

Ergebnisse der Partikelmessungen

im Willigis-Gymnasium, Mainz
vom 27.01.2021



Firmen und Personen

- Willigis Gymnasium
 - Roman Riedel, Schulleiter
 - Thomas Schneider, Co-Rektor
- DEMA-airtech
 - Matthias Baun
 - Miralda Salaji
- SGS
 - Wolfgang Schreier
- Hochschule Aalen
 - Tanja Klar
 - Professor Andreas Heinrich, Leiter Forschung optische Messtechnik
- Ostalbklinikum Aalen
 - Professor Michael Oberst, Chefarzt Unfallchirurgie

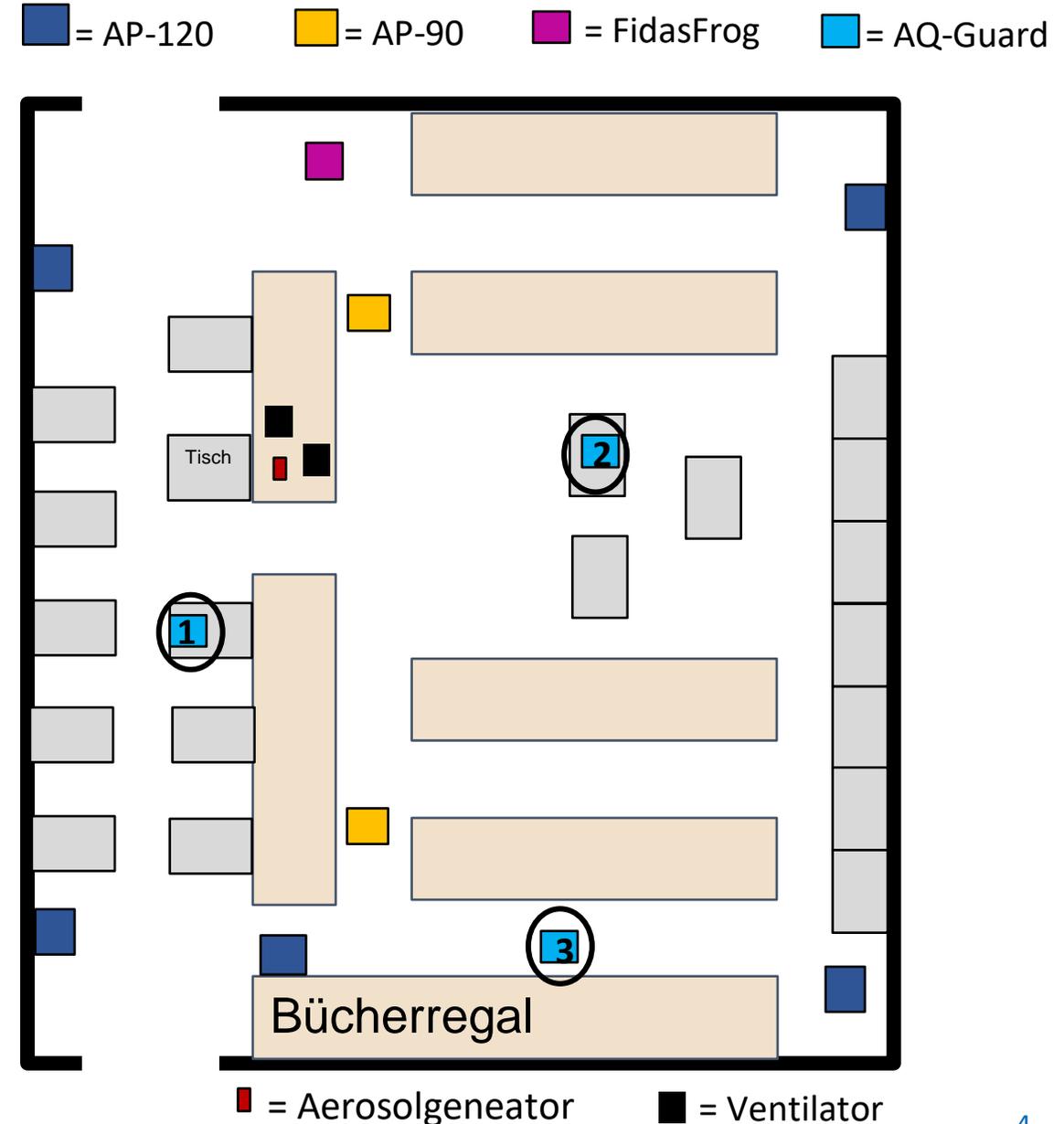


Agenda

- Lernzentrum
 - Messpunkt 1
 - Messpunkt 2
 - Messpunkt 3
 - Diskussion Messverlauf
- Klassenzimmer, Raum 318
 - Raumluftreiniger mit 100% Leistung
 - Einfluss Lüftung
 - Raumluftreiniger mit 50% Leistung
 - Diskussion Messverlauf
- Lehrerzimmer
 - Messpunkt 1
 - Messpunkt 2
 - Diskussion Messverlauf

Lernzentrum

- 1.379 m³ Raumvolumen
- Verwendet wurden:
 - 7 Raumlufreiniger:
 - 5x AP-120, 1200 m³/h CADR
 - 2x AP-90, 720 m³/h CADR
 - 7440 m³/h CADR insgesamt, dies entspricht einem 5,3-fachen Raumlftwechsel pro Stunde
 - 4 Partikelzähler
 - 1x FidasFrog
 - 3x AQ-Guard
 - 1 Aerosolgenerator
 - 1x Palas, PAG1000
 - 2 Ventilatoren
- Aerosole wurden künstlich erzeugt
- Gemessen wurde der zeitliche Einfluss der Raumlufreiniger (RLR) auf den Aerosolgehalt in der Raumlft bei verschiedenen Szenarien



Lernzentrum

Messablauf

- 10:20 Uhr - 11:05 Uhr: Nullmessung (Grundlast im Raum)
- 11:06 Uhr – 11:32 Uhr: Abgabe von Partikeln durch Dosierung mit Aerosolgenerator und Verteilung der Partikel im Raum durch Ventilatoren
- 11:33 Uhr – 12:32 Betrieb aller Raumluftreiniger auf höchster Leistungsstufe (100%)

Betrachtet werden im Folgenden die Signale der Messpunkte 1,2 und 3

Lernzentrum – Messpunkt 1: Vor Betrieb RLR

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Bemerkung
10:20	61,24	Beginn der Nullmessung
10:50	56,16	Während der Nullmessung
11:05	55,11	Ende der Nullmessung
	58,96	Mittelwert
11:22	482,92	Während der Dosierung
11:32	812,46	Ende der Dosierung

Beobachtung

- Im Raum (Ort Messpunkt 1) liegt eine Grundlast von gemittelt 59 Partikel pro cm³ vor.
- Durch die Anreicherung von Partikel mittels Aerosolgenerator steigt die Konzentration auf über 800 Partikel pro cm³ an.

Lernzentrum – Messpunkt 1: Mit Betrieb RLR (100%)

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
11:32	812,46	100	Ende der Dosierung, kurz vor dem Start der RLR
11:37	574,39	70,7	
11:41	514,59	51	Aerosolgehalt im Raum um 50 % verringert
11:47	279,01	34,3	
11:52	189,71	23,4	Aerosolgehalt im Raum um 76,6 % verringert
11:57	156,78	19,3	
12:03	102,65	12,6	Aerosolgehalt im Raum um 87,4 % verringert
12:07	84,96	10,4	
12:12	64,12	7,9	
12:17	50,78	6,3	Aerosolgehalt unter dem Anfangswert (Nullmessung)
12:22	36,96	4,5	
12:27	28,88	3,6	
12:31	23,59	2,95	
12:32	22,24	2,7	Aerosolgehalt im Raum um 97,3 % verringert

Lernzentrum – Messpunkt 1: Mit Betrieb RLR (100%)

Beobachtung

- Eine Reduktion der Partikelanzahl auf 50% des angereicherten Wertes fand innerhalb von 9 Minuten statt
- Der ursprüngliche Ausgangswert von gemittelt 58 Partikel wird nach 42 Minuten erreicht

Lernzentrum – Messpunkt 2: Vor Betrieb RLR

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Bemerkung
10:20	54,95	Beginn der Nullmessung
10:50	51,88	Während der Nullmessung
11:05	48,93	Ende der Nullmessung
	51,98	Mittelwert
11:22	559,83	Während der Dosierung
11:32	1.269,22	Ende der Dosierung

Beobachtung

- Im Raum (Ort Messpunkt 2) liegt eine Grundlast von gemittelt 52 Partikel pro cm³ vor.
- Durch die Anreicherung von Partikel mittels Aerosolgenerator steigt die Konzentration auf über 1200 Partikel pro cm³ an.

Lernzentrum – Messpunkt 2: Mit Betrieb RLR (100%)

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
11:32	1.269,22	100	Ende der Dosierung, kurz vor dem Start der RLR
11:33	937,42	73,9	
11:38	643,66	50	Aerosolgehalt im Raum um 50 % verringert
11:43	437,62	34,5	
11:48	314,19	24,8	Aerosolgehalt im Raum um 75,2 % verringert
11:53	219,45	17,3	
11:59	155,24	12,2	Aerosolgehalt im Raum um 87,8 % verringert
12:04	122,77	9,7	
12:09	93,94	7,4	
12:13	74,56	5,9	Aerosolgehalt im Raum um 94,1 % verringert
12:18	57,92	4,6	
12:21	49,95	3,9	
12:26	36,21	2,9	
12:32	27,29	2,2	

Lernzentrum – Messpunkt 2: Mit Betrieb RLR (100%)

Beobachtung

- Eine Reduktion der Partikelanzahl auf 50% des angereicherten Wertes fand innerhalb von 6 Minuten statt
- Der ursprüngliche Ausgangswert von gemittelt 52 Partikel wird nach 48 Minuten erreicht

Lernzentrum – Messpunkt 3: Vor Betrieb RLR

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Bemerkung
10:30	48,11	Beginn der Nullmessung
10:45	48,22	Während der Nullmessung
11:05	45,83	Ende der Nullmessung
	49,13	Mittelwert
11:20	178,12	Während der Dosierung
11:32	1.057,82	Ende der Dosierung

Beobachtung

- Im Raum (Ort Messpunkt 3) liegt eine Grundlast von gemittelt 49 Partikel pro cm³ vor.
- Durch die Anreicherung von Partikel mittels Aerosolgenerator steigt die Konzentration auf über 1000 Partikel pro cm³ an.

Lernzentrum – Messpunkt 3: Mit Betrieb RLR (100%)

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
11:32	1.057,82	100	Ende der Dosierung, kurz vor dem Start der RLR
11:33	1.039,98	98,3	
11:37	650,23	61,5	
11:41	529,14	50	Aerosolgehalt im Raum um 50 % verringert
11:47	372,01	35,2	
11:53	255,29	24,1	Aerosolgehalt im Raum um 75,9 % verringert
11:59	177,06	16,7	
12:05	129,4	12,2	Aerosolgehalt im Raum um 87,8 % verringert
12:10	94,01	8,9	
12:16	62,94	5,9	Aerosolgehalt im Raum um 94,1 % verringert
12:21	46,09	4,4	
12:27	32,47	3,1	
12:32	27,41	2,6	

Lernzentrum – Messpunkt 3: Mit Betrieb RLR (100%)

Beobachtung

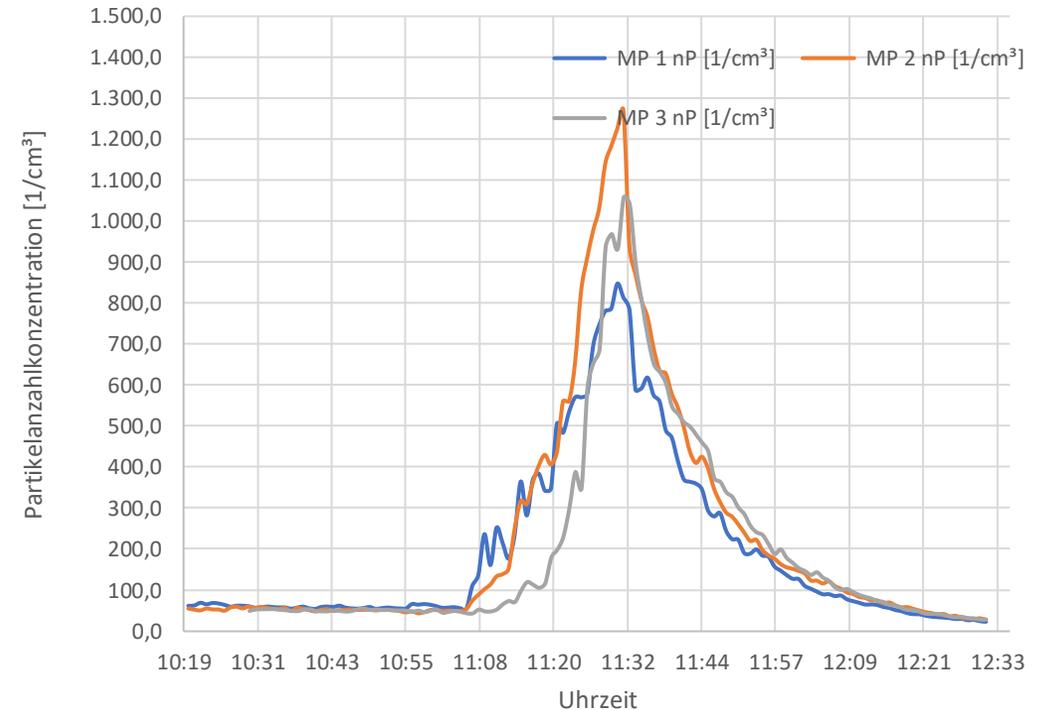
- Eine Reduktion der Partikelanzahl auf 50% des angereicherten Wertes fand innerhalb von 9 Minuten statt
- Der ursprüngliche Ausgangswert von gemittelt 52 Partikel wird nach 48 Minuten erreicht

Lernzentrum: Diskussion Messverlauf - Anstiegsflanke

In der Abbildung ist die an den 3 Messtationen aufgezeichnete Partikelkonzentration im Lernzentrum gegenüber der Zeit aufgetragen. Folgendes kann beobachtet werden:

- Die Grundlast im Raum liegt zu Beginn der Messungen zwischen 49 und 59 Partikel pro cm^3 . Diese Verteilung wird z.B. durch Luftströmungen und Bewegung von Personen beeinflusst.
- Mit Beginn der Aerosolbelastung zeigt sich ein ähnliches, aber dennoch unterschiedliches Anstiegsverhalten an den 3 Messorten mit unterschiedlicher maximaler Partikelkonzentration. Verantwortlich dafür ist die gerichtete Emission der Partikel durch den Aerosolgenerator und die gerichtete Verteilung der Partikel durch die Ventilatoren und die sich dadurch ergebenden Luftströmungen im Raum.

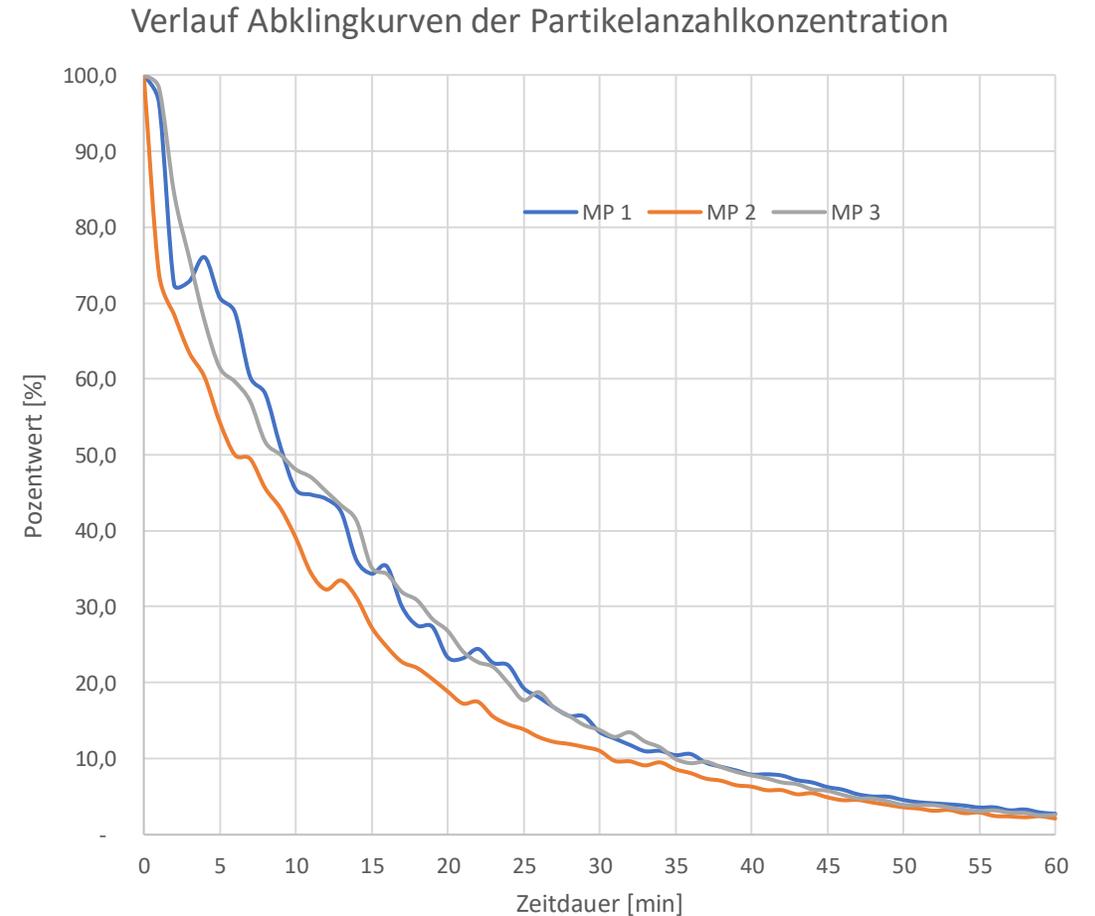
Verlauf der Partikelanzahlkonzentration im Lernzentrum



Lernzentrum: Diskussion Messverlauf - Abklingkurve

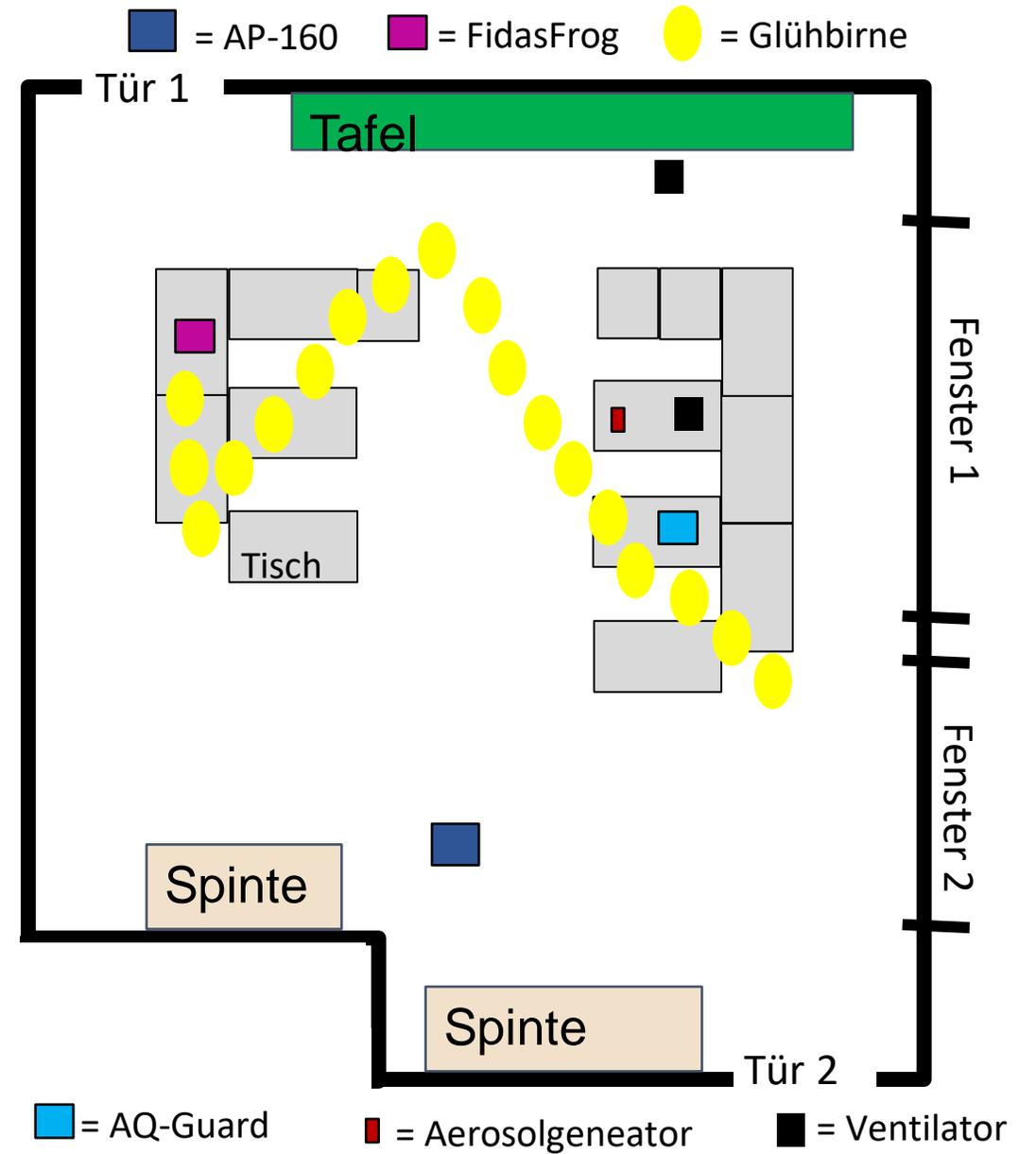
In der Abbildung ist die an den 3 Messtationen aufgezeichnete Partikelkonzentration im Lernzentrum gegenüber der Zeit aufgetragen. Folgendes kann beobachtet werden:

- An allen drei Messpunkten kann ein exponentielles Abklingverhalten der Partikelkonzentration beobachtet werden.
- Die ursprüngliche Ausgangsbelastung wird nach 42-48 Minuten erreicht (Ursache für die Schwankung: s.o.)
- Mit Erreichen der ursprünglichen Ausgangsbelastung ist noch keine Sättigung eingetreten, d.h. aufgrund des weiteren Betriebs der RLR verringert sich die Partikelanzahl entsprechend der Abklingkurve. Nach zusätzlichen ca. 14 Minuten liegt die Partikelkonzentration bei 50% unter Ausgangsniveau .



Klassenzimmer, Raum 318

- 318 m³ Raumvolumen
- Verwendet wurden:
 - 1 Raumlufreiniger:
 - 1x AP-160, 1.300 m³/h CADR
 - Dies entspricht einem 4-fachen Raumlftwechsel pro Stunde
 - 2 Partikelzähler
 - 1x Palas, FidasFrog
 - 1x Palas, AQ-Guard
 - 1 Aerosolgenerator
 - 1x Palas, PAG1000
 - 20 Glühbirnen mit je 75 W, um Wärme zu erzeugen
 - 2 Ventilatoren



Klassenzimmer, Raum 318: Messablauf

- Überblick Messungen:

- Nullmessung
- Belastung Raum mit Partikel
- RLR mit 100% Leistung
- Stopp RLR und Belastung Raum mit Partikel
- Öffnen Fenster
- Öffnen Fenster und Tür
- Schließen Fenster und Tür
- Belastung Raum mit Partikel
- RLR mit 50% Leistung

Messablauf:

- 10:08 Uhr – 13:22 Uhr: Nullmessung
- 13:23 Uhr – 13:32 Uhr: Dosierung mit Aerosolgenerator und Ventilatoren
- 13:33 Uhr – 14:34 Uhr: AP-160 auf höchster Leistungsstufe eingeschalten (100% Leistung)
- 14:35 Uhr – 14:44 Uhr: Dosierung mit Aerosolgenerator und Ventilatoren
- 14:45 Uhr – 15:13 Uhr: Messung ohne Raumluftreiniger und mit geschlossenen Fenstern und Türen
- 15:14 Uhr – 15:20 Uhr: Ein Fenster wurde geöffnet
- 15:21 Uhr – 15:27 Uhr: Ein Fenster und eine Tür wurde geöffnet
- 15:28 Uhr – 15:34 Uhr: Dosierung mit Aerosolgenerator und Ventilatoren
- 15:35 Uhr – 17:11 Uhr: AP-160 auf mittlerer Leistungsstufe eingeschalten (50% Leistung)

Klassenzimmer, Raum 318: Nullmessung & Partikelanreicherung

Uhrzeit		Partikelanzahl [1/cm ³]	Bemerkung
13:08		155,46	Beginn der Nullmessung
13:15		179,74	Während der Nullmessung
13:22		230,31	Ende der Nullmessung
		195,26	Mittelwert
13:23	211,75		Start der Dosierung
13:32	1.901,04	100	Ende der Dosierung

Beobachtung

- Grundlast an Partikel deutlich höher (im Vergleich zu Lernzentrum)
- Durch die Anreicherung von Partikel mittels Aerosolgenerator steigt die Konzentration auf über 1900 Partikel pro cm³ an.

Klassenzimmer, Raum 318: Mit Betrieb RLR (100%)

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
13:32	1.901,04	100	Start AP-160: 100% Leistung
13:33	1.748,64	92	
13:39	1.286,43	67,7	
13:45	931,85	49	Aerosolgehalt im Raum um 51 % verringert
13:51	715,22	37,6	
13:57	547,6	28,8	
14:03	453,74	23,9	Aerosolgehalt im Raum um 76,1 % verringert
14:09	372,44	16,9	
14:15	269,52	14,2	
14:20	255,67	13,4	
14:25	236,62	12,4	Aerosolgehalt im Raum um 87,6 % verringert
14:30	171,3	9,0	
14:34	177,39	9,3	

Klassenzimmer, Raum 318: Mit Betrieb RLR (100%)

Beobachtung

- Eine Reduktion der Partikelanzahl auf 50% des angereicherten Wertes fand innerhalb von 13 Minuten statt
- Der ursprüngliche Ausgangswert von gemittelt 195 Partikel wird nach 56 Minuten erreicht
- Im Vergleich zum Lernzentrum sind diese Zahlen erhöht, was dadurch begründet ist, dass die Reinigungsleistung pro m³ Raum für Klassenzimmer 318 niedriger ist

Klassenzimmer, Raum 318: Einfluss Lüftung (ohne RLR)

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
14:35	460,19		Start der Dosierung
14:44	2.151,96	100	Ende der Dosierung
14:45	2.146,36	99,7	Messung ohne Raumluftreiniger
14:55	1.961,38	91,1	
15:05	1.965,81	91,3	
15:13	1.729,52	80,4	
15:14	1.516,70	87,7	Fenster 2 geöffnet
15:17	759,03	43,9	
15:20	372,47	21,5	
15:21	265,30	15,3	Fenster 2 und Tür 1 geöffnet
15:24	171,71	9,9	
15:27	191,31	11,1	

Klassenzimmer, Raum 318: Einfluss Lüftung (ohne RLR)

Beobachtung

- Zunächst erfolgt eine Anreicherung der Raumluft mit Partikel
- Vor Öffnen des Fensters wird eine Zeitspanne von 29 Minuten abgewartet, um eine Gleichverteilung der Partikel zu erhalten. Diese erreicht dabei keinen konstanten Wert, da:
 - Während der Emission des Aerosolgenerators eine inhomogene Partikelverteilung vorliegt
 - Mit Stopp des Generators zwar die Ventilatoren für eine homogenen Verteilung der Partikel im Raum sorgen, allerdings diese auch absinken können.

Beobachtung

- Mit Öffnen des Fensters wird innerhalb von 3 Minuten die Partikelanzahl auf 50% reduziert.

Klassenzimmer, Raum 318: Mit Betrieb RLR (50%)

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
15:28	250,91		Start der Dosierung
15:34	2.959,25	100	Ende der Dosierung / AP-160 eingeschalten: 50% Leistung
15:35	2.781,91	94	
15:44	1.979,90	66,9	
15:53	1.494,75	50,5	Aerosolgehalt im Raum um 49,5 % verringert
16:03	1.069,99	36,2	
16:13	691,68	23,4	Aerosolgehalt im Raum um 76,6 % verringert
16:25	492,38	16,6	
16:37	372,17	12,6	Aerosolgehalt im Raum um 87,4 % verringert
16:49	275,43	9,3	
17:01	220,25	7,4	
17:05	206,97	7	
17:09	185,80	6,3	Aerosolgehalt im Raum um 93,7 % verringert
17:11	180,58	6,1	

Klassenzimmer, Raum 318: Mit Betrieb RLR (50%)

Beobachtung

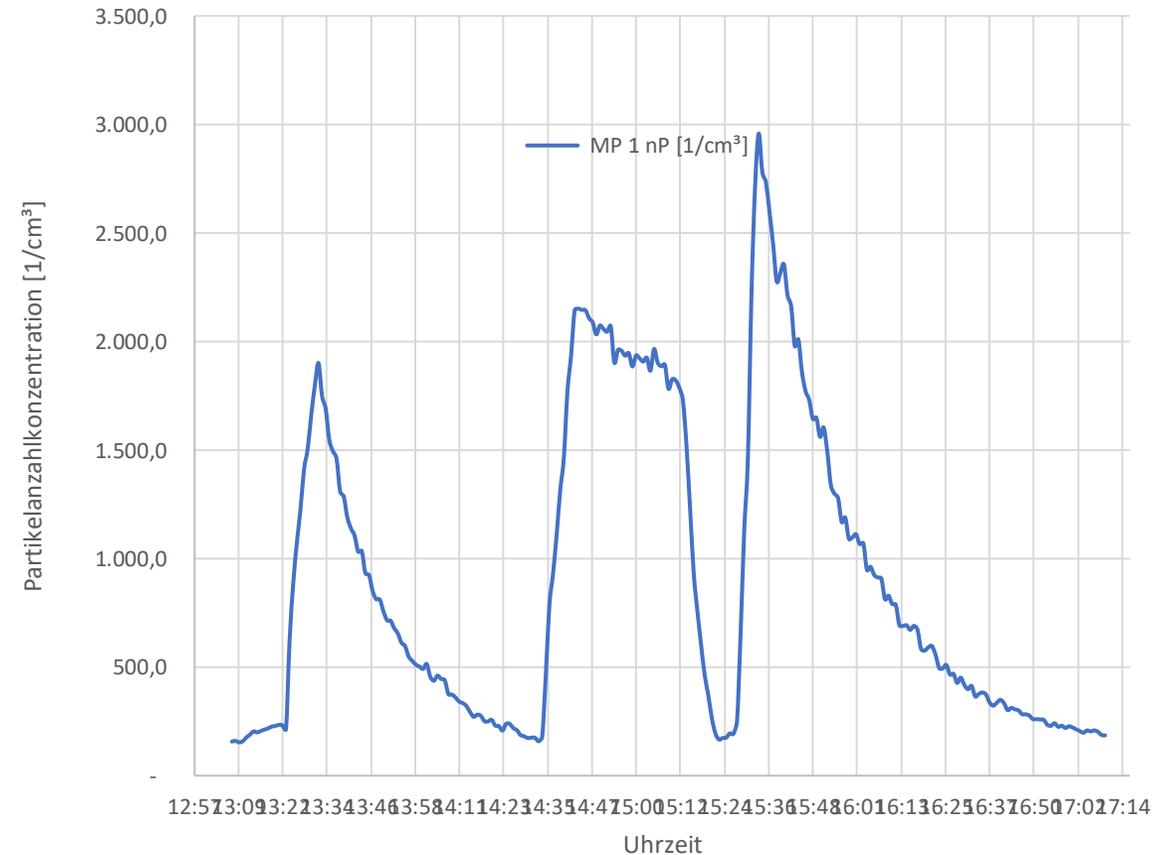
- Eine Reduktion der Partikelanzahl auf 50% des angereicherten Wertes fand innerhalb von 20 Minuten statt
- Der ursprüngliche Ausgangswert von gemittelt 250 Partikel wird nach ca. 1h 20 Minuten erreicht
- Im Vergleich zum Lernzentrum sind diese Zahlen erhöht, was dadurch begründet ist, dass die Reinigungsleistung pro m³ Raum für Klassenzimmer 318 niedriger ist und ein Betrieb des RLR bei 50%

Klassenzimmer, Raum 318: Diskussion Messverlauf

In der Abbildung ist die an der Messtation aufgezeichnete Partikelkonzentration im Raum 318 gegenüber der Zeit aufgetragen. Folgendes kann beobachtet werden:

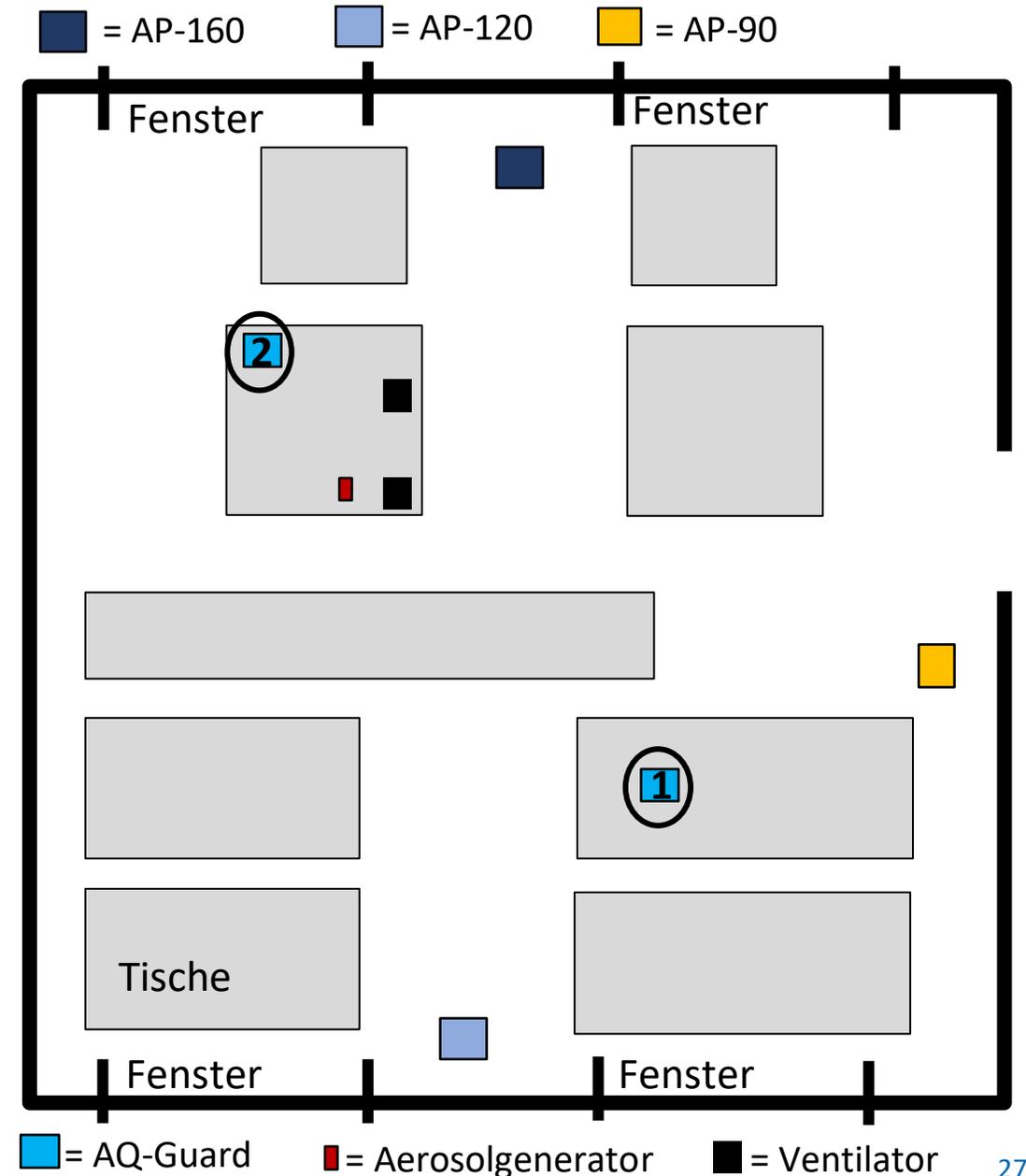
- Die Ergebnisse bei Betrieb des RLR sind vergleichbar zu den Untersuchungen im Lernzentrum.
- Durch das Öffnen eines Fensters konnte im Vergleich zu RLR eine schnellere Reduktion der Partikelanzahl erreicht werden. Allerdings ist hier zu beachten, dass am Versuchstag ein starker Temperaturunterschied zwischen Raumluft und Außentemperatur (ca. 25°C) zu verzeichnen war. Dies beschleunigt einen entsprechenden Luftausgleich. Dieser Luftausgleich ist nach mehrmaligem Öffnen der Fenster immer weniger und die Kurve flacht ab. Zudem kann dann kein weiteres Absenken der Aerosole erreicht werden.
- Das zusätzliche Öffnen der Tür erzeugte keine signifikante Änderung des gemessenen Verlaufs
- Mit Schließen von Tür und Fenster beginnt die Partikelkonzentration leicht anzusteigen
- Die RLR reduzieren die Partikellast auch unterhalb des ursprünglichen Werts

Verlauf der Partikelanzahlkonzentration im Klassenzimmer



Lehrerzimmer

- 570 m³ Raumvolumen
- Verwendet wurden:
 - 3 Raumlufreiniger:
 - 1x AP-160, 1300 m³/h CADR
 - 1x AP-120, 1200 m³/h CADR
 - 1x AP-90, 720 m³/h CADR
 - 3220 m³/h CADR insgesamt, dies entspricht einem 5,6-fachen Raumlftwechsel pro Stunde
 - 2 Partikelzähler
 - 2x Palas, AQ-Guard
 - 1 Aerosolgenerator
 - 1x Palas, PAG1000
 - 2 Ventilatoren



Lehrerzimmer

- Überblick Messungen:
 - Nullmessung
 - Belastung Raum mit Partikel
 - Raumlufreiniger 30 Minuten mit 100 % Leistung
 - Raumlufreiniger 30 Minuten mit 50 % Leistung
 - Belastung Raum mit Partikel
 - 30 Minuten Messung ohne Raumlufreiniger
 - 15 Minuten Messung mit offenen Fenstern
- Messablauf
 - 13:19 Uhr – 13:47 Uhr: Nullmessung
 - 13:48 Uhr – 14:16 Uhr: Dosierung mit Aerosolgenerator und Ventilatoren
 - 14:17 Uhr – 14:46 Uhr: Alle Raumlufreiniger auf höchster Leistungsstufe eingeschalten (100 % Leistung)
 - 14:47 Uhr – 15:47 Uhr: Alle Raumlufreiniger auf mittlerer Leistungsstufe eingeschalten (50 % Leistung)
 - 15:48 Uhr – 16:14 Uhr: Dosierung mit Aerosolgenerator und Ventilatoren
 - 16:15 Uhr – 16:47 Uhr: Messung ohne Raumlufreiniger und mit geschlossenen Fenstern und Türen
 - 16:48 Uhr – 17:00 Uhr: Alle Fenster wurden geöffnet

Lehrerzimmer: Messpunkt 1: Nullmessung & Partikelanreicherung

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Bemerkung
13:23	56,94	Beginn der Nullmessung
13:29	63,77	
13:34	66,28	
13:39	66,33	
13:44	62,72	
13:49	61,88	Ende der Nullmessung
	62,61	Mittelwert
13:50	147,96	Start der Dosierung
14:17	2.376,74	Ende der Dosierung

Lehrerzimmer: Messpunkt 1: 1. Messung

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
14:18	2.616,88	100	RLR eingeschalten: 100% Leistung
14:25	1.752,25	67	
14:31	1.264,56	48,3	Aerosolgehalt im Raum um 51,7 % verringert
14:39	801,74	30,6	
14:44	648,76	24,8	Aerosolgehalt im Raum um 75,2 % verringert
14:46	563,53	21,5	
14:47	565,30	21,6	RLR eingeschalten: 50 % Leistung
14:59	394,94	15,1	
15:09	322,03	12,3	Aerosolgehalt im Raum um 87,7 % verringert
15:20	235,32	9	
15:33	163,73	6,3	Aerosolgehalt im Raum um 93,7 % verringert
15:46	101,22	3,9	

Lehrerzimmer: Messpunkt 1: 2. Messung

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
15:47	96,40		Start der Dosierung
16:17	2.777,35		Ende der Dosierung
16:18	2.859,13	100	Messung ohne Raumlufreiniger
16:28	2.668,63	93,3	
16:38	2.643,70	92,2	
16:47	2.423,30	84,8	
16:48	2.510,50	100	Messung mit geöffneten Fenstern
16:53	1.199,10	47,8	
16:58	576,2	23	
17:01	435,1	17,3	

Lehrerzimmer: Messpunkt 2: Nullmessung

Uhrzeit	Partikelanzahl [$1/\text{cm}^3$]	Bemerkung
13:23	56,97	Beginn der Nullmessung
13:29	58,79	
13:34	57,38	
13:39	49,80	
13:44	56,80	
13:49	50,13	Ende der Nullmessung
		Mittelwert = 55,94

Lehrerzimmer: Messpunkt 2: 1. Messung

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
13:50	1.116,07		Start der Dosierung
14:17	3.465,96	100	Ende der Dosierung
14:18	3.354,42	96,8	RLR eingeschalten: 100% Leistung
14:28	1.670,46	48,2	Aerosolgehalt im Raum um 51,7 % verringert
14:40	842,07	24,3	Aerosolgehalt im Raum um 75,7 % verringert
14:46	639,24	18,4	
14:47	619,79	17,9	RLR eingeschalten: 50 % Leistung
14:57	436,46	12,6	Aerosolgehalt im Raum um 87,4 % verringert
15:07	312,71	9	
15:17	241,18	7	Aerosolgehalt im Raum um 93 % verringert
15:30	152,97	4,4	
15:37	119,27	3,4	Aerosolgehalt im Raum um 95,6 % verringert
15:46	92,24	2,7	

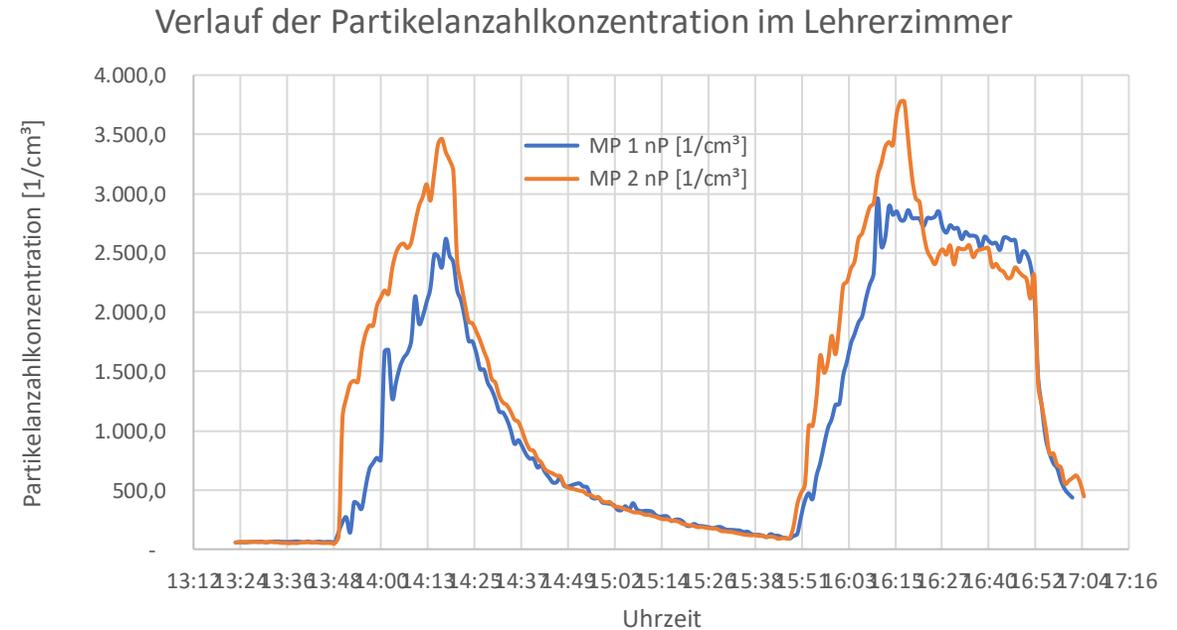
Lehrerzimmer: Messpunkt 2: 2. Messung

Uhrzeit	Partikelanzahl [1/cm ³]	Prozentsatz [%]	Bemerkung
15:47	92,45		Start der Dosierung
16:17	3.779,10	100	Ende der Dosierung
16:18	3.462,80	91,6	Messung ohne Raumlufreiniger
16:20	2.961,17	78,4	
16:30	2.404,56	63,6	
16:40	2.384,66	63,1	
16:47	2.341,26	62	
16:48	2.308,94	100	Messung mit geöffnetem Fenster
16:54	1.019,45	44,2	
16:59	552,95	23,9	
17:04	445,00	19,3	

Lehrerzimmer: Diskussion Messverlauf - Anstiegsflanke

In der Abbildung ist die an den 2 Messtationen aufgezeichnete Partikelkonzentration im Lehrerzimmer gegenüber der Zeit aufgetragen. Folgendes kann beobachtet werden:

- Es zeigt sich ein zum Lernzentrum vergleichbares Verhalten (auch bezüglich der unterschiedlichen Signale der Messstationen)



Lehrerzimmer: Diskussion Messverlauf - Abklingkurve

In der Abbildung ist die an den 2 Messtationen aufgezeichnete Partikelkonzentration im Lehrerzimmer gegenüber der Zeit aufgetragen. Folgendes kann beobachtet werden:

- Es zeigt sich ein zum Lernzentrum vergleichbares Verhalten (auch bezüglich der unterschiedlichen Signale der Messstationen)

