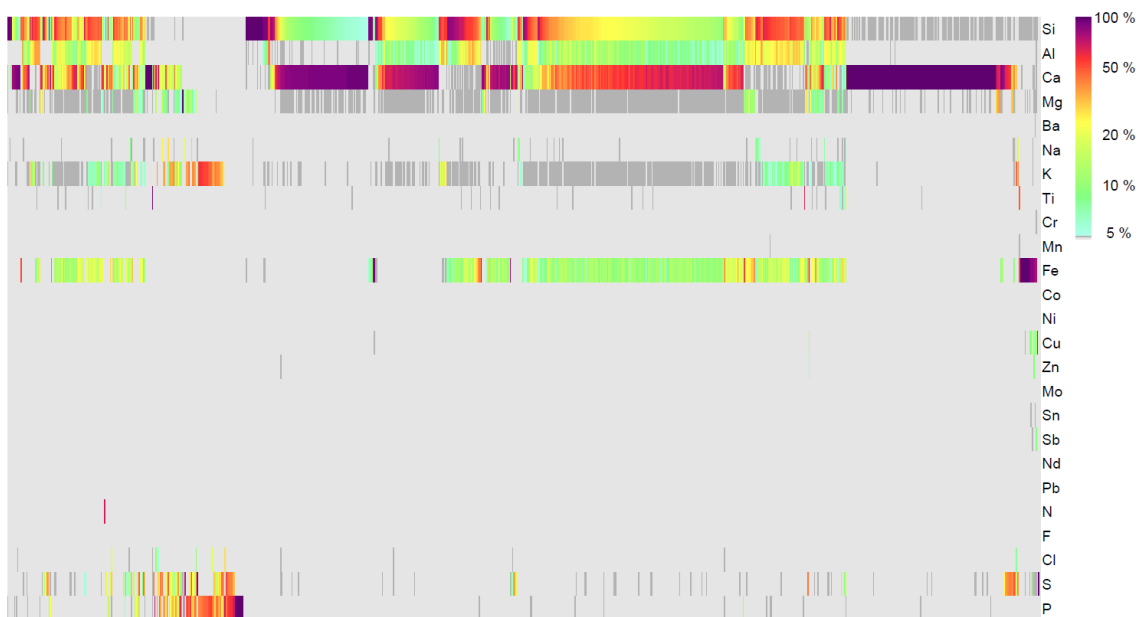




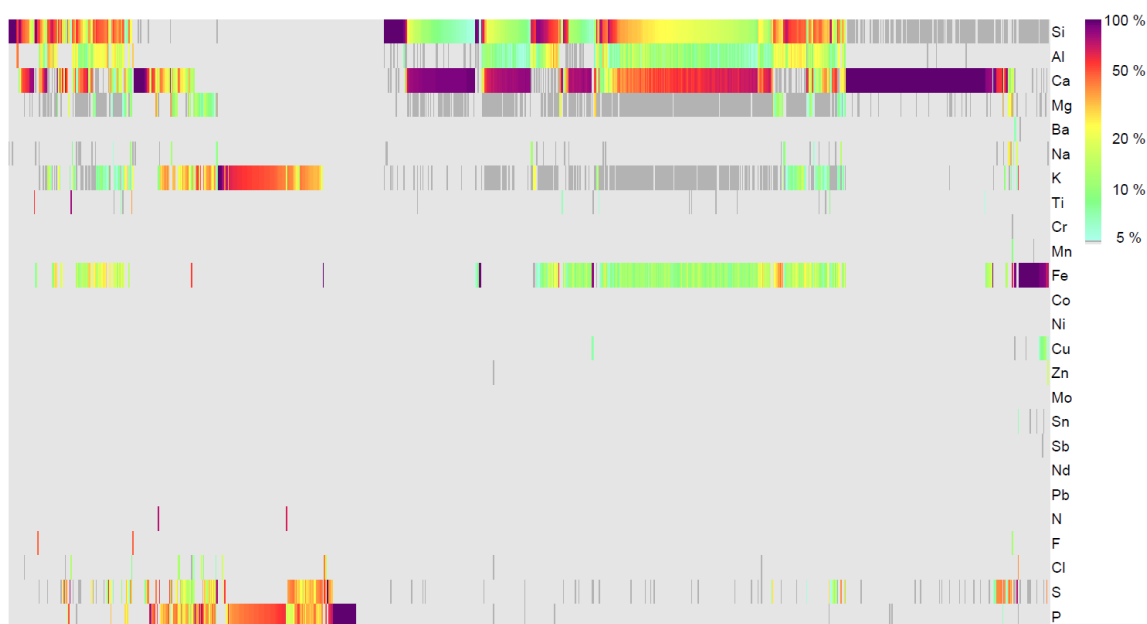
### Per. 12



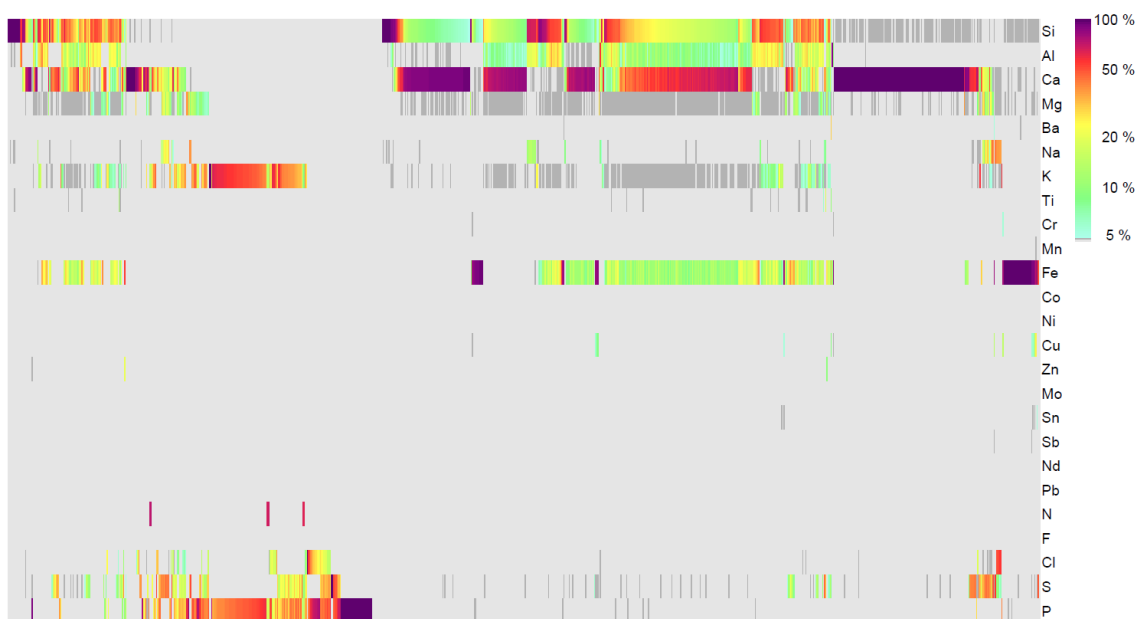
### Per. 13



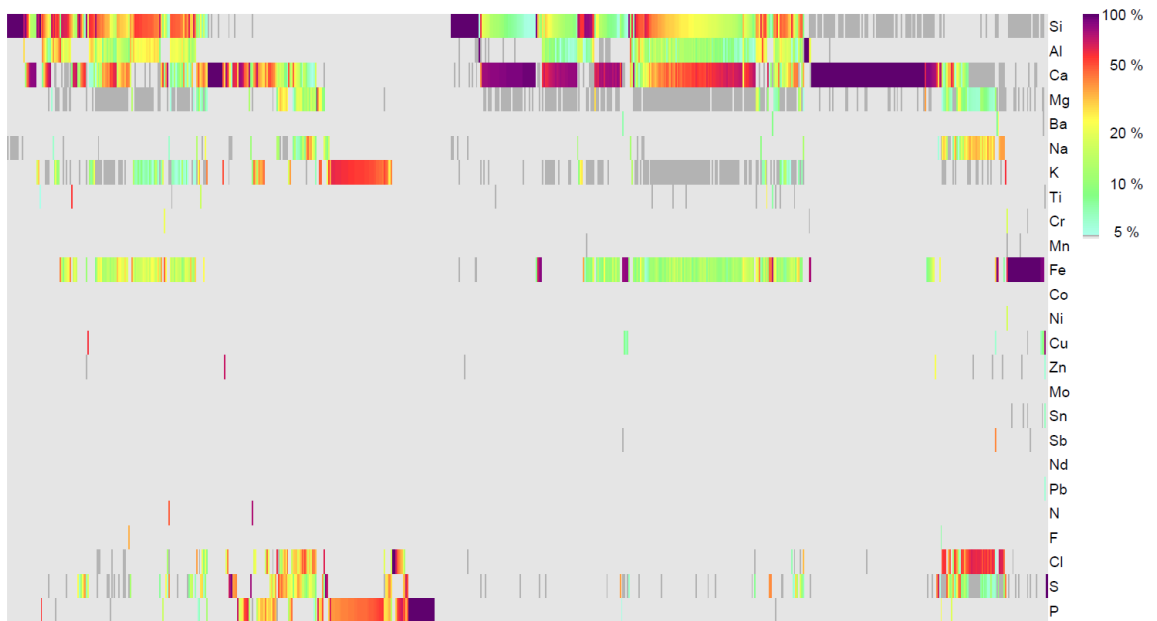
Per. 14



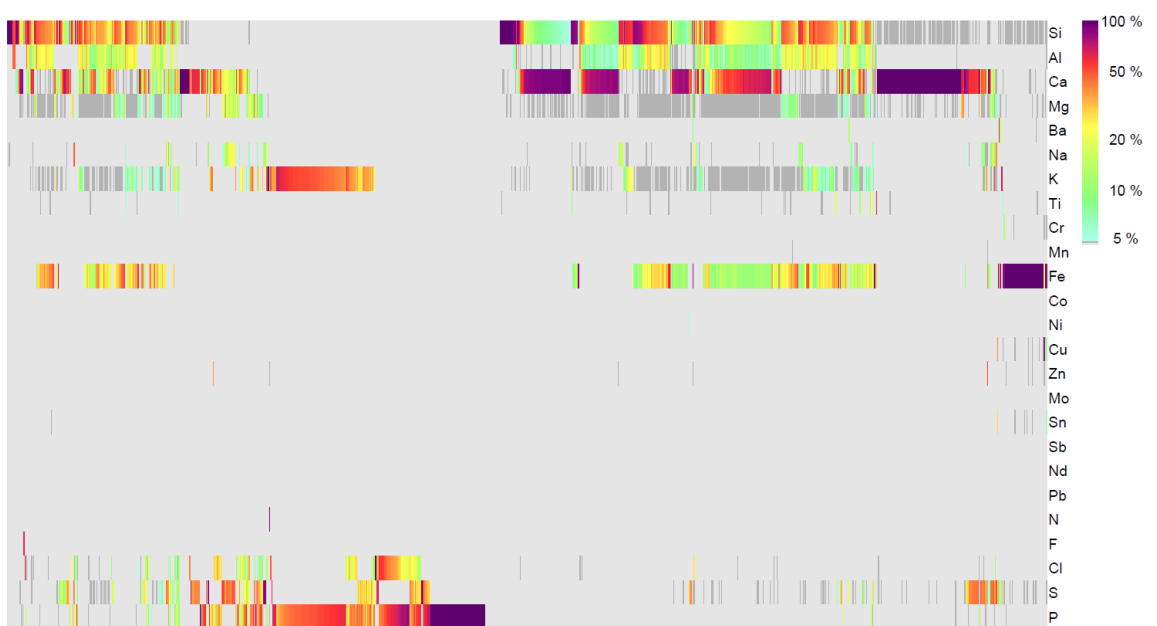
Per. 15



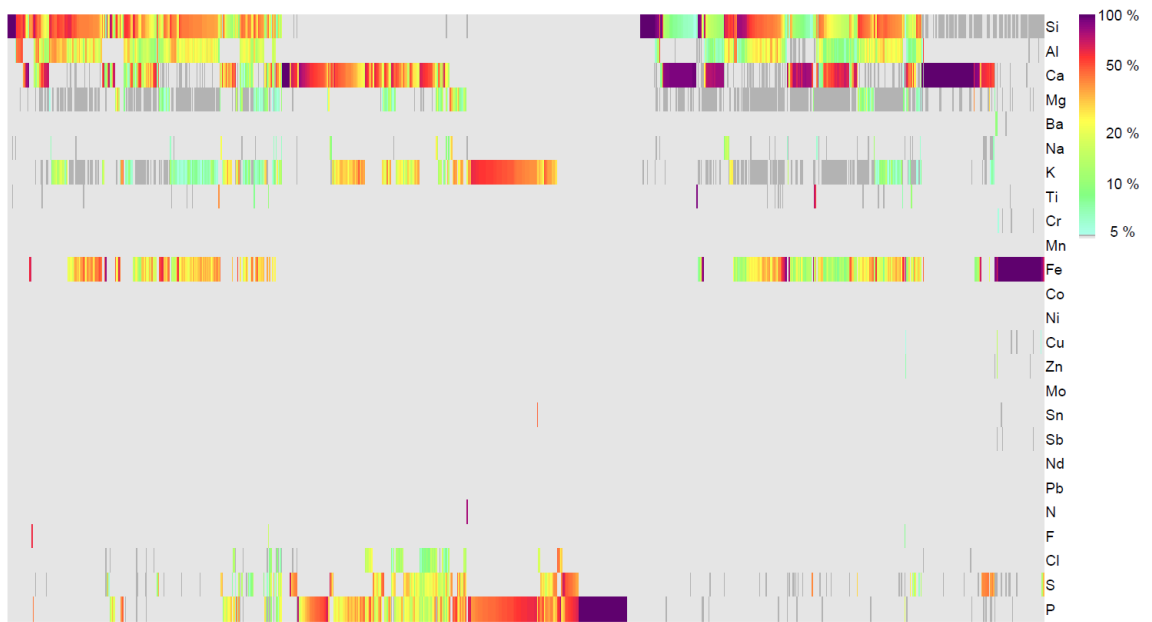
Per. 16



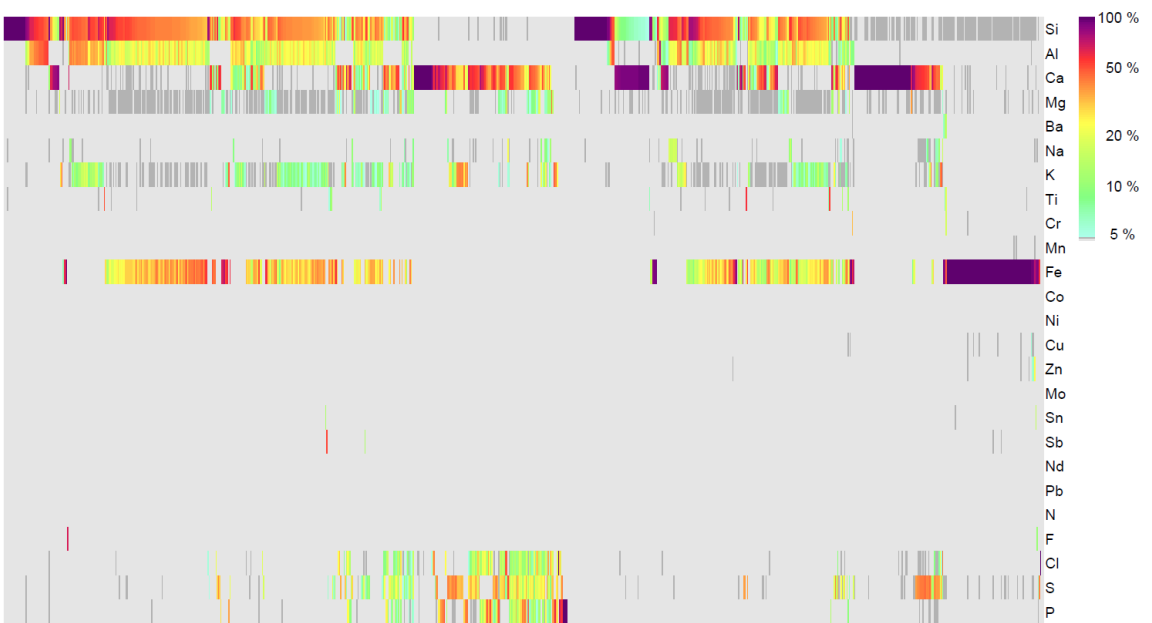
Per. 17



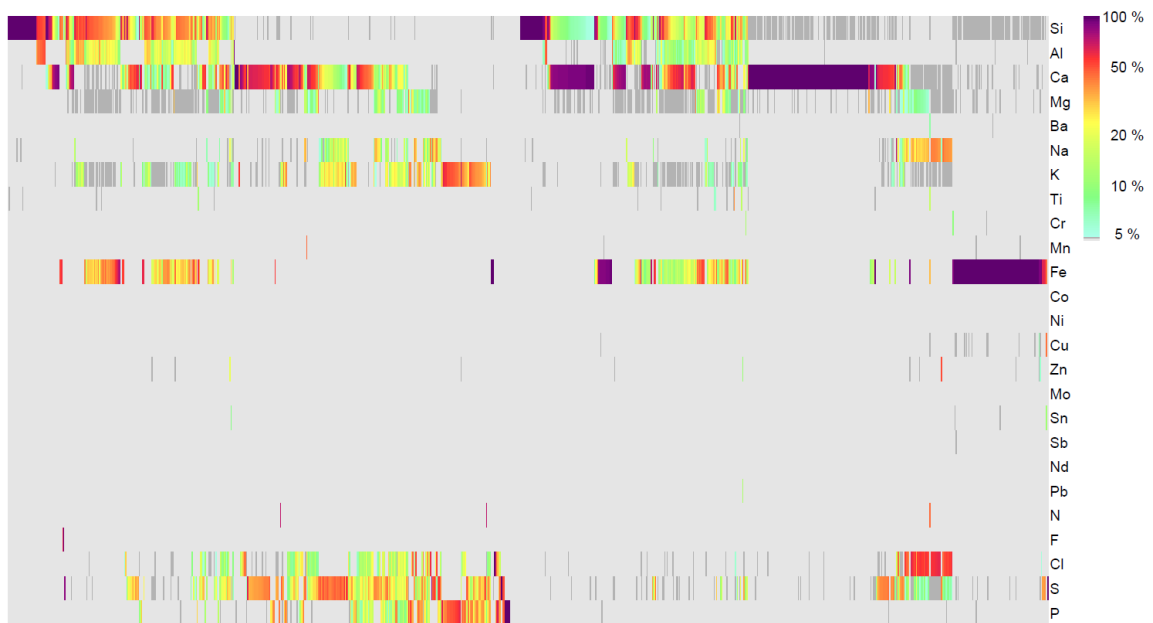
Per. 18



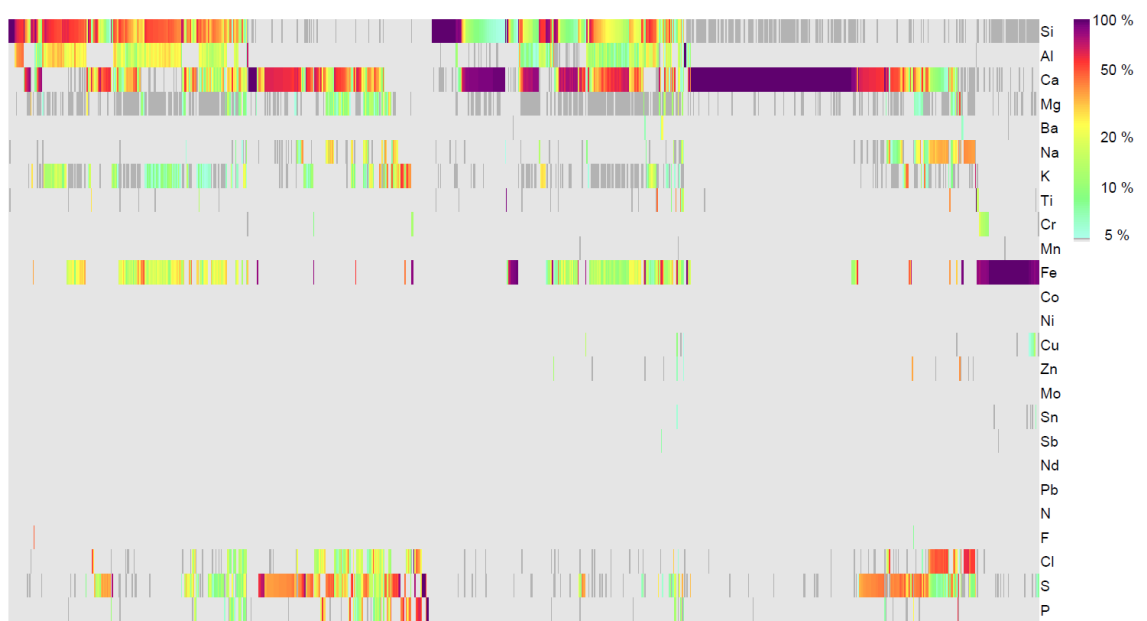
Per. 19



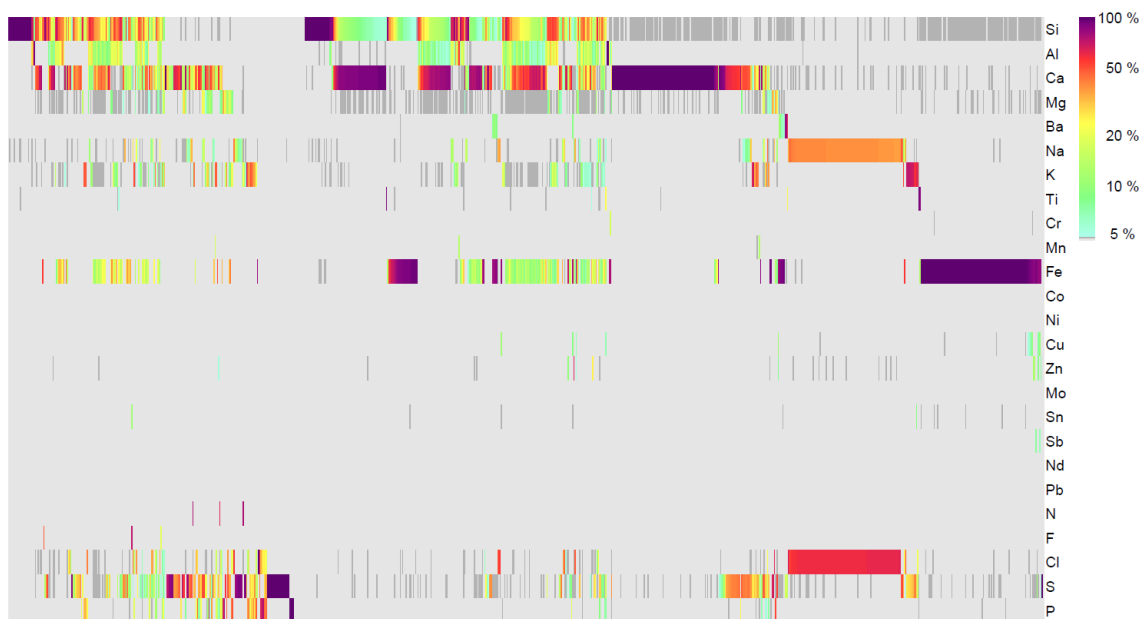
Per.20



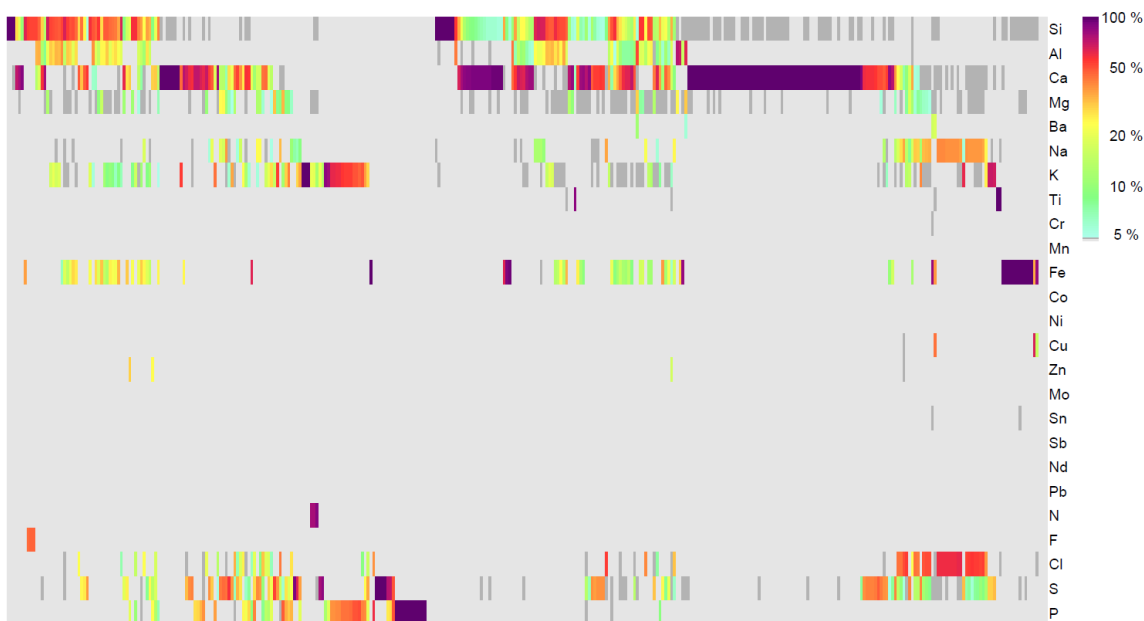
Per.21



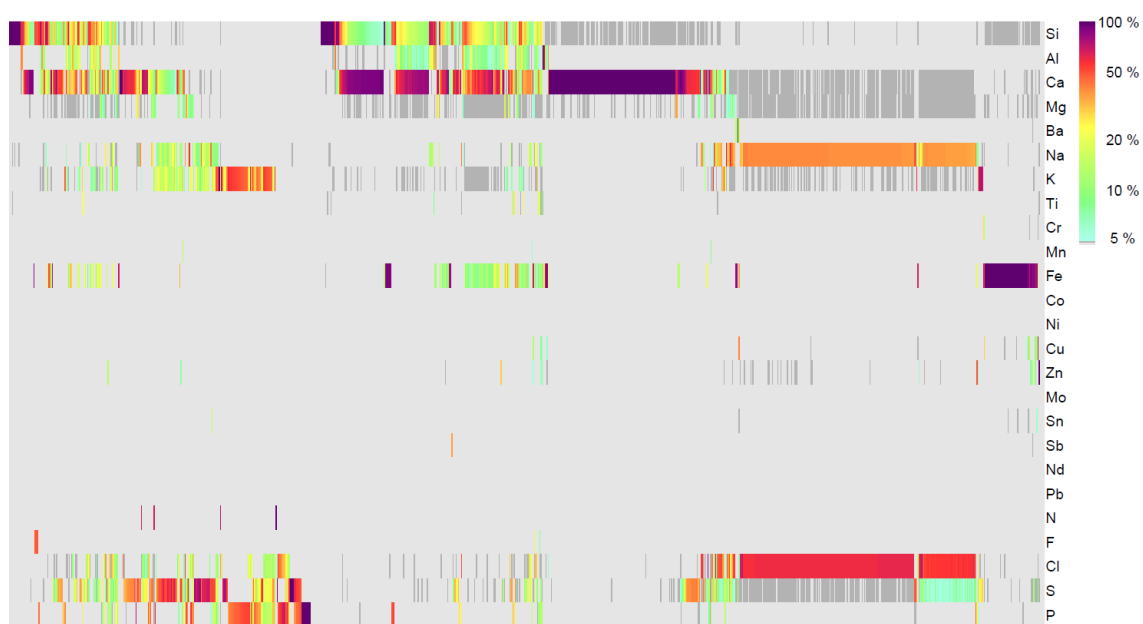
Per.22



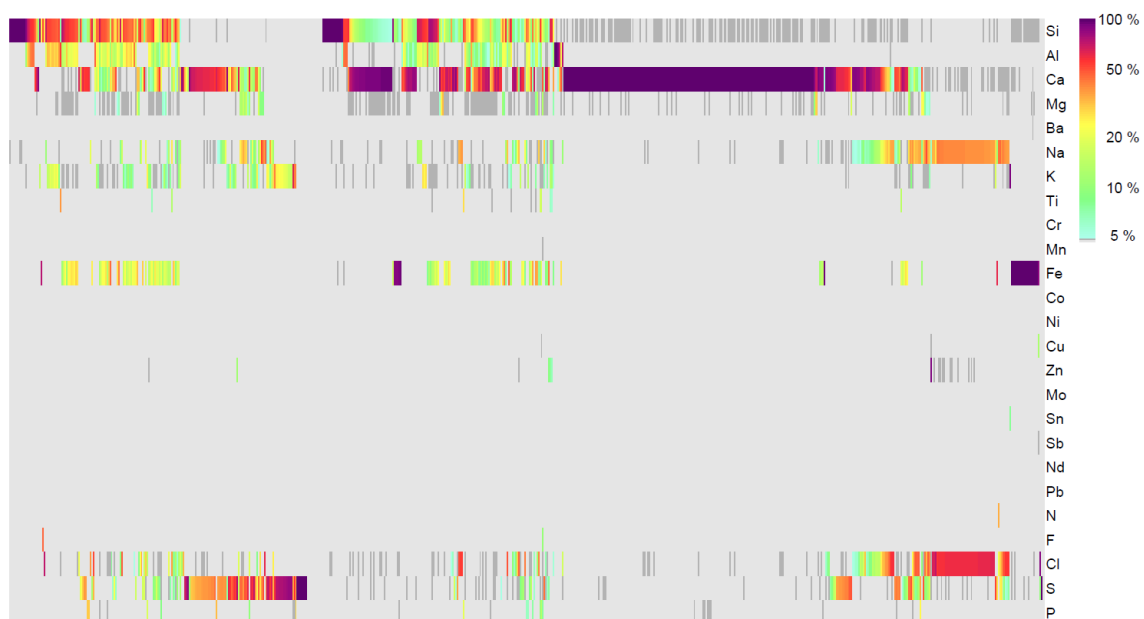
Per.23



Per.24



Per.25



Per.26

