



Saharastaubepisoden im ersten Halbjahr 2014

 Auswirkungen auf die Partikel PM10-Konzentrationen in Baden-Württemberg



Saharastaubepisoden im ersten Halbjahr 2014

 Auswirkungen auf die Partikel PM10-Konzentrationen in Baden-Württemberg

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 76231 Karlsruhe, Postfach 100163, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	Referat 33 - Luftqualität Dr. Sebastian Scheinhardt
DOKUMENTATION-NUMMER	33-04/2015
STAND	März 2015
BERICHTSUMFANG	22 Seiten

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG	4
1 EINLEITUNG	5
2 ERSTE SAHARASTAUBEPISODE (APRIL 2014)	6
2.1 Vorhersagen	6
2.2 Meteorologie	7
2.3 Partikel-Messungen	10
2.3.1 Partikel PM10-Konzentrationen	10
2.3.2 Partikelgrößenverteilung	11
2.3.3 Partikelinhaltsstoffe	11
2.4 Auswirkungen auf die Partikel PM10-Immissionen in Baden-Württemberg	14
2.4.1 Rechtliche Vorgaben	14
2.4.2 Festlegungen	14
2.4.3 Auswertung	14
3 ZWEITE SAHARASTAUBEPISODE (MAI 2014)	16
3.1 Vorhersagen	16
3.2 Meteorologie	16
3.3 Partikel-Messungen	17
3.3.1 Partikel PM10-Konzentrationen	17
3.3.2 Partikelgrößenverteilung	17
3.3.3 Partikelinhaltsstoffe	17
3.4 Auswirkungen auf die Partikel PM10-Immissionen in Baden-Württemberg	18
3.4.1 Festlegungen	18
3.4.2 Auswertung	19
4 SCHLUSSFOLGERUNGEN	20
5 ANHANG	21
5.1 Glossar	21
5.2 Literatur	22

Zusammenfassung

Im ersten Halbjahr 2014 wurden in Baden-Württemberg während zweier Episoden auffallend hohe Partikel PM10-Konzentrationen gemessen. Um die Gründe für die hohen Partikelkonzentrationen zu untersuchen, wurden die Partikel PM10-Konzentrationen an 50 Luftmessstationen und Spotmessstellen über einen Zeitraum von jeweils einem Monat (19. März bis 20. April bzw. 7. Mai bis 6. Juni) ausgewertet. Die Auswertung wurde, soweit verfügbar, mit den Ergebnissen von Vorhersagemodellen, meteorologischen Betrachtungen, der Berechnung von Rückwärtstrajektorien, Ceilometermessungen, der Untersuchung der Partikelgrößenverteilung sowie Inhaltsstoffanalysen kombiniert.

Die Untersuchungen weisen nach Auffassung der LUBW eindeutig darauf hin, dass die Partikel PM10-Konzentrationserhöhungen im Zeitraum vom 3. bis zum 5. April und am 22. Mai 2014 auf den Eintrag von Mineralstaub aus Nordafrika („Saharastaub“) zurückzuführen sind. Gemäß Artikel 20 der Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa [EU, 2008], in deutsches Recht umgesetzt mit § 24 der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [39. BImSchV], blei-

ben die Emissionsbeiträge aus derartigen natürlichen Quellen bei der Ermittlung von Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten außer Ansatz. Die während der beiden Episoden an den Messstationen und Spotmessstellen gemessenen Überschreitungen des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM10 werden, soweit sie durch Saharastaub verursacht wurden, deshalb nicht in der Überschreitungsstatistik des Kalenderjahres 2014 berücksichtigt.

Durch die Nichtberücksichtigung des Saharastaubeinflusses verringert sich die Anzahl an Überschreitungen des Partikel PM10-Tagesmittelwertes in Höhe von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ während der ersten Saharastaubepisode an 15 Standorten jeweils um eins, an sechs Standorten jeweils um zwei und an neun Standorten jeweils um drei. Lediglich an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor verbleibt auch nach der Bereinigung um den Saharastaubeinfluss eine Grenzwertüberschreitung (3. April).

Während der zweiten Saharastaubepisode verringert sich die Anzahl an Überschreitungen des Partikel PM10-Tagesmittelwertes in Höhe von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an vier Standorten jeweils um eins.

1 Einleitung

Im ersten Halbjahr 2014 wurden in Baden-Württemberg zwei Episoden identifiziert, während denen die gemessenen Partikel PM10-Immissionen durch den Eintrag von Mineralstäuben aus Nordafrika („Saharastaub“) erhöht waren. Gemäß Artikel 20 der Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa [EU, 2008], in deutsches Recht umgesetzt mit § 24 der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [39. BImSchV], können Emissionsbeiträge aus natürlichen Quellen, beispielsweise Saharastaub, bei der Ermittlung von Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten außer Ansatz bleiben. Voraussetzung hierfür ist, dass der EU-Kommission für das jeweilige Jahr eine Aufstellung der ausgewiesenen Gebiete und Ballungsräume, in denen die Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte für einen bestimmten Schadstoff Emissionsbeiträgen aus natürlichen Quellen zuzurechnen sind, übermittelt wird. Die Aufstellung soll Angaben zu den Konzentrationen und Quellen sowie Unterlagen enthalten, die

nachweisen, dass die Überschreitungen auf natürliche Quellen zurückzuführen sind.

In Deutschland werden die entsprechenden Aufstellungen nach § 31 der 39. BImSchV von den nach Landesrecht zuständigen Behörden erstellt und dem Umweltbundesamt zur Weiterleitung an die Kommission übermittelt.

Die Kommission hat am 15.02.2011 einen Leitlinienentwurf für den Nachweis und die Nichtberücksichtigung von Partikel PM10-Grenzwertüberschreitungen, die natürlichen Quellen zuzurechnen sind, erstellt [EU-Arbeitspapier, 2011]. In diesem Leitlinienentwurf wird beschrieben, wie natürliche PM10-Quellbeiträge mithilfe meteorologischer Betrachtungen, Ergebnissen von Transportmodellen und Inhaltsstoffanalysen identifiziert und nachgewiesen werden können. Anhand dieses Leitfadens werden die beiden Saharastaubepisoden in den folgenden Kapiteln genauer untersucht.

2 Erste Saharastaubepisode (April 2014)

In diesem Kapitel werden die meteorologischen Ursachen, der Verlauf und die Auswirkungen der ersten Saharastaubepisode im April 2014 auf die Partikel PM10-Immissionen in Baden-Württemberg untersucht.

2.1 Vorhersagen

Das am Barcelona Supercomputing Center (*Centro Nacional de Supercomputación*, BSC-CNS) betriebene Modell DREAM (*Dust Regional Atmospheric Model*) ist in der Lage, die Ausbreitung und Deposition von Mineralstaubpartikeln zu modellieren und zu prognostizieren [BSC, 2014]. Das Modell hat Anfang April 2014 den Transport von Saharastaub nach Europa vorhergesagt. Die

Abbildung 1 zeigt die modellierten Depositionswerte von Saharastaub über vier Tage. Es ist deutlich erkennbar, wie sich eine Saharastaubwolke, von Südwesten kommend, langsam über Baden-Württemberg und die angrenzenden Gebiete niederlässt. Die Abbildung 2 zeigt die vom Modell berechneten Staubkonzentrationen in Bodennähe. Für Baden-Württemberg wurden für den 3. und 4. April Werte bis etwa $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vorhergesagt.

Auch das von der US-amerikanischen Marine (*US Navy*) betriebene Vorhersagesystem NAAPS (*Navy Aerosol Analysis and Prediction System*) hat Anfang April den Transport von Mineralstaub nach Baden-Württemberg prognostiziert (vgl. Abbildung 3) [NAAPS, 2014].

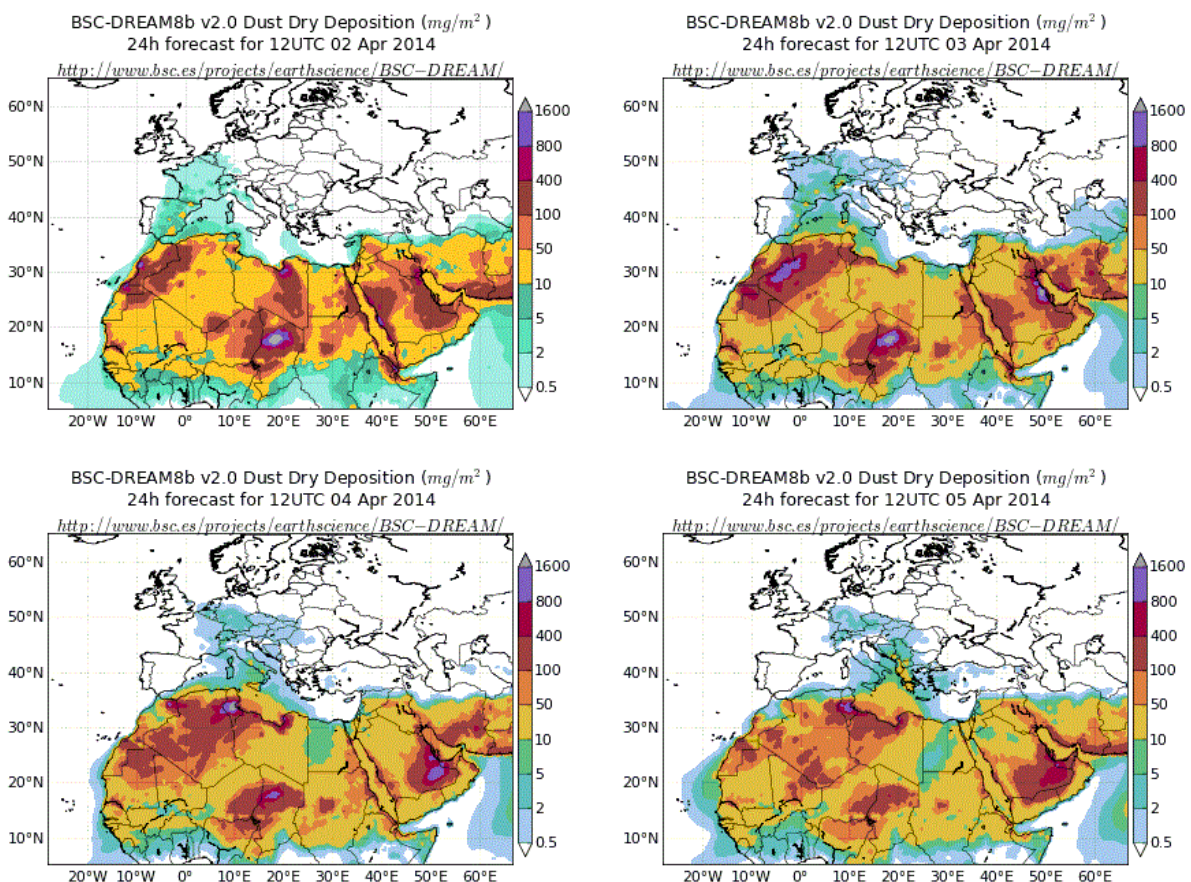


Abbildung 1: Vorhersage der trockenen Deposition von Staub durch das Modell DREAM vom 2. bis 5. April 2014; die farblich gekennzeichneten Depositionsmengen in mg/m^2 werden in den Skalen erläutert

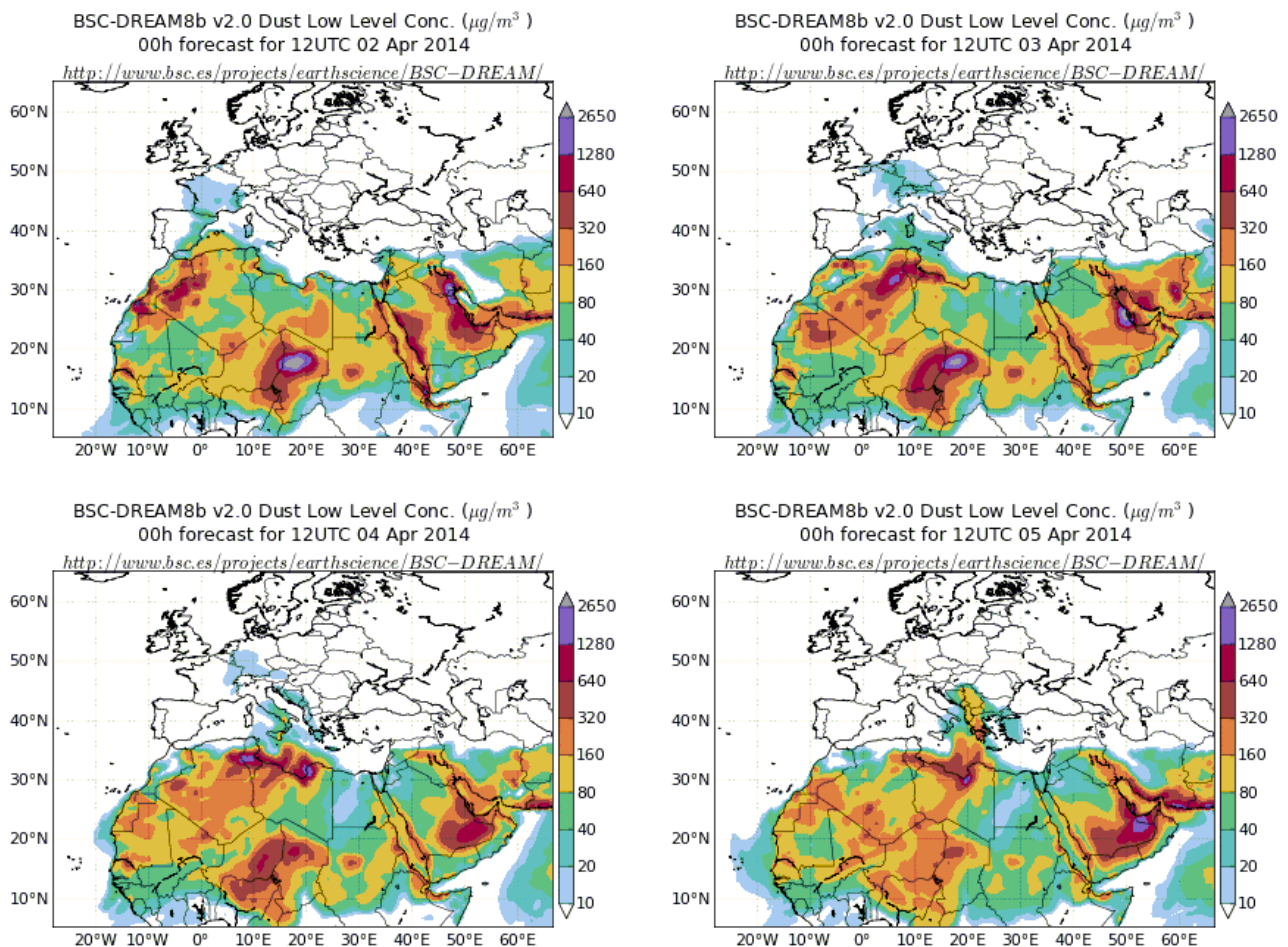


Abbildung 2: Vorhersage der bodennahen Staubkonzentrationen durch das Modell DREAM vom 2. bis 5. April 2014; die farblich gekennzeichneten Konzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ werden in den Skalen erläutert

Beide hier vorgestellten Vorhersagemodelle bestätigen den Eintrag von Saharastaub, erlauben aber keine zeitlich exakte Eingrenzung der Episode.

2.2 Meteorologie

Die meteorologische Großwetterlage war Anfang April 2014 durch zwei Druckgebilde geprägt. Zum einen zog ein Hochdruckgebiet (Hoch „Linus“) vom Nordmeer südostwärts nach Osteuropa. Gleichzeitig befand sich über dem Ostatlantik ein Tiefdruckgebiet (Tief „Karola“), das sich langsam in Richtung Europa verlagerte.

In der höheren Atmosphäre trat Anfang April ein Trog auf, der kältere polare Luft über Süd- und

Südwesteuropa bis nach Afrika transportierte. Die dadurch eingetretene Destabilisierung der Atmosphäre vom westlichen Mittelmeerraum bis Nordafrika ließ hochreichende Gewitter und Schauer über Nordwestafrika entstehen. Hierbei wurden große Mengen Saharastaub in die Höhe befördert. Die um den Trog wehenden kräftigen Winde transportierten die mit Saharastaub angereicherte, warme Luft von Nordafrika (Marokko und Algerien) nord- bis nordostwärts über das westliche Mittelmeer bis nach Deutschland und Baden-Württemberg. Durch Anlagerung von Wasser an die Staubpartikel erfolgte auf dem Weg nach Norden eine starke Wolkenbildung (vgl. Abbildung 4).

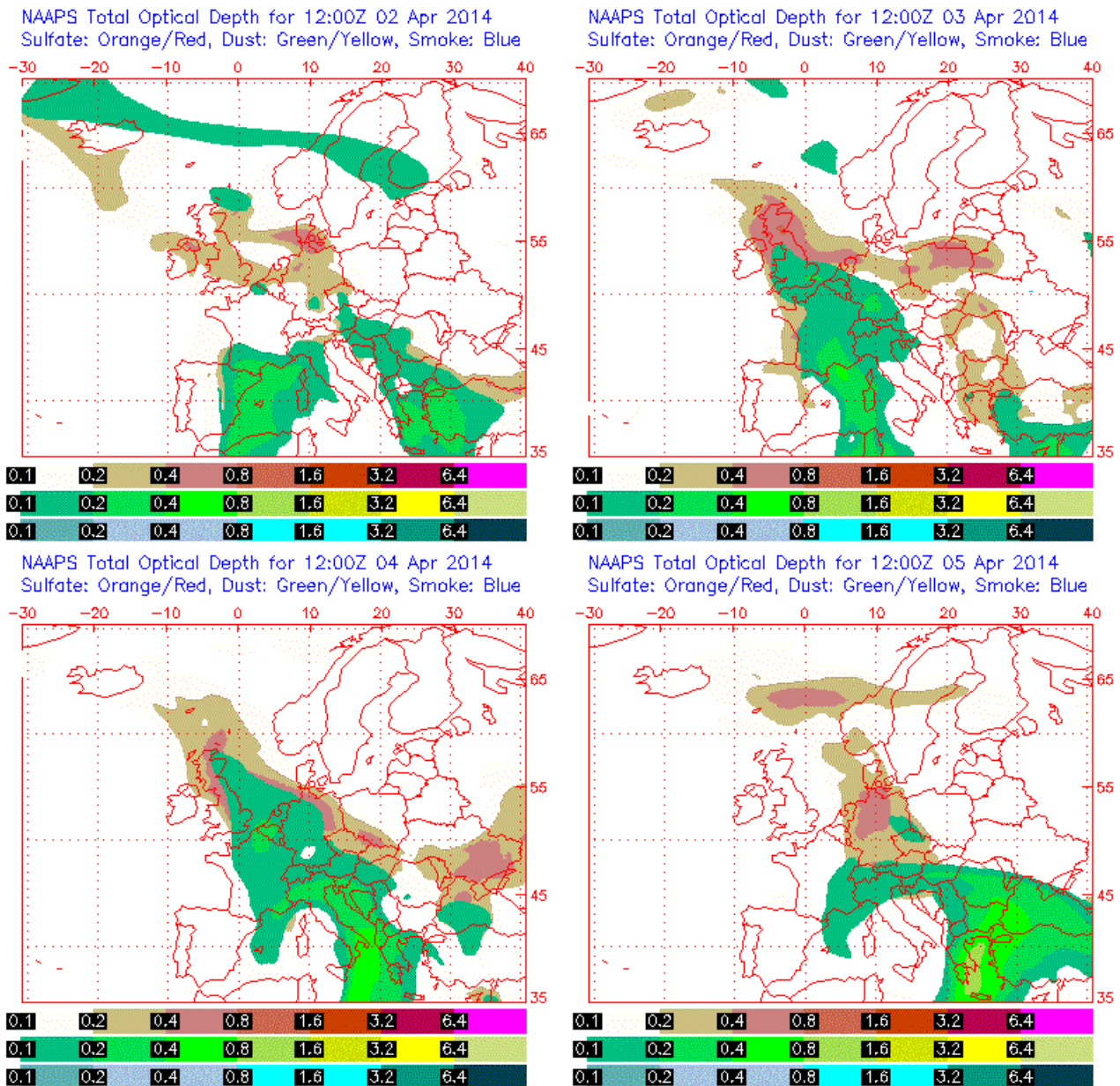


Abbildung 3: Vorhersage der optischen Dicke der Aerosolschicht über Europa durch das System NAAPS vom 2. bis 5. April 2014; (Mineral-)Staub ist grün/gelb codiert

Der Transport von Saharastaub nach Baden-Württemberg wird durch die Analyse von Rückwärtstrajektorien bestätigt. Diese wurden mit dem Modell HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*) der US-amerikanischen *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) auf der Basis von GDAS-Daten (*Global Data Assimilation System*) berechnet [NOAA, 2014]. Die Abbildung 5 zeigt als Beispiel die 120-Stunden-Rückwärtstrajektorie der im Zentrum Baden-Württembergs gelegenen Messstation Gärtringen vom 3. April 2014. Es ist

deutlich erkennbar, dass die Luftmassen zu diesem Zeitpunkt aus Nordafrika stammten.

Im unteren Teil von Abbildung 5 ist erkennbar, dass die bodennahe Luftmasse (360 m über Grund) am 3. April ursprünglich aus relativ großen Höhen stammte. Es ist deswegen davon auszugehen, dass diese Luftmasse nur geringe Staubmengen transportierte. Die Luftmasse, die Gärtringen am 3. April in einer Höhe von ca. 2.100 m über Grund passierte, stammte hingegen aus Bodennähe in der Westsahara. Diese Luftma-

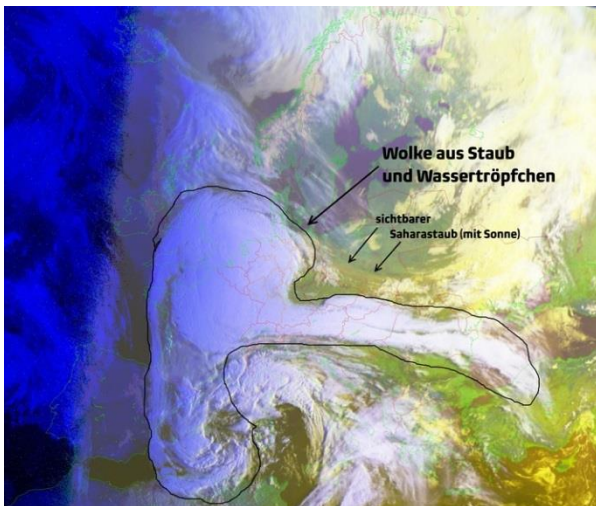


Abbildung 4: Satellitenbild vom 4. April 2014, 8 Uhr MESZ; die riesige Wolke mit Saharastaub erstreckt sich vom Mittelmeer bis nach Schottland und zieht über die Westhälfte Deutschlands weiter ostwärts [MeteoGroup, 2014]

se ist dort ab dem 31. März in große Höhen aufgestiegen und nach Baden-Württemberg transportiert worden. Vergleichbare Beobachtungen wurden auch an anderen Messstationen in Baden-Württemberg gemacht.

Dieser vom Modell berechnete Höhentransport von Staubpartikeln wurde am 3. April mit Ceilometermessungen an der Messstation Kehl experi-

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1200 UTC 03 Apr 14
GDAS Meteorological Data

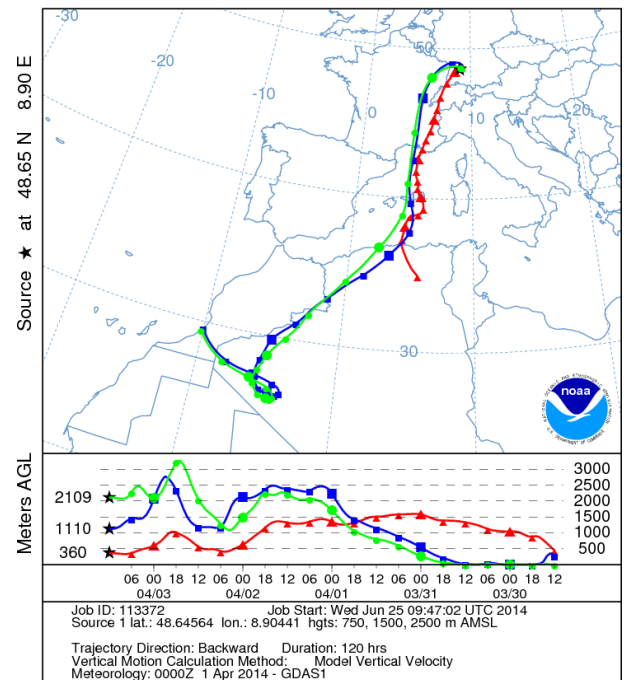


Abbildung 5: 120-Stunden-Rückwärtstrajektorie für die Messstation Gärtringen, berechnet mit dem Modell HYSPLIT

mentell bestätigt. Die Abbildung 6 zeigt die farblich codierte Rückstreuintensität der Atmosphäre in Abhängigkeit von der Höhe (Ordinate) und der Tageszeit (Abszisse). Schwarze Linien kennzeichnen verschiedene Mischungshöhen, weiße

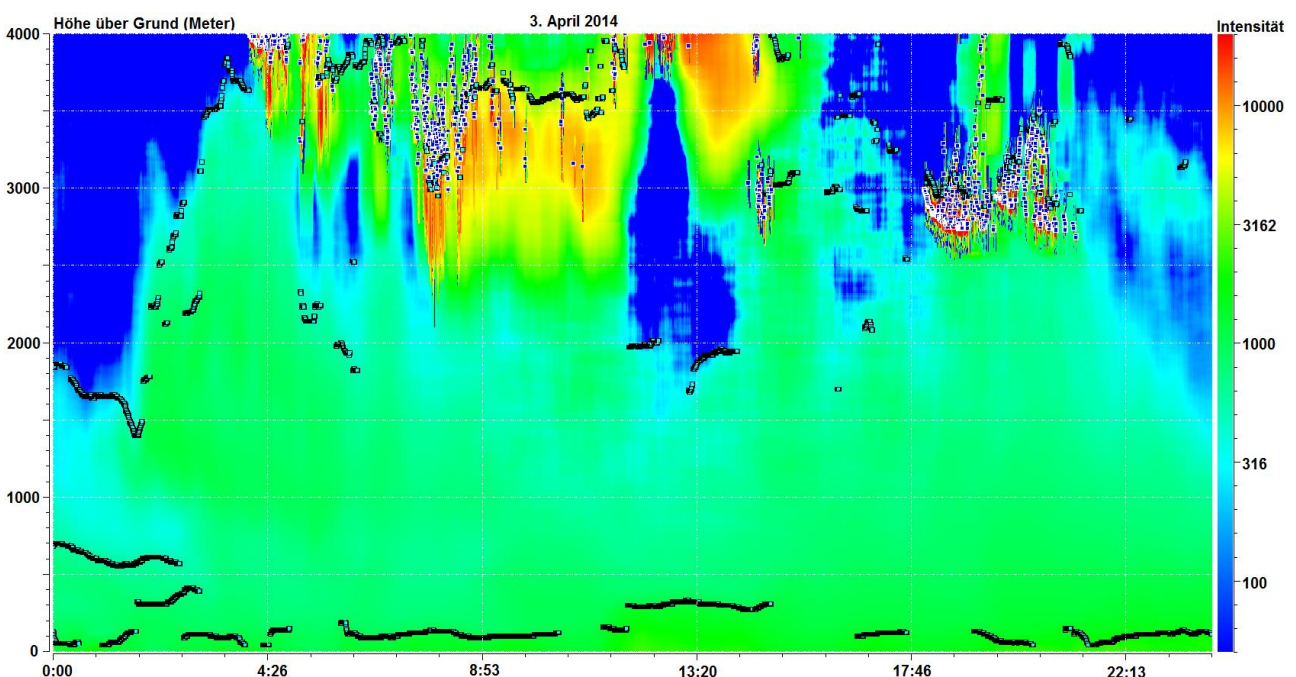


Abbildung 6: Rückstreuintensität der Atmosphäre am 3. April 2014 an der Messstation Kehl

Linien kennzeichnen Reflexionen von Wolken. Es ist deutlich erkennbar, dass die Rückstreuintensität zwischen etwa 4:30 Uhr und 16:00 Uhr in Höhen von 2.500 m bis über 4.000 m sehr hohe Werte erreicht. Dies ist ein weiterer Hinweis auf das Vorhandensein von Staubpartikeln, erlaubt aber keine Aussagen über die Verhältnisse am Boden.

2.3 Partikel-Messungen

2.3.1 Partikel PM10-Konzentrationen

Die Bestimmung der Partikel PM10-Konzentrationen erfolgte im Labor für Luftmessungen und stofflichen Verbraucherschutz der LUBW durch Gravimetrie.

In der Tabelle 1 sind die Partikel PM10-Konzentrationen an den Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg vom 19. März bis zum 20. April 2014 zusammengestellt¹. Die Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes von

Tabelle 1: Partikel PM10-Tagesmittelwerte an den Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg

Datum	Regierungsbezirk Stuttgart																				Regierungsbezirk Karlsruhe										Regierungsbezirk Freiburg						Regierungsbezirk Tübingen														
	Aalen	Bernhausen	Fellbach Burgstraße	Gärtingen	Heilbronn	Heilbronn Wernsberger Straße-Ost	Ilefeld König-Wilhelm-Straße	Ingersheim Tiefengasse	Leonberg Grabenstraße	Ludwigsburg	Ludwigsburg Friedrichstraße	Mangröningen Grabenstraße	Pleidsheim Behinger Straße	Schwäbisch Hall	Stuttgart Am Neckartor	Stuttgart Arnulf-Klett-Platz	Stuttgart-Bad Cannstatt	Stuttgart Hohenheimer Straße	Stuttgart Waiblinger Straße	Tauberbischofsheim	Baden-Baden	Eggenstein	Heidelberg	Horb Neckarstraße	Karlsruhe-Nordwest	Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße	Mannheim-Nord	Mannheim Friedrichsring	Pfinztal Karlsruhe Straße	Plorzhelm	Wiesloch	Freiburg	Freiburg Schwarzwaldstraße	Keit	Konstanz*	Neuenburg	Schramberg Oberndorfer Straße	Schwarzwald-Süd	Villingen-Schwenningen	Weil am Rhein	Biberach	Friedrichshafen	Reutlingen*	Reutlingen Lederstraße-Ost	Schwäbische Alb	Tübingen	Tübingen Jesinger Hauptstraße	Tübingen Mühlstraße	Ulm	Ulm Karlsruhe	
19.3.14	15	14	31	13	26	28	32	28	21	18	24	30	25	-	32	26	16	19	21	14	14	19	20	25	17	22	16	24	21	19	18	13	19	17	16	15	17	11	13	14	14	17	13	41	9	17	20	20	13	24	
20.3.14	17	19	19	21	36	33	27	27	22	18	23	30	30	26	63	38	36	32	31	15	13	20	17	21	17	22	23	29	22	18	16	14	20	22	25	17	18	7	23	18	19	27	-	33	10	22	22	26	23	35	
21.3.14	25	21	22	20	35	36	30	29	24	18	25	32	29	54	41	38	43	24	30	18	17	25	23	29	21	28	20	25	23	27	18	23	29	24	29	23	23	20	32	23	25	29	20	39	14	25	26	35	27	40	
22.3.14	14	13	13	8	9	16	14	16	12	9	12	16	13	12	23	24	13	15	17	8	6	8	8	12	8	43	6	42	9	7	10	9	12	8	16	11	13	7	9	13	14	16	11	22	8	11	18	17	15	23	
23.3.14	8	8	9	5	8	13	12	12	10	7	12	13	11	9	13	13	7	10	10	8	6	6	9	8	6	11	8	12	10	6	8	8	4	7	10	4	4	6	5	3	7	13	6	6	8	12	5	11			
24.3.14	17	-	15	9	21	24	24	28	18	12	19	28	18	14	33	19	13	17	20	12	11	10	15	18	12	15	14	21	15	13	15	8	13	11	8	17	4	8	8	10	9	10	29	5	8	17	19	13	25		
25.3.14	22	14	21	13	26	31	29	26	29	19	29	36	29	21	61	41	19	27	26	18	11	14	16	20	17	20	23	29	21	19	17	11	15	15	12	13	18	7	12	14	12	11	16	38	9	13	24	26	17	28	
26.3.14	21	28	26	26	29	33	35	31	38	24	36	46	36	26	56	33	24	33	30	16	16	22	18	27	22	24	21	28	27	26	17	17	23	26	27	23	27	13	21	23	29	28	27	47	20	23	28	32	26	32	
27.3.14	19	25	23	17	23	59	33	23	33	18	31	42	32	24	56	34	25	33	20	15	19	14	26	18	23	12	25	25	21	15	30	35	28	33	37	31	29	21	35	26	36	27	46	16	23	30	34	20	28		
28.3.14	24	27	28	18	28	32	31	32	33	27	37	41	33	28	63	37	28	33	35	25	19	22	18	24	21	26	21	31	26	24	21	20	26	30	24	32	23	19	18	20	25	27	25	43	16	22	29	33	25	37	
29.3.14	23	29	28	20	30	34	31	29	31	25	34	40	32	29	57	36	26	35	33	27	17	23	21	23	23	27	22	32	26	27	23	18	23	28	24	28	21	10	14	20	25	28	28	39	19	23	28	-	30	35	
30.3.14	29	27	28	20	29	34	30	30	32	29	33	39	32	32	47	36	31	41	34	26	18	28	30	20	28	31	33	42	27	25	24	16	17	31	26	25	17	12	13	20	25	26	35	19	21	27	-	28	35		
31.3.14	37	38	37	28	46	55	42	41	46	33	44	63	45	39	72	48	39	46	43	30	24	34	32	30	33	38	-	57	32	30	27	21	26	34	27	26	26	19	17	27	21	27	30	40	49	22	39	34	-	31	40
1.4.14	39	42	39	32	47	61	47	41	52	39	49	64	47	38	74	51	40	53	30	34	26	33	34	36	34	36	-	77	34	31	31	26	28	35	35	23	29	17	33	22	34	33	42	64	40	29	42	50	42	51	
2.4.14	45	36	38	26	51	62	44	39	44	37	46	56	49	39	72	-	43	49	49	37	25	35	34	30	33	40	31	70	37	29	30	29	32	34	34	32	28	24	33	28	30	33	33	54	26	35	43	43	36	52	
3.4.14	43	44	45	38	53	63	52	43	53	40	53	64	59	49	83	55	46	55	52	36	37	38	36	43	36	40	40	51	42	40	34	37	42	43	41	39	39	31	42	31	34	37	38	63	42	43	42	53	43	56	
4.4.14	36	45	45	40	38	53	53	43	58	39	50	68	55	41	72	57	40	52	49	33	39	43	36	41	42	47	35	43	46	42	33	40	45	50	40	38	41	33	44	33	38	38	43	62	37	46	45	55	50	67	
5.4.14	54	51	55	39	54	60	52	55	58	53	59	66	53	53	63	62	52	56	58	54	54	56	52	36	53	61	45	57	55	48	50	39	43	46	41	43	43	24	38	36	45	41	44	60	39	40	43	49	51	58	
6.4.14	44	34	34	25	38	41	36	35	32	30	32	38	34	43	43	39	32	35	35	35	25	31	34	32	28	35	27	37	30	24	31	26	29	29	33	28	29	22	23	25	34	35	33	40	32	31	29	35	48	50	
7.4.14	20	22	26	18	30	40	26	26	29	21	25	37	26	22	56	33	24	30	32	16	16	18	18	23	18	26	23	26	23	18	20	17	23	23	24	21	24	12	22	16	22	28	21	37	16	25	23	29	28	36	
8.4.14	12	13	13	10	16	22	23	15	16	11	18	22	14	13	26	28	12	17	16	9	10	11	14	17	11	14	10	18	14	9	10	8	13	12	12	9	16	7	8	9	11	13	12	9	8	15	11	16	13	24	
9.4.14	13	13	14	10	36	25	23	18	22	13	21	27	15	15	26	28	13	18	14	11	13	13	15	15	12	17	13	17	17	11	12	10	15	13	11	13	15	8	9	13	10	11	12	27	9	12	17	19	12	20	
10.4.14	19	21	23	19	62	37	35	25	30	20	30	40	26	23	52	29	18	27	24	21	15	18	24	23	18	21	21	27	21	19	21	13	18	20	16	17	19	9	18	12	20	18	21	38	17	22	24	27	16	29	
11.4.14	22	18	19	17	43	30	25	20	25	16	26	33	23	18	51	28	20	24	24	17	16	15	14	20	15	17	13	25	23	16	15	13	20	21	16	20	19	9	14	15	20	17	21	32	17	19	20	24	23	30	
12.4.14	18	25	26	20	25	31	26	25	33	26	26	36	24	18	39	33	25	32	30	18	19	25	27	25	26	29	31	41	29	23	20	26	25	32	26	22	18	18	22	25	35	25	37	23	25	23	26	22	32		
13.4.14	22	26	26	23	28	30	30	27	30	25	27	34	24	26	28	29	19	29	27	23	20	16	25	24	16	23	22	28	21	24	23	18	22	21	25	23	21	17	20	17	24	27	26	34	26	25	25	27	28	35	
14.4.14	13	17	18	13	30	27	24	21	24	17	26	38	19	15	28	30	15	21	20	12	15	20	20	18	15	19	14	23	19	21	15	15	21	17	16	18	19	12	18	16	14	16	15	36	11	18	19	21	15	34	
15.4.14	10	12	25	11	29	21	23	16	25	13	25	25	17	11	23	23	13	20	15	10	11	19	14	16	12	17	13	18	15	12	13	12	17	13	11	14	-	10	9	13	11	12	13	25	9	13	17	19	11	21	
16.4.14	13	15	18	13	21	23	22	18	21	14	24	35	21	13	39	22	14	22	20	10	12	12	16	12	16	13	18	17	14	13	11	17	19	13	15	-	8	15	12	-	12	15	31	10	14	17	20	16	28		
17.4.14	14	22	-	13	42	31	26	21	23	13	22	30	25	16	41	25	17	20	24	13	11	18	11	18	20	14	22	17	12	14	20	18	13	17	17	10	12	17	-	15	15	32	10	17	20	22	15	26			
18.4.14	11	10	-	10	13	15	14	14	14	10	14	18	13	11	22	18	10	13	18	11	9	13	9	13	11	13	11	15	13	10	9	10	12	13	11	12	14	8	10	12	9	10	11	17	7	11	16	15	11	16	
19.4.14	19	22	-	19	20	22	23	24	25	19	26</																																								

50 µg/m³ PM10 sind rot hinterlegt. An 30 Messstandorten kam es Anfang April zu Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³. Die Tabelle zeigt auch, dass im Nordosten Baden-Württembergs, vor allem im Regierungsbezirk Stuttgart, bereits seit Ende März stetig ansteigende Partikel PM10-Konzentrationen gemessen wurden. Aus diesem Grund kann der Beginn der Saharastaubepisode nicht aus den Partikel PM10-Messungen bestimmt werden. Das Ende der Saharastaubepisode am 5. April ist hingegen deutlich sichtbar.

2.3.2 Partikelgrößenverteilung

Partikel, die bei mechanischen Prozessen, beispielsweise der Aufwirbelung von Mineralstaub, emittiert wurden, gehören meist der größeren Partikelfraktion an. Anhand des Verhältnisses Partikel PM2,5 zu Partikel PM10 können deshalb Hinweise über die Emissionsquellen der Partikel PM10 abgeleitet werden.

Tabelle 2: Verhältnis Partikel PM2,5 zu Partikel PM10 in Prozent an den Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg

Datum	RB Stuttgart					RB Karlsruhe					RB Freiburg					RB Tübingen					
	Heilbronn	Heilbronn Weinberger Straße-Ost	Stuttgart Arnulf/Klein-Platz	Stuttgart-Bad Cannstatt	Pinzthal Karlsruhe	Karlsruhe-Nordwest	Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße	Mannheim-Nord	Mannheim Friedriehsing	Pliezheim	Freiburg	Freiburg Schwarzwaldstraße	Schwarzwald-Süd	Kehl	Schramberg Oberndorfer Straße	Weil am Rhein	Schwäbische Alb	Reutlingen Lederstraße-Ost	Tübingen	Ulm	
19.3.14	51	46	44	54	64	64	61	57	59	55	55	65	60	70	51	60	70	70	43	45	66
20.3.14	44	45	37	42	42	63	61	54	59	54	61	61	54	75	52	57	55	63	52	56	54
21.3.14	48	52	46	50	47	67	63	60	56	62	54	67	61	71	61	62	69	71	60	58	63
22.3.14	67	52	42	49	59	72	71	64	70	65	67	75	67	-	61	59	81	72	52	66	68
23.3.14	57	46	38	52	58	66	75	56	68	61	63	68	59	62	63	60	70	74	49	61	71
24.3.14	63	54	38	52	67	80	69	68	68	60	71	80	69	79	72	53	83	82	42	69	73
25.3.14	72	62	41	41	83	83	83	68	82	68	79	73	69	80	75	69	91	67	45	76	84
26.3.14	72	66	51	61	87	84	91	78	82	69	82	90	71	83	80	76	84	74	58	79	85
27.3.14	68	55	52	54	72	77	82	73	-	69	78	87	81	89	77	71	88	90	62	79	76
28.3.14	70	65	55	57	72	75	80	75	80	71	75	81	74	79	77	67	86	85	81	81	73
29.3.14	74	66	58	63	81	80	87	82	100	79	79	89	77	75	77	73	81	82	67	85	77
30.3.14	74	65	61	63	69	76	78	73	73	74	85	79	74	81	80	75	81	76	67	83	77
31.3.14	55	54	54	55	66	70	75	68	-	61	71	67	62	69	74	65	66	73	54	62	65
1.4.14	53	52	53	48	64	62	69	69	-	53	63	63	61	63	56	64	63	53	51	56	57
2.4.14	44	46	42	-	50	53	54	53	61	40	54	47	47	47	51	51	50	43	43	49	48
3.4.14	35	42	31	35	43	41	40	42	45	55	39	41	41	37	37	40	48	24	37	41	35
4.4.14	37	43	34	36	47	39	35	38	38	45	40	40	40	35	42	44	44	38	39	40	38
5.4.14	67	63	49	53	67	62	62	56	81	61	72	62	58	51	63	59	70	48	47	61	68
6.4.14	67	63	47	51	67	66	68	63	75	61	66	66	62	50	76	57	69	47	53	63	71
7.4.14	46	53	37	45	60	53	63	61	60	62	53	64	56	55	55	60	48	46	49	46	
8.4.14	41	49	35	42	53	63	50	62	51	52	50	55	54	60	53	51	61	53	37	57	48
9.4.14	27	49	36	38	49	52	50	50	55	52	49	49	48	53	46	51	54	48	45	50	44
10.4.14	31	48	38	27	59	59	59	56	64	62	52	54	54	57	53	58	56	53	50	55	57
11.4.14	39	50	40	47	60	62	63	63	83	63	64	55	56	59	58	66	61	65	66	64	69
12.4.14	64	56	52	61	69	72	70	67	82	68	66	86	64	64	77	65	67	67	62	62	67
13.4.14	68	67	65	65	95	83	90	70	79	67	73	80	76	55	69	72	68	72	67	73	73
14.4.14	40	45	46	69	57	51	45	52	56	49	40	59	68	65	49	62	59	55	61	45	49
15.4.14	31	40	36	40	45	54	42	44	48	38	42	43	48	44	42	-	41	39	36	36	43
16.4.14	45	44	40	61	74	63	66	57	60	45	56	59	55	46	47	-	55	56	39	54	54
17.4.14	36	44	41	47	59	55	57	57	72	49	59	58	59	66	57	61	60	70	41	52	51
18.4.14	60	53	45	49	81	72	58	58	68	54	63	67	67	62	66	66	67	79	51	68	54
19.4.14	81	76	55	70	96	85	86	77	75	68	79	84	75	61	79	73	82	83	65	83	78
20.4.14	72	64	52	70	90	74	70	65	88	58	79	84	81	68	81	84	87	76	64	77	68

kein Wert ≤ 40% 40 - 80% 80 - 90% 90 - 100% > 100%



Die Tabelle 2 zeigt das Verhältnis Partikel PM2,5 zu Partikel PM10 für alle Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg, an denen beide Komponenten gemessen wurden. Man erkennt, dass sich das Verhältnis ab dem 3. April schlagartig verringert hat. Die LUBW geht daher davon aus, dass die Messstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg ab diesem Zeitraum von Grobstaub aus der Sahara beaufschlagt wurden.

2.3.3 Partikelinhaltsstoffe

Mineralstaubpartikel weisen gegenüber der typischen Partikel PM10-Zusammensetzung in Zentraleuropa erhöhte Gehalte an Calcium, Aluminium (in Form von Al₂O₃), Eisen (in Form von Fe₂O₃), Kalium, Magnesium, Silicium (in Form von SiO₂) und Carbonat auf [EU-Arbeitspapier, 2011].

Die LUBW untersuchte im fraglichen Zeitraum die Partikel PM10-Inhaltsstoffe an zehn Standorten, um ggf. eine Änderung der Partikel PM10-Zusammensetzung durch den Einfluss von Saharastaub zu erkennen (vgl. Tabelle 3). Partikel PM10-Proben, die an den anderen Standorten in Baden-Württemberg gesammelt wurden, konnten nicht analysiert werden, da zum betreffenden Zeitpunkt nur die in Tabelle 3 gezeigten Standorte mit den für die chemische Analytik benötigten Quarzfaserfiltern bestückt waren. Quarzfaserfilter zeichnen sich durch geringe Elementblindwerte aus und ermöglichen deshalb umfangreichere Inhaltsstoffanalysen als die häufiger verwendeten, preisgünstigeren Glasfaserfilter. Auch an den Standorten in Tabelle 3 wurden nicht jeden Tag Quarzfaserfilter beprobt, so dass an den meisten Standorten nur an jedem dritten Tag Inhaltsstoffanalysen durchgeführt werden konnten.

Die Bestimmung der Partikel PM10-Inhaltsstoffe wurde vom Labor für Luftmessungen und stofflichen Verbraucherschutz der LUBW gemäß der in [VDI 2267 Blatt 1] und [VDI 2267 Blatt 3 (E)] beschriebenen Methode durchgeführt. Hierbei

Tabelle 3: Messstandorte, an denen PM10-Inhaltsstoffe analysiert wurden

Verkehrsnah	Code
Ulm Karlstraße	UL-KA
Tübingen Jesinger Hauptstraße	TÜ-JH
Stuttgart Waiblinger Straße	S-WS
Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße	KA-RFS
Mannheim Friedrichsring	MA-FR
Städtischer Hintergrund	
Stuttgart-Bad Cannstatt	BC
Aalen	AA
Eggenstein	EG
Mannheim	MA
Ländlicher Hintergrund	
Schwarzwald-Süd	SW-S

wird ein Teil des Filters mit einer Mischung aus Salpetersäure (HNO_3), Fluorwasserstoffsäure (HF) und Wasserstoffperoxid (H_2O_2) mikrowellenunterstützt aufgeschlossen, um die zu untersuchenden Inhaltsstoffe zu lösen. Die Aufschlusslösung wird zur Trockne eingedampft und anschließend in einprozentiger Salpetersäure aufgenommen. Ein Aliquot dieser Lösung wird mittels ICP-OES (Optische Emissionsspektrometrie; engl. *inductively coupled plasma optical emission spectrometry*) analysiert.

Das Prinzip der ICP-OES beruht darauf, dass die zu untersuchende Lösung in ein ca. 7.000°C heißes Argon-Plasma eingebracht wird. Bei diesen Temperaturen erfolgt eine energetische Anregung der Ionen, wodurch sie eine für das jeweilige Element charakteristische elektromagnetische Strahlung aussenden. Anhand der Wellenlänge dieser Strahlung kann das chemische Element identifiziert werden. Über die Intensität der Strahlung kann die Konzentration ermittelt werden.

Mit den beschriebenen Methoden wurden die Gehalte an Calcium (Ca), Aluminium (Al), Eisen (Fe), Kalium (K) und Magnesium (Mg) ermittelt. Die Nachweisgrenzen aus ICP-OES-Messungen

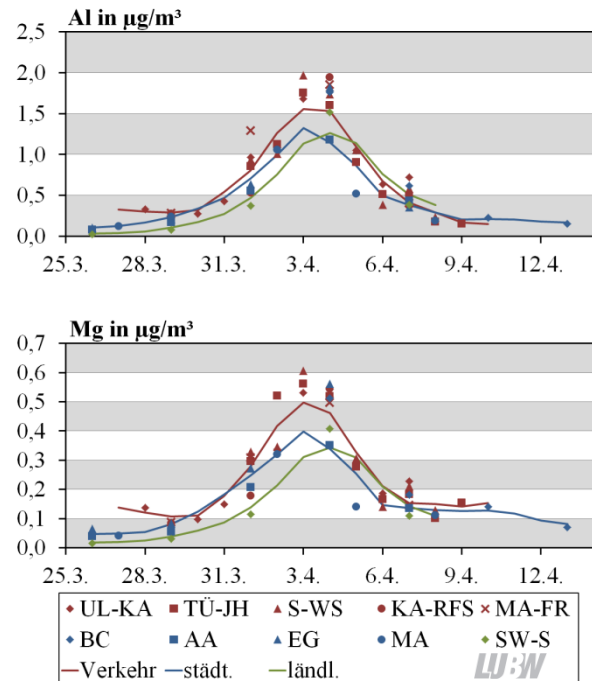


Abbildung 7: Verlauf der Konzentrationen von Aluminium (oben) und Magnesium (unten) im April 2014

betragen $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Calcium, $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Aluminium, $0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Eisen, $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Kalium und $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Magnesium.

Der Verlauf der gemessenen Aluminium- und Magnesium-Konzentrationen an allen zehn Standorten ist in der Abbildung 7 gezeigt. Zur besseren Lesbarkeit wurden zusätzlich zu den Tagesmittelwerten auch die interpolierten und geglätteten Konzentrationsverläufe dargestellt².

Die Abbildung 7 zeigt einen deutlichen Anstieg der Aluminium-Konzentrationen mit einem Maximum um den 3. April. Auch die Magnesium-Konzentrationen zeigen einen vergleichbaren Verlauf (Abbildung 7). Beide Befunde sind Hinweise auf den Eintrag von Mineralstaub.

² Diese wurden ermittelt, indem für jeden Stationstyp und jedes Element Konzentrationstagesmittelwerte berechnet wurden. Wenn kein derartiger Mittelwert ermittelt werden konnte, wurde er durch lineare Interpolation abgeschätzt. Die auf diese Weise erhaltene lückenlose Zeitreihe wurde für die Darstellung im Diagramm durch Berechnung des gleitenden Drei-Tages-Mittelwert geglättet.

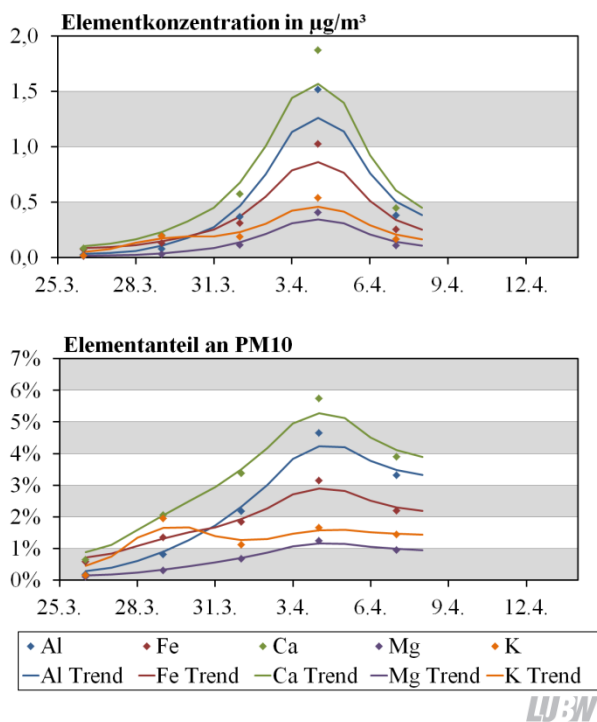


Abbildung 8: Verlauf der Elementkonzentrationen (oben) und Anteile der diskutierten Elemente an der Partikelfraktion PM10 (unten) an der Messstation Schwarzwald-Süd im April 2014

Im Folgenden werden nur die Ergebnisse der ländlichen Hintergrundstation Schwarzwald-Süd diskutiert, da anthropogene Einflüsse hier weitgehend ausgeschlossen und natürliche Effekte somit mit größerer Sicherheit identifiziert werden können. Die Abbildung 8 zeigt, dass alle Elemente, die für Saharastaub charakteristisch sind, Anfang April vielfach erhöhte Werte aufweisen. Auch der Anteil dieser Elemente an der Partikelfraktion PM10 hat sich während der Saharastaubepisode vervielfacht (vgl. Abbildung 8)³.

Aus den Inhaltsstoffanalysen kann der Massenbeitrag des Saharastaubs zur PM10-Konzentration abgeschätzt werden, indem die Zusatzbeiträge der

³ Der Anteil Kalium war bereits um den 29. März erhöht. Im Vergleich zu den anderen hier diskutierten Elementen ist Kalium ein vergleichsweise schlechter Indikator für Mineralstaub, da dieses Element auch bei der Verbrennung von Biomasse emittiert wird (vgl. z. B. [Pio et al., 2008]). Der hohe Kalium-Anteil um den 29. März ist deshalb mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Holzfeuerungsmissionen zurückzuführen.

Tabelle 4: Konzentrationen einzelner PM10-Inhaltsstoffe in µg/m³ an der Hintergrundmessstation Schwarzwald-Süd

Inhaltsstoff	vor/nach Episode	während Episode	Zusatzbeitrag
Al	0,2	1,5	1,3
Fe	0,2	1,0	0,8
Ca	0,3	1,9	1,5
Mg	0,1	0,4	0,3
K	0,1	0,5	0,4
O (aus Al ₂ O ₃)	-	-	1,2
O (aus Fe ₂ O ₃)	-	-	0,4
SiO ₂	-	-	7,4
CO ₃ ²⁻	-	-	3,2
Summe	-	-	16,5

einzelnen Elemente und ihrer Gegenionen aufsummiert werden. Der saharastaubbedingte Zusatzbeitrag jedes Elements an der Messstation Schwarzwald-Süd wurde jeweils aus der Differenz der Konzentration am 4. April und dem Mittelwert der Konzentrationen am 29. März, am 1. April und am 7. April gebildet (vgl. Datumsangaben in den Kapiteln 2.3.1 und 2.3.2). Die Berechnung des Zusatzbeitrages ist in der Tabelle 4 gezeigt. Der Zusatzbeitrag beträgt 1,3 µg/m³ Aluminium, 0,8 µg/m³ Eisen, 1,5 µg/m³ Calcium, 0,3 µg/m³ Magnesium und 0,4 µg/m³ Kalium. Da Aluminium und Eisen jeweils als Oxide (d.h. zusammen mit Sauerstoff) in der Form Al₂O₃ bzw. Fe₂O₃ vorliegen, kommen für den Massenbeitrag von Sauerstoff weitere 1,2 µg/m³ bzw. 0,4 µg/m³ hinzu. Der mit der hier verwendeten ICP-OES-Methode experimentell nicht zugängliche Gehalt von Siliciumdioxid (SiO₂, Quarz) kann über die empirische Beziehung SiO₂ = 3·Al₂O₃ aus der Aluminium-Konzentration zu 7,4 µg/m³ abgeschätzt werden [EU-Arbeitspapier, 2011]. Die experimentell ebenfalls nicht zugängliche Konzentration von Carbonat (CO₃²⁻) wird über die empirische Beziehung CO₃²⁻ = 1,5·Ca + 2,5·Mg zu 3,2 µg/m³ abgeschätzt [EU-Arbeitspapier, 2011]. In der Summe ergibt sich an der Messstation Schwarzwald-Süd am 4. April eine saharastaubbedingte zusätzliche PM10-Konzentration von 16,5 µg/m³.

2.4 Auswirkungen auf die Partikel PM10-Immissionen in Baden-Württemberg

2.4.1 Rechtliche Vorgaben

Die EU-Richtlinie 2008/50/EG erlaubt unter bestimmten Bedingungen, den Beitrag natürlicher Quellen von den gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen abzuziehen. Eine im Entwurf vorliegende Leitlinie der EU zeigt auf, wie die natürliche Quelle zu identifizieren ist, wie die dadurch bedingten Partikel PM10-Konzentrationen ermittelt werden können und in welchem Umfang die durch die natürliche Quelle bedingten Partikel PM10-Konzentrationserhöhungen zu korrigieren sind [EU-Arbeitspapier, 2011].

Bei der hier betrachteten natürlichen Quelle handelt es sich um Saharastaub. Laut Entwurf soll für die Quantifizierung der saharastaubbedingten Partikel PM10-Immissionen für eine repräsentative regionale Hintergrundmessstation ein Mittelwert aus den gemessenen Partikel PM10-Konzentrationen 15 Tage vor der Saharastaubepisode und 15 Tage danach berechnet werden. Der berechnete Wert ist als Hintergrundkonzentration anzusetzen. Die Differenz aus der gemessenen Partikel PM10-Konzentration und dem berechneten Mittelwert soll als Beitrag natürlicher Quellen auf die Partikel PM10-Konzentration betrachtet werden. Dieser Beitrag bleibt bei der Ermittlung von Grenzwertüberschreitungen außer Ansatz.

2.4.2 Festlegungen

Aufgrund der Untersuchung der Partikel PM10-Konzentrationen (Kapitel 2.3.1, Seite 10) und der Größenverteilungen (Kapitel 2.3.2, Seite 11) wurde die zu bewertende Saharastaubepisode in Baden-Württemberg auf den Zeitraum vom 3. bis zum 5. April festgelegt. Außerdem wurde die ländliche Hintergrundmessstation Schwarzwald-Süd als für die Regierungsbezirke Karlsruhe und Freiburg repräsentative Hintergrundmessstation herangezogen. Als repräsentative Hintergrundmessstation für die Regierungsbezirke Stuttgart

und Tübingen wurde die ländliche Hintergrundmessstation Schwäbische Alb gewählt.

2.4.3 Auswertung

Nach dem Leitlinienentwurf wurde für jede der beiden Hintergrundmessstationen ein Mittelwert aus den gemessenen Partikel PM10-Konzentrationen 15 Tage vor der Saharastaubepisode (19. März bis 2. April), während der Saharastaubepisode (3. bis 5. April) und 15 Tage nach der Saharastaubepisode (6. bis 20. April) berechnet (vgl. Tabelle 5). Während der 30 nicht von Saharastaub beeinflussten Tage lagen die PM10-Konzentrationen im Mittel bei $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Messstation Schwarzwald-Süd und bei $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Messstation Schwäbische Alb. Während der Saharastaubepisode erhöhten sich die Partikel PM10-Konzentrationen an der Messstation Schwarzwald-Süd um $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und an der Messstation Schwäbische Alb um $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der an der Messstation Schwarzwald-Süd ermittelte Wert stimmt sehr gut mit dem in den chemischen Analysen ermittelten Zusatzbeitrag in Höhe von $16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überein. Dies bestätigt die Gültigkeit der gewählten Vorgehensweise.

Gemäß EU-Leitlinienentwurf können die gemessenen Partikel PM10-Konzentrationen aller Messstationen, für die die gewählten Hintergrundmessstationen repräsentativ sind, um diesen Saharastaubeinfluss reduziert werden. Diese Bereinigung wurde in Tabelle 6 umgesetzt.

Tabelle 5: Partikel PM10-Mittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an den beiden ländlichen Hintergrundmessstationen Schwarzwald-Süd (SW-S) und Schwäbische Alb (S-ALB) vor, während und nach der Saharastaubepisode

Zeitraum	SW-S	S-ALB
19. März bis 2. April (vorher)	14	16
3. April bis 5. April (während)	29	39
6. April bis 20. April (nachher)	12	15
Saharastaubeinfluss	17	24

Tabelle 6: Partikel PM10-Tagesmittelwerte an den Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg unter Berücksichtigung des Saharastaubeinflusses (vgl. die nicht bereinigten Tagesmittelwerte in Tabelle 1, Seite 10)

Datum	Regierungsbezirk Stuttgart																				Regierungsbezirk Karlsruhe										Regierungsbezirk Freiburg							Regierungsbezirk Tübingen														
	Aalen	Bernhausen	Feilbach Burgstraße	Gärtingen	Heilbronn	Heilbronn Weinsberger Straße-Ost	Isfeld König-Wilhelm-Straße	Ingersheim Tiefengasse	Leonberg Grabenstraße	Ludwigsburg	Ludwigsburg Friedrichstraße	Markgröningen Grabenstraße	Pleidelshelm Behlinger Straße	Schwäbisch Hall	Stuttgart Am Neckartor	Stuttgart Arnulf-Klett-Platz	Stuttgart-Bad Cannstatt	Stuttgart Hohenheimer Straße	Stuttgart Waiblinger Straße	Tauberbischofsheim	Baden-Baden	Eggenstein	Heidelberg	Horb Neckarstraße	Karlsruhe-Nordwest	Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße	Mannheim-Nord	Mannheim Friedriehsing	Plinztal Karlsruher Straße	Pforzheim	Wiesloch	Freiburg	Freiburg Schwarzwaldstraße	Kehl	Konstanz	Neuenburg	Schramberg Oberdorfer Straße	Schwarzwald-Süd	Villingen-Schwenningen	Weil am Rhein	Biberach	Friedrichshafen	Reutlingen	Reutlingen Lederstraße-Ost	Schwäbische Alb	Tübingen	Tübingen Jesinger Hauptstraße	Tübingen Mühlerstraße	Ulm	Ulm Karlsruhe		
19.3.14	15	14	31	13	26	28	32	28	21	18	24	30	25	-	32	26	16	19	21	14	14	14	19	20	25	17	22	16	24	21	19	18	13	19	17	16	15	17	11	13	14	14	14	17	13	41	9	17	20	20	13	24
20.3.14	17	19	19	21	36	33	27	27	22	18	23	30	30	26	63	38	36	32	31	15	13	20	17	21	17	22	23	29	21	17	22	18	16	14	20	22	25	17	18	7	23	18	19	27	-	33	10	22	22	26	23	35
21.3.14	25	21	22	20	35	36	30	29	24	18	23	35	32	29	54	41	38	43	24	30	18	17	25	23	29	21	28	20	25	23	27	18	23	29	24	29	23	23	23	25	29	20	39	14	25	26	35	27	40			
22.3.14	14	13	13	8	9	16	14	16	12	9	12	16	13	12	23	24	13	15	17	8	6	8	8	12	8	13	6	12	9	7	10	9	12	8	16	11	13	7	9	13	14	16	11	22	8	11	18	17	15	23		
23.3.14	8	8	9	5	8	13	12	12	10	7	12	13	11	9	13	13	7	10	10	8	6	6	9	8	6	11	8	12	10	6	8	6	8	8	4	7	10	4	4	6	5	3	7	13	6	6	8	12	5	11		
24.3.14	17	-	15	9	21	24	24	22	18	12	19	28	18	14	33	19	13	17	20	12	11	10	15	18	12	15	14	21	15	13	15	8	13	11	8	8	17	4	8	8	10	9	10	29	5	8	17	19	13	25		
25.3.14	22	14	21	13	26	31	29	26	29	19	29	36	29	21	61	41	19	27	26	18	11	14	16	20	17	20	23	29	21	19	17	11	15	15	12	13	18	7	12	14	12	11	16	38	9	43	24	17	28			
26.3.14	21	28	26	26	29	33	35	31	38	24	36	46	36	26	56	33	24	33	30	16	16	22	18	27	22	24	21	28	27	26	17	17	23	26	27	23	27	13	21	23	29	28	27	47	20	23	28	32	26	32		
27.3.14	19	25	23	17	23	59	33	23	33	18	31	42	32	24	56	34	25	33	30	20	15	19	14	26	18	23	12	25	25	21	15	30	35	28	33	37	31	29	21	35	26	36	27	46	16	23	30	34	20	28		
28.3.14	24	27	28	18	28	32	32	31	32	32	37	41	33	28	63	37	28	33	35	25	19	22	18	24	21	26	21	31	26	24	21	20	26	30	30	24	32	23	19	18	20	25	27	35	43	19	22	35	27	37		
29.3.14	23	29	28	20	34	31	29	31	25	34	40	32	29	29	57	36	26	35	33	27	17	23	21	23	23	27	22	32	26	27	23	18	23	28	24	28	21	10	14	20	25	28	28	39	19	23	28	-	30	35		
30.3.14	29	27	28	20	29	34	30	30	32	29	33	39	32	32	47	36	31	41	34	26	18	28	30	28	31	33	42	27	25	24	16	17	31	26	25	17	12	13	20	20	25	26	35	19	21	27	-	28	35			
31.3.14	37	38	37	28	46	55	42	41	46	33	44	63	45	39	72	48	39	46	43	30	24	34	32	30	33	38	-	57	32	30	27	21	26	34	27	26	26	19	27	21	27	30	30	49	22	29	34	-	31	40		
1.4.14	39	42	39	32	47	61	47	41	52	39	49	64	47	38	74	51	40	53	50	34	26	33	34	36	34	36	-	77	34	31	31	26	28	35	35	23	29	17	33	32	34	33	42	64	40	37	42	50	42	51		
2.4.14	45	36	38	26	51	62	44	39	44	37	46	56	49	39	72	-	43	49	49	37	25	35	34	30	33	40	31	70	37	29	30	29	32	34	34	32	28	24	33	28	30	33	33	54	26	35	43	43	36	52		
3.4.14	19	20	21	14	29	39	28	19	29	16	29	40	35	25	59	31	22	31	28	12	20	21	19	26	19	23	23	34	25	23	17	20	25	26	24	22	22	14	25	14	10	13	14	39	18	19	18	29	19	32		
4.4.14	12	21	21	16	14	29	29	19	34	15	26	44	31	17	48	33	16	28	25	9	22	26	19	24	25	30	18	26	29	25	16	23	28	33	23	21	24	16	27	16	14	14	19	38	13	22	21	31	26	43		
5.4.14	30	27	31	15	30	36	28	31	34	29	35	42	29	29	39	38	28	32	34	30	37	39	35	19	36	44	28	40	38	31	33	22	26	29	24	26	26	7	21	19	21	17	20	36	15	16	19	25	27	34		
6.4.14	44	34	34	25	38	41	36	35	32	30	32	38	34	43	43	39	32	35	35	25	31	34	32	28	35	27	37	30	24	31	26	29	29	33	28	29	22	23	25	34	35	33	40	32	31	29	35	48	50			
7.4.14	20	22	26	18	30	40	26	26	29	21	25	37	26	22	56	33	24	30	32	16	16	18	18	23	18	26	23	26	23	18	20	17	23	23	24	21	24	12	22	16	22	28	21	37	16	25	23	29	28	36		
8.4.14	12	13	13	10	16	22	23	15	16	11	18	22	14	13	26	28	12	17	16	9	10	11	14	17	11	14	10	18	14	9	10	8	13	12	12	9	16	7	8	9	11	13	12	29	8	15	11	16	13	24		
9.4.14	13	13	14	10	36	25	23	18	22	13	21	27	15	15	26	28	13	18	14	11	13	13	15	15	12	17	13	17	17	11	12	10	15	13	11	13	15	8	9	13	10	11	12	27	9	12	17	19	12	20		
10.4.14	19	21	23	19	62	37	35	25	30	20	30	40	26	23	52	29	18	27	24	21	15	18	24	23	18	21	21	21	19	21	13	18	20	16	17	19	9	18	12	20	18	21	38	17	22	24	27	16	29			
11.4.14	22	18	19	17	43	30	25	20	25	16	26	33	23	18	51	28	20	24	17	16	15	14	20	15	17	13	25	23	16	15	13	20	21	16	20	19	9	14	15	20	17	21	32	17	19	20	24	23	30			
12.4.14	18	25	26	20	25	31	26	25	33	26	26	36	24	18	39	33	25	32	30	18	19	25	27	25	26	29	31	41	29	23	23	20	26	25	32	26	22	18	18	22	25	35	25	37	23	25	23	26	22	32		
13.4.14	22	26	26	23	28	30	27	30	27	30	25	27	34	24	26	28	29	19	27	20	20	16	25	24	16	23	22	28	21	24	23	18	22	21	25	23	19	17	20	17	24	27	26	34	26	25	27	28	35			
14.4.14	13	17	18	13	30	27	24	21	24	17	26	38	19	15	28	30	15	21	23	12	15	20	20	18	15	19	14	23	19	21	15	15	21	17	16	18	19	12	18	16	14	16	15	36	11	18	19	21	15	34		
15.4.14	10	12	25	11	29	21	23	16	25	13	25	25	17	11	23	23	13	20	15	10	11	19	14	16	12	17	13	18	15	12	13	12	17	13	11	14	-	10	9	13	11	12	13	25	9	13	17	19	11	21		
16.4.14	13	15	18	13	21	23	22	18	21	14	24	35	21	13	39	22	14	22	20	10	11	12	12	12	16	12	16	13	18	17	14	14	13	11	17	19	13	15	-	8	15	12	-	12	15	31	10	14	17	20	16	28
17.4.14	14	22	-	13	42	31	26	21	23	13	22	30	25	16	41	25	17	20	24	13	11	18	11	18	16	20	14	22	22	17	12	14	20	18	13	17	17	10	12	17	-	15	15	32	10	17	20	22	15	26		
18.4.14	11	10	-	10	13	15	14	14	14	10	14	18	13	11	22	18	10	13	18	11	9	13	9	13	11	13	11	15	13	10	9	10	10	12	13	11	12	14	8	10	12	9	10	11	17	7	11	16	15	11	16	
19.4.14	19	22	-	19	20	22	23	24	25	19	26	32	22	21	34	23	16	26	22	20	14	15	16	20	16	17	16	18	18	19	18	14	18	21	10	19	23	8	17	15	19	9	24	32	16	18	24	25	21	28		

3 Zweite Saharastaubepisode (Mai 2014)

In diesem Kapitel wird die zweite Saharastaubepisode untersucht. Die Darstellung erfolgt analog der Untersuchung der ersten Episode.

3.1 Vorhersagen

Berechnungen des Modells DREAM haben für den 22. Mai 2014 eine weitere Saharastaubwolke über Baden-Württemberg vorhergesagt [BSC, 2014]. Die Abbildung 9 zeigt die von DREAM modellierte Saharastaubdeposition sowie die bodennahen Staubkonzentrationen jeweils für den 22. Mai. Für Baden-Württemberg wurden Staubkonzentrationen von über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet.

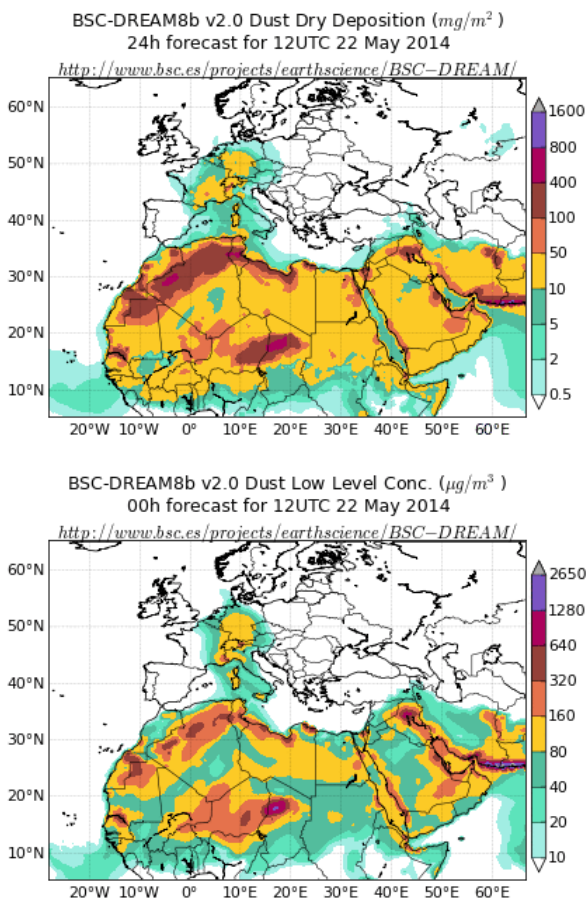


Abbildung 9: Vorhersage der trockenen Deposition (oben) und der bodennahen Staubkonzentration (unten) durch das Modell DREAM am 22. Mai 2014

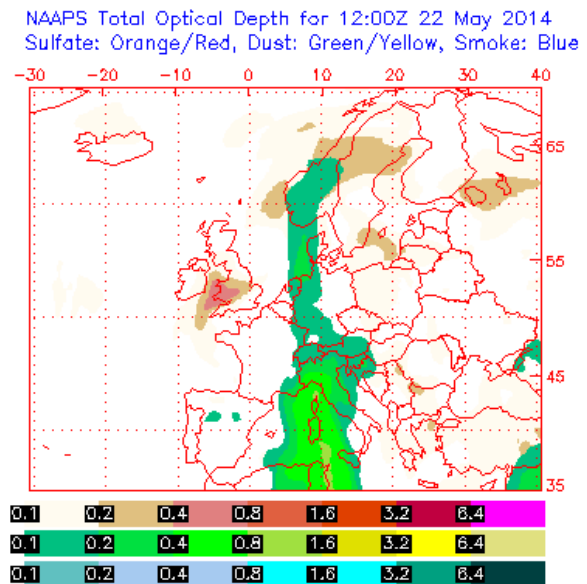


Abbildung 10: Vorhersage der optischen Dicke der Aerosolschicht über Europa durch das System NAAPS am 22. Mai 2014

Auch das Modell NAAPS hat für den 22. Mai den Transport von Mineralstaub nach Baden-Württemberg prognostiziert (vgl. Abbildung 10) [NAAPS, 2014].

3.2 Meteorologie

Im fraglichen Zeitraum wurde das Wetter von einem Hochdruckgebiet in Osteuropa (Hoch „This“) mit dem Zentrum über Russland und einem Tiefdruckgebiet über West- und Südwesteuropa (Tief „Zeynep“) mit Zentrum über der Biskaya bestimmt. Durch diese Konstellation ergab sich eine starke südliche Höhenströmung, die warme Luft aus Nordafrika über den Mittelmeerraum bis nach Deutschland und Baden-Württemberg transportierte. Mit diesen Luftmassen konnte durch kräftige Winde aufgewirbelter Saharastaub von Algerien bis nach Deutschland vordringen.

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1200 UTC 22 May 14
GDAS Meteorological Data

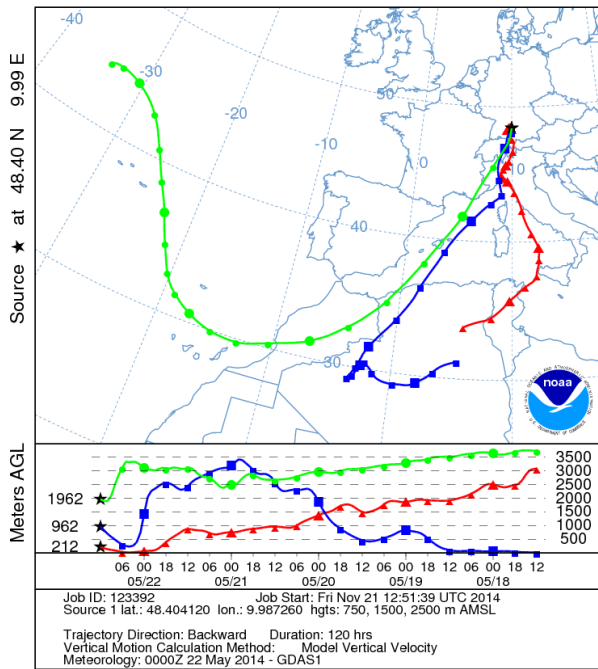


Abbildung 11: 120-Stunden-Rückwärtstrajektorie für die Spotmessstelle Ulm Karlstraße, berechnet mit dem Modell HYSPLIT

Die Abbildung 11 zeigt die mit dem Modell HYSPLIT berechneten 120-Stunden-Rückwärtstrajektorie vom 22. Mai 2014 an der Spotmessstelle Ulm Karlstraße. Es ist deutlich erkennbar, dass die Luftmasse zu diesem Zeitpunkt aus Nordafrika stammt und dort Bodenkontakt hatte.

3.3 Partikel-Messungen

3.3.1 Partikel PM10-Konzentrationen

In der Tabelle 8 sind die Partikel PM10-Konzentrationen an den Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg vom 7. Mai bis zum 6. Juni 2014 zusammengestellt. Am 22. Mai kam es an vier Messstandorten zu Überschreitungen des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es fällt auf, dass nur Standorte im Südosten Baden-Württembergs von Grenzwertüberschreitungen betroffen waren. Außerdem zeigt sich, dass Grenzwertüberschreitungen nur am 22. Mai auftraten.

Tabelle 7: Verhältnis Partikel PM_{2,5} zu Partikel PM₁₀ in Prozent an den Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg

Datum	RB Stuttgart			RB Karlsruhe				RB Freiburg				RB Tübingen									
	Heilbronn	Heilbronn Weinberger Straße-Ost	Stuttgart Am Neckartor	Stuttgart Arnulf-Kleist-Platz	Stuttgart-Bad Cannstatt	Pfinztal Karlshöhe Straße	Karlsruhe Nordwest	Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße	Mannheim-Nord	Mannheim Friedriehring	Florenheim	Freiburg	Freiburg Schwarzwaldstraße	Schwarzwald-Süd	Keihs	Schramberg Oberender Straße	Weil am Rhein	Schwäbische Alb	Küdingen Lederstraße-Ost	Tübingen	Ulm
7.5.14	44	62	87	47	56	70	54	60	65	71	65	75	59	44	68	69	65	70	58	55	69
8.5.14	46	48	71	45	56	62	51	51	71	77	79	55	63	60	60	67	62	53	63	58	78
9.5.14	45	51	71	43	60	56	46	50	62	57	67	63	70	40	71	57	68	54	48	56	65
10.5.14	53	50	59	49	66	64	72	53	57	51	67	75	75	61	55	65	66	61	51	58	65
11.5.14	53	50	77	79	56	47	34	49	36	48	77	48	66	50	46	74	51	53	93	56	77
12.5.14	41	45	40	45	46	54	51	48	53	44	59	52	60	36	64	61	58	46	37	46	58
13.5.14	46	52	39	39	54	61	59	61	55	53	75	66	75	58	65	60	59	35	52	60	
14.5.14	47	53	39	49	70	59	58	52	91	50	82	69	78	69	63	70	72	58	53	56	77
15.5.14	48	47	39	45	68	53	53	48	59	47	59	58	69	59	59	62	69	63	47	61	68
16.5.14	49	57	49	51	73	70	80	68	71	64	63	71	74	77	52	64	77	72	56	65	68
17.5.14	59	54	51	52	78	63	67	61	87	59	82	68	74	62	61	66	74	72	60	62	68
18.5.14	65	59	54	61	78	70	77	67	77	57	68	74	76	70	83	70	82	71	62	71	64
19.5.14	53	53	47	46	67	65	70	68	70	56	64	75	65	65	60	66	63	69	63	74	63
20.5.14	50	49	52	46	65	61	61	63	77	56	59	65	58	58	59	60	64	67	59	63	
21.5.14	55	51	55	53	65	61	66	61	64	57	58	61	55	50	65	59	60	56	64	57	58
22.5.14	36	40	52	41	47	50	47	40	55	45	39	44	45	35	45	47	45	32	90	42	40
23.5.14	51	49	47	50	69	62	72	57	71	50	63	58	64	50	53	62	65	72	63	61	69
24.5.14	61	56	53	57	90	68	73	58	71	55	61	59	66	59	85	60	67	71	65	62	77
25.5.14	63	62	66	61	81	79	85	69	77	66	68	68	69	79	64	68	72	81	70	70	76
26.5.14	58	47	53	56	89	70	73	63	84	58	77	67	65	73	64	62	57	76	54	69	88
27.5.14	60	59	59	46	85	68	71	60	68	62	70	59	63	70	85	67	70	82	54	71	72
28.5.14	51	55	51	46	81	77	77	62	71	58	69	65	60	51	58	67	66	75	67	60	70
29.5.14	62	62	64	65	88	68	71	60	84	60	71	57	70	65	61	69	72	62	90	66	83
30.5.14	52	45	38	64	85	57	70	51	74	61	62	64	62	69	70	69	75	72	61	67	80
31.5.14	65	59	52	62	76	73	86	67	74	65	71	80	77	67	65	76	74	69	71	69	82
1.6.14	67	62	58	67	74	76	80	65	88	61	81	74	74	70	71	72	81	69	74	74	79
2.6.14	59	53	45	59	68	68	72	65	72	56	68	71	66	73	80	77	76	74	65	75	74
3.6.14	57	60	52	54	80	73	86	72	72	72	64	81	69	93	66	69	76	79	66	71	73
4.6.14	58	58	50	61	88	67	72	58	92	55	74	75	64	73	70	67	81	72	67	68	88
5.6.14	45	45	38	40	57	60	59	44	64	50	75	53	59	60	55	61	62	64	54	64	64
6.6.14	54	52	45	48	63	74	76	58	71	54	60	70	65	75	61	63	72	63	65	61	58

3.3.2 Partikelgrößenverteilung

Die Tabelle 7 zeigt das Verhältnis Partikel PM_{2,5} zu Partikel PM₁₀ für alle Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg. Im von Partikel PM₁₀-Grenzwertüberschreitungen betroffenen Osten des Landesgebietes ist das Verhältnis Partikel PM_{2,5} zu Partikel PM₁₀ am 22. Mai deutlich geringer als an den übrigen Tagen. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf den Eintrag von Grobstaub. Auch an einigen anderen Standorten in Baden-Württemberg sind am 22. Mai erhöhte Grobstaubanteile zu verzeichnen.

3.3.3 Partikelinhaltsstoffe

Aufgrund der engen geographischen und zeitlichen Ausdehnung dieser Saharastaubepisode standen für die Untersuchung der chemischen Zusammensetzung der Partikel nur Proben der Spotmessstelle Ulm Karlstraße zur Verfügung. Diese wurden durch die LUBW auf ihre Inhaltsstoffe hin untersucht. Die Abbildung 12 zeigt den Verlauf der Elementkonzentrationen an dieser

Tabelle 8: Partikel PM10-Tagesmittelwerte an den Luftmessstationen und Spotmessstellen in Baden-Württemberg

Datum	Regierungsbezirk Stuttgart																		Regierungsbezirk Karlsruhe										Regierungsbezirk Freiburg						Regierungsbezirk Tübingen																	
	Aalen	Bernhausen	Fellbach Burgstraße	Gartingen	Heilbronn	Heilbronn Weinsberger Straße-Ost	Ilsfeld König-Wilhelm-Straße	Ingersheim Tiefengasse	Leonberg Grabenstraße	Ludwigsburg	Ludwigsburg Friedrichstraße	Markgröningen Grabenstraße	Pleidesheim Behlinger Straße	Schwäbisch Hall	Stuttgart Am Neckartor	Stuttgart Arnulf-Klett-Platz	Stuttgart-Bad Cannstatt	Stuttgart Hohenheimer Straße	Stuttgart Walblinger Straße	Tauberbischofsheim	Baden-Baden	Eggenstein	Heidelberg	Horb Neckarstraße	Karlsruhe-Nordwest	Karlsruhe Reinhold-Frank-Straße	Mannheim-Nord	Mannheim Friedrichsring	Pfinztal Karlsruhe Straße	Plözheim	Wiesloch	Freiburg	Freiburg Schwarzwaldstraße	Kehl	Konstanz*	Neuenburg	Schramberg Oberndorfer Straße	Schwarzwald-Süd	Villingen-Schwenningen	Weil am Rhein	Biberach	Friedrichshafen	Reutlingen*	Reutlingen Lederstraße-Ost	Schwäbische Alb	Tübingen	Tübingen-Jesinger Hauptstraße	Tübingen Mühlstraße	Ulm	Ulm Karlstraße		
7.5.14	8	8	9	7	13	16	18	12	14	8	14	18	10	8	26	20	9	13	14	8	7	7	12	12	8	11	8	14	11	6	8	5	13	8	6	13	3	6	7	6	8	7	25	5	6	11	9	8	16			
8.5.14	7	7	9	6	11	17	18	12	13	6	11	15	12	9	25	21	8	12	15	8	7	8	11	11	8	11	9	10	9	14	10	6	7	5	12	6	7	6	13	3	4	5	6	7	6	25	4	5	8	7	7	12
9.5.14	6	6	8	5	11	15	16	12	13	6	12	14	15	7	27	22	8	13	13	7	9	8	11	13	9	10	9	14	10	6	7	5	12	6	7	6	13	3	4	5	6	7	6	25	4	5	8	7	7	12		
10.5.14	8	9	11	8	12	19	14	15	14	11	14	18	14	11	27	22	11	17	19	11	9	10	12	11	8	13	12	15	11	9	11	7	13	10	8	9	12	6	9	7	7	9	8	27	7	9	11	11	8	15		
11.5.14	5	6	6	6	6	10	7	8	7	5	7	9	8	5	18	17	7	8	11	7	6	7	8	7	7	8	7	11	7	4	7	6	8	7	6	6	7	4	6	7	5	6	6	12	4	5	7	6	5	13		
12.5.14	5	4	6	3	10	12	13	9	10	4	9	13	14	-	23	17	5	9	10	6	4	5	9	9	5	8	7	12	7	5	6	5	11	5	5	7	8	4	6	4	5	4	23	3	3	6	7	5	-			
13.5.14	4	6	10	4	12	15	18	12	13	5	12	15	13	7	27	22	7	11	10	7	8	7	9	15	7	10	8	11	9	5	7	4	12	8	4	6	9	2	3	4	5	4	5	26	3	4	9	8	5	13		
14.5.14	10	11	13	10	14	17	21	15	24	11	18	20	25	12	27	21	10	22	11	10	14	12	11	10	16	9	17	13	8	11	9	16	12	6	11	11	5	7	9	8	8	10	23	9	11	13	12	9	15			
15.5.14	11	12	13	11	13	15	16	13	22	11	18	20	22	10	24	19	9	25	10	10	14	12	11	15	12	16	11	16	13	9	11	11	13	17	15	10	13	15	9	10	11	10	9	13	27	10	11	12	14	11	15	
16.5.14	8	9	11	11	13	16	11	18	9	16	19	18	9	25	14	9	20	9	13	11	10	12	13	13	9	12	11	11	9	9	15	17	9	10	13	5	10	7	8	7	9	10	9	13	27	7	10	13	9	11		
17.5.14	11	13	13	13	17	12	13	19	12	16	18	14	15	24	18	10	19	13	11	10	13	12	12	13	16	11	16	13	9	11	11	14	15	10	12	12	8	11	15	9	9	13	22	10	12	15	16	10	16			
18.5.14	12	13	14	10	14	17	13	14	16	13	16	17	15	13	23	17	13	19	14	18	11	13	13	13	16	13	18	13	12	11	12	15	13	11	15	12	9	10	11	10	10	12	20	13	13	15	12	14				
19.5.14	12	15	17	12	21	28	23	17	28	15	20	26	49	18	38	23	16	29	33	24	15	17	16	15	16	15	18	18	27	15	14	14	13	20	19	13	15	16	10	13	12	13	15	16	30	12	18	16	24	18	23	
20.5.14	15	17	17	12	24	29	24	19	22	16	21	24	20	14	42	29	19	33	24	14	17	19	16	17	18	23	19	28	19	15	15	13	20	22	12	14	16	10	16	13	15	13	17	35	11	14	19	19	16	25		
21.5.14	16	19	21	15	22	28	26	21	25	19	24	27	23	17	43	28	21	42	29	15	16	19	17	20	19	24	21	30	19	18	17	18	24	22	17	20	17	14	17	15	20	19	19	35	15	18	18	24	22	28		
22.5.14	33	23	23	20	27	31	29	22	29	19	27	26	23	25	45	30	21	32	23	24	14	20	22	23	14	18	20	27	17	16	17	16	24	15	41	14	22	16	19	15	57	63	24	40	31	23	22	26	51	57		
23.5.14	8	8	11	6	11	16	15	14	15	16	20	9	32	15	8	16	13	8	6	8	9	10	7	11	9	14	11	9	7	7	14	9	6	6	11	4	6	7	7	7	9	22	6	7	9	11	9	17				
24.5.14	10	8	9	6	10	14	11	11	14	8	11	13	13	9	20	14	7	14	8	6	5	6	7	11	7	11	7	13	9	7	6	5	10	5	8	5	9	4	5	10	8	8	19	7	8	8	10	9	10			
25.5.14	8	10	12	8	11	12	9	10	12	11	12	14	10	8	19	13	11	15	11	8	7	8	9	12	8	10	10	16	9	9	7	8	12	11	12	10	5	8	8	11	12	11	16	7	10	9	12	10	10			
26.5.14	15	14	18	10	18	30	23	18	21	13	18	24	34	15	34	23	13	24	16	12	12	13	14	10	13	17	11	20	15	11	15	9	18	13	10	8	15	8	10	8	11	12	12	26	7	11	13	13	11	18		
27.5.14	14	12	13	9	18	23	27	17	19	12	17	19	14	16	25	27	10	17	13	11	10	11	16	15	10	15	14	19	13	10	13	10	18	9	10	9	15	7	8	9	12	9	10	25	9	10	11	12	11	18		
28.5.14	8	9	10	7	14	19	21	15	19	11	16	19	14	14	25	20	10	17	13	10	9	9	15	-	8	13	12	18	11	9	11	8	17	13	8	10	12	6	8	8	9	8	10	25	7	9	11	14	11	16		
29.5.14	11	10	14	8	13	14	13	15	15	11	13	15	14	12	17	14	12	15	15	11	9	13	12	-	10	13	11	18	11	8	12	9	12	13	8	9	11	8	7	10	11	9	11	16	8	10	11	12	11	12		
30.5.14	9	9	12	8	11	15	12	10	12	8	21	15	12	11	25	11	8	15	12	8	8	6	-	8	10	8	10	10	10	7	10	15	11	10	13	12	9	10	12	9	10	12	9	10	21	8	9	11	11	9	14	
31.5.14	9	15	16	12	14	16	14	17	14	21	19	15	13	26	18	13	20	17	9	10	11	13	-	10	12	12	15	11	12	9	8	14	14	14	13	11	13	7	10	10	11	12	17	21	11	12	15	12	16			
1.6.14	11	15	16	11	16	19	16	16	15	18	18	16	13	24	18	15	19	18	13	12	15	14	-	14	18	14	21	14	12	12	11	15	16	12	13	13	11	11	12	11	12	14	19	10	14	14	16	12	16			
2.6.14	14	17	20	13	18	26	24	20	23	17	27	25	23	17	38	24	18	25	20	14	18	17	-	17	19	18	24	17	14	17	14	22	16	12	17	21	15	14	16	12	12	15	27	11	14	18	19	14	23			
3.6.14	13	19	19	13	27	28	26	22	24	18	24	27	20	19	34	25	16	22	19	14	16	17	-	16	20	21	18	19	17	15	22	22	15	17	18	12	15	14	13	12	15	30	12	15	18	18	17	25				
4.6.14	13	14	17	-	18	24	22	18	19	15	16	23	17	15	34	24	14	19	25	14	13	16	17	-	16	21	16	25	16	12	14	12	20	18	12	14	16	10	12	11	11	13	27	9	13	16	15	12	22			
5.6.14	8	10	12	6	12	17	18	12	17	8	14	18	13	8	26	20	9	18	14	7	8	9	12	-	8	14	9	14	12	12	8	8	14	9	8	8	13	6	7	9	7	8	7	21	6	9	11	12	9	16		
6.6.14	11	15	16	11	17	22	18	16	21	13	20	-	16	12	34	22	13	26	21	10	12	12	17	-	11	16	15	22	14	15	11	12	19	17	14	14	15	8	13	12	12	18	13	27	9	13	16	18	17	22		

kein Wert ≤ 10 µg/m³ 11 - 20 µg/m³ 21 - 35 µg/m³ 36 - 50 µg/m³ 51 - 100 µg/m³ > 100 µg/m³ *durch Dritte finanziert



Messstelle. Die Konzentrationen der geogenen Elemente sind am 22. Mai erhöht, ihr Anteil an der Partikel PM10-Konzentration liegt jedoch im Bereich der nicht von Saharastaub beeinflussten Tage. Dies liegt nach Auffassung der LUBW am verkehrsnahen Standort der Spotmessstelle Ulm Karlstraße. An verkehrsnahen Standorten werden aufgrund von Aufwirbelungsprozessen durch die vorbeifahrenden Kraftfahrzeuge allgemein höhere Grobstaubanteile gemessen. Die Inhaltsstoffanalysen lassen deshalb keine Aussage über das Vorhandensein von Saharastaub zu.

3.4 Auswirkungen auf die Partikel PM10-Immissionen in Baden-Württemberg

3.4.1 Festlegungen

Aufgrund der Modellvorhersagen, der Untersuchung der Partikel PM10-Konzentrationen und der Größenverteilungen wurde die zu bewertende Saharastaubepisode in Baden-Württemberg auf den 22. Mai festgelegt. Außerdem wurde die ländliche Hintergrundmessstation Schwäbische Alb als für den betroffenen Bereich repräsentative Hintergrundmessstation gewählt. Der betroffene Bereich umfasst den östlichen Teil des Regierungsbezirks Tübingen mit den Messstationen Biberach, Friedrichshafen, Schwäbische Alb und Ulm sowie der Spotmessstelle Ulm Karlstraße.

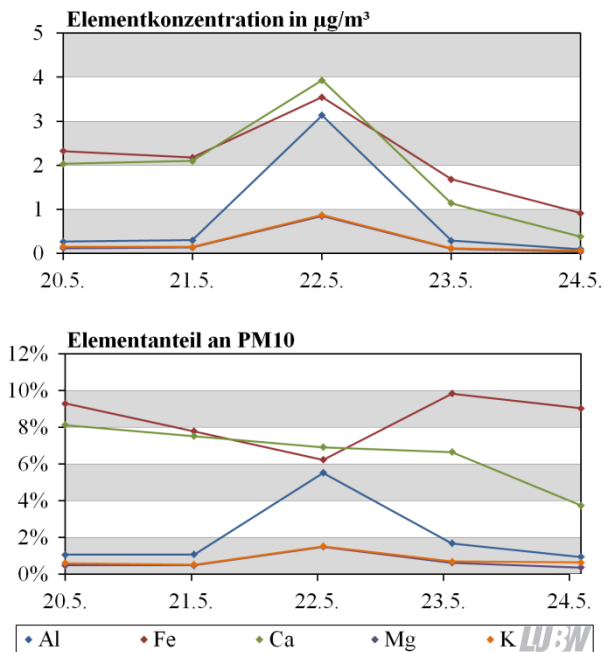


Abbildung 12: Verlauf der Elementkonzentrationen (oben) und Anteile der diskutierten Elemente an der Partikelfraktion PM10 (unten) an der Spotmessstelle Ulm Karlstraße im Mai 2014

3.4.2 Auswertung

Für die Hintergrundmessstation wurde ein Mittelwert aus den gemessenen Partikel PM10-Konzentrationen 15 Tage vor der Saharastaubepisode (7. Mai bis 21. Mai), während der Saharastaubepisode (22. Mai) und 15 Tage nach der Saharastaubepisode (23. Mai bis 6. Juni) berechnet. Während der 30 nicht von Saharastaub beeinflussten Tagen lagen die PM10-Konzentrationen im Mittel bei $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vgl. Tabelle 9). Während der Saharastaubepisode erhöhten sich die Partikel PM10-Konzentrationen an der Hintergrundmessstation Schwäbische Alb um $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gemäß EU-Leitlinienentwurf können die gemessenen Partikel PM10-Konzentrationen aller Messstationen, für die die gewählte Hintergrundmessstation repräsentativ ist, um diesen Saharastaubeinfluss reduziert werden. Diese Bereinigung wurde in Tabelle 10 umgesetzt.

Die Auswertungen zeigen, dass der Partikel PM10-Immissionsgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tagesmittelwert) nach der Bereinigung um den Saharastaubeinfluss an allen Luftmessstationen und Spotmessstellen eingehalten wird.

Tabelle 9: Partikel PM10-Mittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an der ländlichen Hintergrundmessstation Schwäbische Alb (S-ALB) vor, während und nach der Saharastaubepisode

Zeitraum	S-ALB
7. Mai bis 21. Mai (vorher)	8
22. Mai (während)	31
23. Mai bis 6. Juni (nachher)	8
Saharastaubeinfluss	23

Tabelle 10: Partikel PM10-Tagesmittelwerte an den Luftmessstationen und Spotmessstellen im Regierungsbezirk Tübingen unter Berücksichtigung des Saharastaubeinflusses (vgl. die nicht bereinigten Tagesmittelwerte in Tabelle 8)

Regierungsbezirk Tübingen										
Datum	Biberach	Friedrichshafen	Reutlingen**	Reutlingen Lederstraße-Ost**	Schwäbische Alb	Tübingen**	Tübingen Jesinger Hauptstraße**	Tübingen Mühlstraße**	Ulm	Ulm Karlstraße
7.5.14	6	8	7	25	5	6	11	9	8	16
8.5.14	7	7	9	29	5	6	9	9	7	16
9.5.14	6	7	6	25	4	5	8	7	7	12
10.5.14	7	9	8	27	7	9	11	11	8	15
11.5.14	5	6	6	12	4	5	7	6	5	13
12.5.14	4	5	4	23	3	3	6	7	5	-
13.5.14	5	4	5	26	3	4	9	8	5	13
14.5.14	8	8	10	23	9	11	13	12	9	15
15.5.14	10	9	13	27	10	11	12	14	11	15
16.5.14	9	8	12	23	7	10	10	13	9	11
17.5.14	9	9	13	22	10	12	15	16	10	16
18.5.14	10	10	12	20	10	13	13	15	12	14
19.5.14	13	15	16	30	12	18	16	24	18	23
20.5.14	15	13	17	35	11	14	19	19	16	25
21.5.14	20	19	19	35	15	18	18	24	22	28
22.5.14	34	40	24	40	8	23	22	26	28	34
23.5.14	7	7	9	22	6	7	9	11	9	17
24.5.14	10	8	8	19	7	8	8	10	9	10
25.5.14	11	12	11	16	7	10	9	12	10	10
26.5.14	11	12	12	26	7	11	13	13	11	18
27.5.14	12	9	10	25	9	10	11	12	11	18
28.5.14	9	8	10	25	7	9	11	14	11	16
29.5.14	11	9	11	16	8	10	11	12	11	12
30.5.14	9	10	10	21	8	9	11	11	9	14
31.5.14	11	12	17	21	11	12	15	15	12	16
1.6.14	11	12	14	19	10	14	14	16	12	16
2.6.14	12	12	15	27	11	14	18	19	14	23
3.6.14	13	12	15	30	12	15	18	18	17	25
4.6.14	11	11	13	27	9	13	16	15	12	22
5.6.14	7	8	7	21	6	9	11	12	9	16
6.6.14	12	18	13	27	9	13	16	18	17	22

kein Wert
 $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 $11 - 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 $21 - 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 $36 - 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 $51 - 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 $> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$



* durch Dritte finanziert
 ** keine Korrektur

5 Anhang

5.1 Glossar

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: Mikrogramm pro Kubikmeter

Aerodynamischer Durchmesser:

Der aerodynamische Durchmesser ist eine abstrakte Größe zur Beschreibung des Verhaltens eines gasgetragenen Partikels. Der aerodynamische Durchmesser eines Partikels entspricht dem Durchmesser einer Kugel mit der Dichte $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, welche die gleiche Sinkgeschwindigkeit in der Luft wie der Partikel hat.

Aliquot: Teilportion einer Probe

ICP-MS:

Induktiv gekoppeltes Plasma, gekoppelt mit Massenspektrometrie

ICP-OES:

Induktiv gekoppeltes Plasma, gekoppelt mit optischer Emissionsspektrometrie

PM10:

Partikel, die einen gröbenselektierenden Luft-einlass, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $10 \mu\text{m}$ einen Abscheidegrad von 50% aufweist, passieren

MESZ: Mitteleuropäische Sommerzeit

PM2,5:

Partikel, die einen gröbenselektierenden Luft-einlass, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $2,5 \mu\text{m}$ einen Abscheidegrad von 50% aufweist, passieren

Trajektorie:

Bewegungspfad eines Objekts im betrachteten Zeitraum

Elementsymbole und chemische Formeln:

Al: Aluminium

Al_2O_3 : Aluminiumoxid

Ca: Calcium

C: Kohlenstoff

CO_3^{2-} : Carbonat

Fe: Eisen

Fe_2O_3 : Eisenoxid

K: Kalium

Mg: Magnesium

O: Sauerstoff

Si: Silicium

SiO_2 : Siliciumdioxid (Quarz)

5.2 Literatur

[39. BImSchV]:

Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen) vom 2. August 2010, in Kraft getreten am 6. August 2010.

[BSC, 2014]:

www.bsc.es/projects/earthscience/dream, zuletzt abgerufen am 26.11.2014.

[EU-Arbeitspapier, 2011]:

Commission staff working paper establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe, Brüssel, 15.02.2011.

[EU, 2008]:

Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa.

[MeteoGroup, 2014]:

www.wetter24.de, zuletzt abgerufen am 26.11.2014.

[NAAPs, 2014]:

www.nrlmry.navy.mil/aerosol, zuletzt abgerufen am 26.11.2014.

[NOAA, 2014]:

www.arl.noaa.gov/hysplit_info.php, zuletzt abgerufen am 26.11.2014.

[Pio et al., 2008]:

C. A. Pio, M. Legrand, C. A. Alves, T. Oliveira, J. Afonso, A. Caseiro, H. Puxbaum, A. Sanchez-Ochoa, A. Gelencsér, 2008: *Chemical composition of atmospheric aerosols during the 2003 summer intense forest fire period*, Atmospheric Environment 42, 7530-7543.

[VDI 2267 Blatt 1]:

Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Messen der Elementkonzentration nach Filterprobenahme - Bestimmung von Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V und Zn mithilfe von Grafitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie (GF-AAS), optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) und der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS), Oktober 2012.

[VDI 2267 Blatt 3 (E)]:

Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Aufschlussvarianten für Staubproben zur anschließenden Bestimmung der Massenkonzentration von Al, Sb, As, Pb, Cd, Ca, Cr, Co, Fe, K, Cu, Mg, Mn, Na, Ni, Se, V und Zn, Entwurf, 2013.

