

Supplement of Atmos. Meas. Tech., 14, 1761–1781, 2021
<https://doi.org/10.5194/amt-14-1761-2021-supplement>
© Author(s) 2021. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Supplement of

Comparison of different droplet measurement techniques in the Braunschweig Icing Wind Tunnel

Inken Knop et al.

Correspondence to: Inken Knop (i.knop@tu-braunschweig.de)

The copyright of individual parts of the supplement might differ from the CC BY 4.0 License.

Test Matrix MVD comparison PDI – FCDP

Wind tunnel & spray system					PDI				FCDP				Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	date	starting time	MVD	Number Density	date	starting time	MVD	Number Density	$ E_{MVD,i} $
m/s	°C	bar	bar	%	-	-	µm	cm ⁻³	-	-	µm	cm ⁻³	-
40	-5	1.6	1.4	100	08.08.2017	12:26:21	26.6	884	04.08.2017	17:45:00	23.5	850	11,7%
40	-5	1.5	2.1	20	08.08.2017	12:30:20	28.1	221	04.08.2017	17:49:00	24.8	330	11,7%
40	-5	1.5	2.0	40	08.08.2017	12:32:06	28.5	485	04.08.2017	17:53:15	26.7	570	6,3%
40	-5	1.5	1.9	60	08.08.2017	12:34:31	29.3	405	04.08.2017	17:56:47	26.6	660	9,2%
40	-5	1.5	1.8	80	08.08.2017	12:37:11	29.2	447	04.08.2017	18:00:34	25.9	670	11,3%
40	-5	1.5	1.7	100	08.08.2017	12:39:26	27.9	1074	04.08.2017	18:04:09	25.9	710	7,2%
40	-5	1.5	1.7	20	08.08.2017	12:13:56	28.2	251	04.08.2017	17:30:56	26	320	7,8%
40	-5	1.5	1.6	40	09.08.2017	16:20:10	29.1	269	04.08.2017	17:34:00	26	590	10,7%
40	-5	1.5	1.5	60	08.08.2017	12:19:17	28.5	533	04.08.2017	17:38:00	26	660	8,8%
40	-5	1.5	1.4	80	08.08.2017	12:22:24	27.6	654	04.08.2017	17:42:00	26	700	5,8%
40	-5	1.3	3.1	20	08.08.2017	13:26:57	31.3	118	04.08.2017	19:19:51	28.7	170	8,3%
40	-5	1.3	3.0	40	08.08.2017	13:33:36	31.8	301	04.08.2017	19:23:30	29.5	350	7,2%
40	-5	1.3	2.9	60	08.08.2017	13:38:00	32.5	461	04.08.2017	19:27:07	29.2	420	10,2%
40	-5	1.3	2.9	20	08.08.2017	13:09:07	32.8	93	04.08.2017	19:01:55	30.5	150	7,0%
40	-5	1.3	2.8	80	08.08.2017	13:40:45	33.8	333	04.08.2017	19:30:42	29.1	420	13,9%
40	-5	1.3	2.8	40	08.08.2017	13:14:55	31.8	328	04.08.2017	19:05:28	30.7	320	3,5%
40	-5	1.3	2.7	100	08.08.2017	13:43:54	33.8	196	04.08.2017	19:34:48	29.1	410	13,9%
40	-5	1.3	2.7	60	08.08.2017	13:17:55	33	258	04.08.2017	19:09:15	30.9	380	6,4%
40	-5	1.3	2.6	80	08.08.2017	13:21:01	33.5	359	04.08.2017	19:12:37	30	430	10,4%
40	-5	1.3	2.5	100	08.08.2017	13:24:12	33.2	447	04.08.2017	19:16:12	30.6	430	7,8%
40	-5	1.3	2.0	20	08.08.2017	12:47:48	32.1	82	04.08.2017	18:08:00	28.2	160	12,1%
40	-5	1.3	1.9	40	08.08.2017	12:53:52	31	229	04.08.2017	18:12:36	28.8	320	7,1%
40	-5	1.3	1.8	60	08.08.2017	12:57:58	30.8	413	04.08.2017	18:16:19	28.4	380	7,8%
40	-5	1.3	1.7	80	08.08.2017	13:03:23	31.4	280	04.08.2017	18:20:07	28.4	390	9,6%
40	-5	1.3	1.6	100	08.08.2017	13:07:20	31.9	337	04.08.2017	18:23:57	28.8	420	9,7%

Wind tunnel & spray system					PDI				FCDP				Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	date	starting time	MVD	Number Density	date	starting time	MVD	Number Density	$ E_{MVD,i} $
m/s	°C	bar	bar	%	-	-	µm	cm ⁻³	-	-	µm	cm ⁻³	-
30	-5	4.5	1.8	30	08.08.2017	14:01:12	9.4	1923	04.08.2017	14:32:39	10.6	2490	12,8%
30	-5	4.5	1.7	40	08.08.2017	14:04:03	8.8	2949	04.08.2017	15:37:44	9	1860	2,3%
30	-5	4.5	1.6	100	17.04.2019	16:02:59	8.5		04.08.2017	15:48:31	8.9	1170	4,7%
30	-5	4.5	1.6	60	08.08.2017	14:06:03	8.9	3088	04.08.2017	15:40:53	9.1	1720	2,2%
30	-5	4.5	1.5	80	08.08.2017	14:08:07	8.8	2238	04.08.2017	15:44:48	8.9	760	1,1%
30	-5	4.1	1.5	100	17.04.2019	15:42:42	8.9		04.08.2017	16:07:24	9.3	1800	4,5%
30	-5	4.0	2.0	20	08.08.2017	14:25:00	10.2		04.08.2017	15:52:38	9.4	1510	7,8%
30	-5	4.0	1.8	40	08.08.2017	14:27:06	10.3	2881	04.08.2017	15:56:11	10.2	2270	1,0%
30	-5	4.0	1.6	60	08.08.2017	14:28:59	9.6		04.08.2017	16:00:13	9.8	2180	2,1%
30	-5	4.0	1.5	80	08.08.2017	17:39:10	9.6		04.08.2017	16:03:50	9.5	1930	1,0%
30	-5	3.0	2.5	20	08.08.2017	14:35:14	14.5	974	04.08.2017	16:11:40	13.4	1370	7,6%
30	-5	3.0	2.4	40	08.08.2017	14:38:45	13.9		04.08.2017	16:15:40	14.9	1990	7,2%
30	-5	3.0	2.3	60	08.08.2017	14:39:49	14.7	2210	04.08.2017	16:20:00	14.9	2010	1,4%
30	-5	3.0	2.2	80	08.08.2017	14:41:50	14.3	2799	04.08.2017	16:24:00	14.8	2000	3,5%
30	-5	3.0	2.0	100	08.08.2017	14:43:53	14.3	1905	04.08.2017	16:27:00	14.5	2010	1,4%
30	-5	2.0	2.2	20	08.08.2017	14:45:43	20.3	637	04.08.2017	16:31:52	18	890	11,3%
30	-5	2.0	2.1	40	08.08.2017	14:48:16	20.8	1188	04.08.2017	16:35:44	18.8	1420	9,6%
30	-5	2.0	2.0	60	08.08.2017	14:50:10	21.5	1221	04.08.2017	16:39:38	18.9	1500	12,1%
30	-5	2.0	1.9	80	08.08.2017	14:52:02	21.8	1334	04.08.2017	16:43:26	18.9	1500	13,3%
30	-5	2.0	1.8	100	08.08.2017	14:53:40	20.8	1380	04.08.2017	16:47:16	18.3	1500	12,0%

$$\text{Mean absolute value of the relative error: } |E_{FCDP-PDI}| = \frac{1}{45} \sum \frac{|MVD_{FCDP} - MVD_{PDI}|}{MVD_{PDI}} = 7,7\%$$

$$\text{Standard deviation of the mean relative error: } \sqrt{\frac{\sum (|E_{MVD,i}| - |E_{FCDP-PDI}|)^2}{45-1}} = 3,9\%$$

Results of repetitive measurements

temper- ature	velocity	air pressure	water pressure	duty cycle	mean MVD	coefficient of variation	mean DV01	coefficient of variation	mean DV09	coefficient of variation
°C	m s ⁻¹	bar	bar	%	µm	%	µm	%	µm	%
-5	30	4,5	1,8	30	9,3	14%	5,9	13%	16	28%
-5	40	4	1,8	40	10,0	2%	5,8	0%	19,8	1%
-5	40	1,5	1,6	40	23,0	13%	11,8	12%	38,6	5%
-5	40	1,3	3,1	20	28,2	2%	11,5	4%	42,9	1%
-5	40	1,3	2,9	60	27,5	6%	12,0	2%	42,5	3%
-5	40	1,3	1,9	40	27,7	4%	11,3	7%	42,3	1%
mean coefficients of variation:						7%	6%		7%	

Test Matrix MVD comparison PDI – Shadowgraphy

Wind tunnel & spray system					PDI			Shadowgraphy			Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	date	starting time	MVD	date	starting time	MVD	$ E_{MVD,i} $
m/s	°C	bar	bar	%	-	-	µm	-	-	µm	-
40	15	4.5	1.7	40	08.08.2017	14:59:43	12.5	08.06.2017	19:24	12.7	1,9%
40	15	4.0	2.0	20	08.08.2017	15:04:22	13.3	07.06.2017	11:30	13.2	1,0%
40	15	4.0	1.7	40	09.08.2017	15:27:22	13.5	08.06.2017	15:44	11.8	12,4%
40	15	4.0	1.5	70	09.08.2017	15:28:44	13.4	08.06.2017	16:03	11.4	14,9%
40	15	3.0	2.5	20	08.08.2017	15:15:09	16.3	08.06.2017	20:56	18.8	15,6%
40	15	3.0	2.2	100	09.08.2017	15:15:33	16.3	07.06.2017	11:17	18.7	14,6%
40	15	3.0	2.0	100	08.08.2017	15:23:55	15.8	09.06.2017	10:01	18.1	14,4%
40	15	3.0	2.0	40	09.08.2017	08:59:13	16.5	09.06.2017	09:22	18.0	9,1%
40	15	3.0	2.0	25	09.08.2017	08:54:58	16.2	08.06.2017	17:35	17.0	4,7%
40	15	2.5	2.0	100	19.04.2019	09:16:05	18.6	09.06.2017	09:39	20.0	7,7%
40	15	2.0	2.0	100	09.08.2017	09:25:36	24.5	09.06.2017	09:01	24.1	1,7%
40	15	2.0	2.0	80	09.08.2017	09:23:14	23.4	07.06.2017	10:35	22.7	3,1%
40	15	2.0	2.0	40	09.08.2017	09:17:47	23.7	09.06.2017	10:14	20.6	13,1%
40	15	2.0	2.0	25	09.08.2017	15:30:57	22.7	08.06.2017	16:24	19.8	12,9%
40	15	1.5	1.5	50	09.08.2017	14:14:44	31.7	07.06.2017	13:14	27.0	14,8%
40	15	1.3	3.0	20	19.04.2019	08:39:49	48	09.06.2017	13:01	35.4	
40	15	1.3	2.7	100	08.08.2017	13:43:54	48	06.06.2017	19:32	32.3	
40	15	1.3	1.5	100	18.04.2019	18:25:52	38	07.06.2017	12:40	30.2	
30	15	3.0	2.5	20	08.08.2017	14:35:14	16.5	08.06.2017	20:36	18.3	10,9%
30	15	1.3	3.2	15	19.04.2019	10:33:24	42	08.06.2017	18:25	22.0	

Wind tunnel & spray system					PDI			Shadowgraphy			Relative error
tunnel velocity	temperature*	air pressure	water pressure	duty cycle	date	starting time	MVD	date	starting time	MVD	$ E_{MVD,i} $
m/s	°C	bar	bar	%	-	-	µm	-	-	µm	-
20	15	4.0	2.0	20	08.08.2017	11:48:16	13.6	06.06.2017	18:28	11.4	16,2%
20	15	4.0	2.0	20	08.08.2017	11:48:16	13.6	07.06.2017	10:23	12.8	5,9%
20	15	4.0	2.0	20	08.08.2017	11:48:16	13.6	09.06.2017	13:36	10.1	25,8%
20	15	3.0	2.5	20	18.04.2019	18:02:08	16.5	08.06.2017	20:17	18.9	14,5%
20	15	3.0	2.2	100	08.08.2017	11:58:52	15.8	06.06.2017	18:17	16.7	5,7%
20	15	3.0	2.2	100	08.08.2017	11:58:52	15.8	07.06.2017	10:15	16.4	3,5%
20	15	2.0	2.0	80	08.08.2017	12:01:40	21.6	06.06.2017	17:09	22.1	2,4%
20	15	2.0	2.0	80	08.08.2017	12:01:40	21.6	06.06.2017	18:06	17.2	20,2%
20	15	2.0	2.0	80	08.08.2017	12:01:40	21.6	07.06.2017	09:40	21.0	3,0%
20	15	1.5	1.5	50	18.04.2019	17:50:20	32	07.06.2017	12:55	29.0	9,3%
20	15	1.3	3.0	20	18.04.2019	18:32:53	48	07.06.2017	14:50	34.2	
20	15	1.3	2.7	100	18.04.2019	19:27:10	48	06.06.2017	18:40	44.6	
20	15	1.3	1.5	100	18.04.2019	18:25:52	38	07.06.2017	11:56	33.1	
10	15	3.0	2.5	20	18.04.2019	18:02:08	16.7	08.06.2017	19:54	18.2	8,8%
10	15	1.3	3.6	5	19.04.2019	11:02:48	46	08.06.2017	19:04	26.3	

Mean absolute value of the relative error: $|E_{Shadowgraphy-PDI}| = \frac{1}{27} \sum \frac{|MVD_{FCDP} - MVD_{PDI}|}{MVD_{PDI}} = 9,9\%$

Standard deviation of the mean relative error: $\sqrt{\frac{\sum (|E_{MVD,i}| - |E_{Shadowgraphy-PDI}|)^2}{27-1}} = 6,3\%$

* tunnel temperature at Shadowgraphy measurements, -5°C at PDI measurements

Grey marked tests have not been evaluated for the calculation of the mean absolute value of the relative error of the MVD.

Results of repetitive measurements

temper- ature	velocity	air pressure	water pressure	duty cycle	number of repetitions	mean MVD	coefficient of variation
°C	m s ⁻¹	bar	bar	%	-	µm	%
15	20,40	4	2	20	4	11,9	10%
15	10-40	3	2,5	20	4	18,6	2%
15	20,40	3	2,2	100	3	17,2	6%
15	20,40	2	2	80	4	20,7	10%
15	20,40	1,5	1,5	50	2	13,6	7%
15	20,40	1,5	1,5	50	2	38,4	13%
15	20,40	1,3	1,5	100	2	31,6	5%
mean coefficient of variation:						8%	

Test Matrix LWC Comparison PDI – Flow Rate

Wind tunnel & spray system					PDI		flow rate		Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	MVD	LWC	mean water mass flow rate	LWC	$ E_{MVD,i} $
$m s^{-1}$	$^{\circ}C$	bar	bar	%	μm	$g m^{-3}$	$g s^{-1}$	$g m^{-3}$	-
40	-5	5,0	3,0	80	9,9	0,461	51,6	0,514	10%
40	-5	5,0	3,0	40	10,1	0,392	40,5	0,406	3%
40	-5	5,0	2,0	80	8,9	0,136	18,0	0,174	22%
40	-5	5,0	2,0	40	8,8	0,113	13,2	0,127	11%
40	-5	4,5	3,0	80	10,8	0,491	62,4	0,637	23%
40	-5	4,5	3,0	40	11,1	0,459	45,1	0,464	1%
40	-5	4,5	2,0	80	9,5	0,232	27,8	0,273	15%
40	-5	4,5	2,0	40	9,5	0,214	20,6	0,203	6%
40	-5	4,5	1,8	30	9,3	0,163	16,0	0,156	5%
40	-5	4,5	1,7	40	9,0	0,158	21,9	0,212	25%
40	-5	4,5	1,6	60	9,5	0,113	15,4	0,151	25%
40	-5	4,1	1,5	100	9,5	0,115	20,5	0,201	43%
40	-5	4,0	5,0	80	13,9	1,046	130,6	1,438	27%
40	-5	4,0	5,0	40	13,0	0,625	79,8	0,860	27%
40	-5	4,0	4,5	80	13,7	0,886	116,6	1,277	31%
40	-5	4,0	4,5	40	12,9	0,662	72,8	0,783	15%
40	-5	4,0	4,0	80	12,9	0,712	99,8	1,073	34%
40	-5	4,0	4,0	40	12,4	0,521	63,1	0,671	22%
40	-5	4,0	3,5	80	12,6	0,687	83,3	0,890	23%
40	-5	4,0	3,5	40	12,2	0,478	58,0	0,614	22%
40	-5	4,0	3,0	80	12,2	0,591	71,9	0,760	22%
40	-5	4,0	3,0	40	11,8	0,454	50,1	0,525	14%
40	-5	4,0	2,5	80	11,4	0,808	57,6	0,598	35%
40	-5	4,0	2,5	40	11,1	0,301	36,9	0,379	21%

Wind tunnel & spray system					PDI		flow rate		Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	MVD	LWC	mean water mass flow rate	LWC	$ E_{MVD,i} $
m s ⁻¹	°C	bar	bar	%	µm	g m ⁻³	g s ⁻¹	g m ⁻³	-
40	-5	4,0	2,0	100	10,0	0,281	40,1	0,400	30%
40	-5	4,0	2,0	90	10,1	0,256	35,3	0,353	27%
40	-5	4,0	2,0	80	10,4	0,304	37,0	0,373	18%
40	-5	4,0	2,0	70	10,2	0,243	31,6	0,317	23%
40	-5	4,0	2,0	60	10,3	0,247	30,5	0,307	20%
40	-5	4,0	2,0	50	10,4	0,293	29,9	0,302	3%
40	-5	4,0	2,0	40	10,6	0,234	25,7	0,261	10%
40	-5	4,0	2,0	30	10,4	0,172	19,3	0,195	12%
40	-5	4,0	2,0	20	10,6	0,185	18,0	0,182	2%
40	-5	4,0	2,0	10	10,5	0,075	6,8	0,069	8%
40	-5	4,0	1,8	40	10,0	0,305	28,5	0,285	7%
40	-5	4,0	1,7	40	10,1	0,222	21,8	0,218	2%
40	-5	4,0	1,5	72	9,9	0,118	20,1	0,200	41%
40	-5	4,0	1,5	70	9,9	0,135	19,3	0,192	30%
40	-5	4,0	1,5	40	9,6	0,136	13,7	0,136	0%
40	-5	3,5	3,0	80	13,3	0,726	79,5	0,863	16%
40	-5	3,5	3,0	40	13,4	0,578	58,3	0,634	9%
40	-5	3,5	2,0	80	11,4	0,404	44,9	0,466	13%
40	-5	3,5	2,0	40	12,3	0,394	32,4	0,344	14%
40	-5	3,0	5,0	80	18,3	1,090	107,2	1,290	16%
40	-5	3,0	5,0	40	17,0	1,160	92,1	1,083	7%
40	-5	3,0	4,5	80	17,5	1,209	112,6	1,336	10%
40	-5	3,0	4,5	40	17,0	0,971	81,2	0,954	2%
40	-5	3,0	4,0	80	16,8	1,059	89,7	1,050	1%
40	-5	3,0	4,0	40	16,1	1,114	71,9	0,830	34%

Wind tunnel & spray system					PDI		flow rate		Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	MVD	LWC	mean water mass flow rate	LWC	$ E_{MVD,i} $
m s ⁻¹	°C	bar	bar	%	µm	g m ⁻³	g s ⁻¹	g m ⁻³	-
40	-5	3,0	3,5	80	16,0	0,781	78,6	0,904	14%
40	-5	3,0	3,5	40	15,3	0,792	66,3	0,752	5%
40	-5	3,0	3,0	80	15,4	0,821	88,0	1,001	18%
40	-5	3,0	3,0	40	15,0	0,662	60,1	0,678	2%
40	-5	3,0	2,5	80	14,3	0,630	64,8	0,720	13%
40	-5	3,0	2,5	40	14,3	0,597	51,4	0,571	5%
40	-5	3,0	2,5	20	14,0	0,221	30,9	0,340	35%
40	-5	3,0	2,4	40	14,2	0,449	67,7	0,751	40%
40	-5	3,0	2,3	60	14,1	0,506	80,0	0,885	43%
40	-5	3,0	2,2	100	14,6	1,158	71,1	0,795	46%
40	-5	3,0	2,2	80	14,4	0,810	83,4	0,928	13%
40	-5	3,0	2,0	100	13,6	0,528	76,1	0,858	38%
40	-5	3,0	2,0	90	13,8	0,477	62,1	0,682	30%
40	-5	3,0	2,0	80	13,7	0,472	56,4	0,618	24%
40	-5	3,0	2,0	70	14,0	0,561	59,6	0,657	15%
40	-5	3,0	2,0	60	14,2	0,502	55,7	0,617	19%
40	-5	3,0	2,0	50	13,6	0,462	53,9	0,589	22%
40	-5	3,0	2,0	40	13,9	0,581	42,7	0,486	20%
40	-5	3,0	2,0	30	14,3	0,331	28,3	0,314	5%
40	-5	3,0	2,0	20	13,7	0,151	16,8	0,184	18%
40	-5	3,0	2,0	10	14,0	0,066	7,8	0,087	24%
40	-5	3,0	1,5	80	12,5	0,404	35,6	0,380	6%
40	-5	3,0	1,5	40	12,9	0,328	27,7	0,298	10%
40	-5	2,5	3,0	80	18,7	1,274	96,0	1,164	9%
40	-5	2,5	3,0	40	18,1	0,786	66,1	0,793	1%

Wind tunnel & spray system					PDI		flow rate		Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	MVD	LWC	mean water mass flow rate	LWC	$ E_{MVD,i} $
m s ⁻¹	°C	bar	bar	%	µm	g m ⁻³	g s ⁻¹	g m ⁻³	-
40	-5	2,5	2,0	80	16,6	0,694	65,9	0,768	10%
40	-5	2,5	2,0	40	17,0	0,466	42,4	0,498	7%
40	-5	2,0	3,0	100	24,9	1,104	110,7	1,490	26%
40	-5	2,0	3,0	90	25,1	1,353	106,3	1,435	6%
40	-5	2,0	3,0	80	24,4	1,156	103,2	1,376	16%
40	-5	2,0	3,0	70	24,8	0,952	95,1	1,278	25%
40	-5	2,0	3,0	60	24,5	1,319	86,1	1,151	15%
40	-5	2,0	3,0	50	24,9	1,422	82,3	1,107	28%
40	-5	2,0	3,0	40	23,7	0,856	69,9	0,923	7%
40	-5	2,0	3,0	30	23,7	0,506	44,6	0,589	14%
40	-5	2,0	3,0	20	22,4	0,326	26,1	0,338	4%
40	-5	2,0	3,0	10	23,4	0,186	11,7	0,153	21%
40	-5	2,0	2,2	20	20,2	0,371	25,7	0,311	19%
40	-5	2,0	2,1	40	20,7	0,647	60,8	0,764	15%
40	-5	2,0	2,0	100	23,1	0,939	94,0	1,323	29%
40	-5	2,0	2,0	90	22,4	0,746	78,3	1,013	26%
40	-5	2,0	2,0	80	22,1	1,299	80,3	1,064	22%
40	-5	2,0	2,0	70	22,5	1,000	73,7	0,955	5%
40	-5	2,0	2,0	60	21,3	0,756	81,7	1,037	27%
40	-5	2,0	2,0	50	22,2	0,870	69,8	0,899	3%
40	-5	2,0	2,0	40	22,2	0,588	55,9	0,748	21%
40	-5	2,0	2,0	30	22,4	0,425	35,6	0,460	8%
40	-5	2,0	2,0	25	21,0	0,354	36,3	0,372	5%
40	-5	2,0	2,0	20	21,5	0,244	21,8	0,277	12%
40	-5	2,0	2,0	10	21,3	0,117	9,3	0,119	1%

Wind tunnel & spray system					PDI		flow rate		Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	MVD	LWC	mean water mass flow rate	LWC	$ E_{MVD,i} $
m s ⁻¹	°C	bar	bar	%	µm	g m ⁻³	g s ⁻¹	g m ⁻³	-
40	-5	2,0	1,9	80	20,0	0,785	86,3	1,072	27%
40	-5	2,0	1,8	100	20,3	0,964	92,1	1,149	16%
40	-5	1,7	1,8	80	27,0	0,888	75,6	1,044	15%
40	-5	1,5	3,5	40	33,0	1,288	80,3	1,211	6%
40	-5	1,5	3,0	40	33,3	1,511	75,0	1,135	33%
40	-5	1,5	2,5	80	34,0	1,117	88,6	1,353	17%
40	-5	1,5	2,5	40	31,9	1,149	67,4	1,002	15%
40	-5	1,5	2,1	20	30,3	0,332	26,7	0,389	15%
40	-5	1,5	2,0	100	31,3	1,854	90,2	1,330	39%
40	-5	1,5	2,0	90	32,5	1,508	85,8	1,285	17%
40	-5	1,5	2,0	80	31,9	0,979	77,6	1,153	15%
40	-5	1,5	2,0	70	32,8	1,132	79,7	1,198	5%
40	-5	1,5	2,0	50	31,1	0,882	77,2	1,135	22%
40	-5	1,5	2,0	40	31,1	0,748	60,4	0,888	16%
40	-5	1,5	2,0	30	29,3	0,573	41,7	0,598	4%
40	-5	1,5	2,0	10	28,8	0,246	10,6	0,151	63%
40	-5	1,5	1,9	60	31,0	0,774	76,7	1,125	31%
40	-5	1,5	1,8	80	30,5	1,008	80,7	1,176	14%
40	-5	1,5	1,7	100	30,5	1,466	86,9	1,266	16%
40	-5	1,5	1,7	20	31,7	0,361	24,7	0,366	1%
40	-5	1,5	1,6	40	31,1	0,667	53,2	0,781	15%
40	-5	1,5	1,5	100	28,8	1,797	77,1	1,098	64%
40	-5	1,5	1,5	90	29,5	0,849	71,4	1,026	17%
40	-5	1,5	1,5	80	30,2	1,029	63,9	0,928	11%
40	-5	1,5	1,5	70	30,4	0,791	67,0	0,975	19%

Wind tunnel & spray system					PDI		flow rate		Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	MVD	LWC	mean water mass flow rate	LWC	$ E_{MVD,i} $
$m s^{-1}$	$^{\circ}C$	bar	bar	%	μm	$g m^{-3}$	$g s^{-1}$	$g m^{-3}$	-
40	-5	1,5	1,5	60	30,6	0,926	74,6	1,089	15%
40	-5	1,5	1,5	50	30,8	0,704	59,1	0,865	19%
40	-5	1,5	1,5	40	29,2	0,744	45,1	0,646	15%
40	-5	1,5	1,5	38	32,0	0,744	49,1	0,797	7%
40	-5	1,5	1,5	10	29,6	0,129	8,7	0,126	3%
40	-5	1,5	1,4	80	29,4	0,912	79,5	1,142	20%
40	-5	1,3	3,0	10	47,0	0,387	13,3	0,238	63%
40	-5	1,3	2,0	20	39,2	0,386	24,0	0,391	1%
40	-5	1,3	1,9	40	39,8	0,707	58,5	0,957	26%
40	-5	1,3	1,8	60	38,9	0,829	78,5	1,272	35%
40	-5	1,3	1,7	80	37,8	0,912	75,4	1,207	24%
40	-5	1,3	1,6	100	39,3	1,168	79,8	1,299	10%
39	-5	1,3	3,0	20	53,0	0,830	33,2	0,554	50%
38	-5	1,3	1,5	20	40,0	0,438	23,9	0,411	7%
30	-5	4,6	1,5	100	8,6	0,072	9,4	0,115	37%
30	-5	4,5	1,8	30	9,3	0,205	14,8	0,183	12%
30	-5	4,5	1,7	40	8,8	0,192	14,6	0,179	7%
30	-5	4,5	1,6	60	9,0	0,165	15,5	0,191	14%
30	-5	4,5	1,5	100	9,0	0,723	19,3	0,238	204%
30	-5	4,5	1,5	80	8,9	0,130	6,6	0,080	62%
30	-5	4,1	1,5	100	9,2	0,191	17,9	0,222	14%
30	-5	4,0	2,0	20	10,5	0,309	19,1	0,246	26%
30	-5	4,0	1,8	40	10,3	0,470	29,5	0,377	24%
30	-5	4,0	1,6	60	9,8	0,295	24,9	0,313	6%
30	-5	4,0	1,5	80	9,6	0,469	19,2	0,240	95%

Wind tunnel & spray system					PDI		flow rate		Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	MVD	LWC	mean water mass flow rate	LWC	$ E_{MVD,i} $
$m s^{-1}$	$^{\circ}C$	bar	bar	%	μm	$g m^{-3}$	$g s^{-1}$	$g m^{-3}$	-
30	-5	3,0	2,5	19	14,1	0,533	27,7	0,394	35%
30	-5	3,0	2,4	40	14,1	1,021	64,7	0,908	12%
30	-5	3,0	2,3	60	14,7	1,232	79,9	1,135	8%
30	-5	3,0	2,2	80	14,3	1,183	80,5	1,135	4%
30	-5	3,0	2,0	100	14,1	1,097	78,6	1,104	1%
30	-5	2,0	2,2	20	21,0	0,639	29,4	0,473	35%
30	-5	2,0	2,1	40	21,3	1,086	68,0	1,097	1%
30	-5	2,0	2,0	60	21,8	1,488	83,2	1,354	10%
30	-5	2,0	1,9	80	21,5	1,504	88,6	1,433	5%
30	-5	2,0	1,8	100	21,1	1,526	92,6	1,487	3%
30	-5	1,5	1,6	40	30,0	0,973	50,2	0,923	5%
30	-5	1,3	3,2	15	56,0	1,255	28,5	0,739	70%
30	-5	1,3	3,0	20	53,0	1,390	29,9	0,686	103%
30	-5	2,0	2,2	20	20,0	0,639	25,5	0,324	97%
20	-5	5,0	4,0	100	11,0	1,365	102,2	1,906	28%
20	-5	5,0	4,0	80	10,7	1,218	98,5	1,823	33%
20	-5	5,0	3,0	100	9,4	1,225	70,5	1,259	3%
20	-5	5,0	3,0	80	8,9	2,207	66,0	1,159	90%
20	-5	5,0	2,5	100	8,3	0,796	45,1	0,778	2%
20	-5	4,5	1,8	30	9,7	0,367	18,1	0,325	13%
20	-5	4,0	1,8	40	10,6	0,492	24,9	0,460	7%
20	-5	2,5	2,6	10	17,9	0,476	14,6	0,286	67%
20	-5	1,5	1,6	40	31,3	1,399	47,0	1,260	11%
20	-5	1,3	3,4	10	53,0	1,245	20,5	0,760	64%
20	-5	1,3	3,0	20	53,0	2,396	31,4	0,982	144%

Wind tunnel & spray system					PDI		flow rate		Relative error
tunnel velocity	temperature	air pressure	water pressure	duty cycle	MVD	LWC	mean water mass flow rate	LWC	$ E_{MVD,i} $
m s ⁻¹	°C	bar	bar	%	µm	g m ⁻³	g s ⁻¹	g m ⁻³	-
10	-5	4,5	1,8	30	9,5	0,706	14,6	0,442	60%
10	-5	4,0	1,8	40	11,1	1,103	24,9	0,787	40%
10	-5	3,0	2,7	5	13,3	0,725	7,5	0,241	201%
10	-5	1,5	1,6	40	31,6	2,797	47,3	2,150	30%
10	-5	1,3	3,6	5	45,0	0,906	10,3	0,544	67%

Mean absolute value of the relative error: $|E_{rotCyl-WFR}| = \frac{1}{37} \sum \frac{|LWC_{rotCyl} - LWC_{WFR}|}{LWC_{WFR}} = 24\%$

Standard deviation of the mean relative error: $\sqrt{\frac{\sum (|E_{LWC,i}| - |E_{rotCyl-WFR}|)^2}{37-1}} = 28\%$

Test Matrix LWC Comparison RCT – Flow Rate

Wind tunnel & spray system					RCT			flow rate			Relative error
tunnel velocity	temperature*	air pressure	water pressure	duty cycle	date	starting time	LWC	MVD (from PDI)	mean water mass flow rate	LWC water flow rate	$ E_{LWC,i} $
$m s^{-1}$	$^{\circ}C$	bar	bar	%	-	-	$g m^{-3}$	μm	$g s^{-1}$	$g m^{-3}$	-
40	<-18	4,0	2,0	30	01.06.2018	08:50:00	0,013	10	19	0,195	93,35%
40	<-18	4,0	1,7	40	04.07.2018	15:09:00	0,031	10	22	0,218	85,81%
40	<-18	3,0	2,5	30	03.07.2018	15:34:00	0,430	14	45	0,503	14,51%
40	<-18	3,0	2,5	20	03.07.2018	17:56:00	0,260	14	32	0,352	26,08%
40	<-18	3,0	2,0	100	05.07.2018	13:49:00	0,862	14	80	0,981	12,13%
40	<-18	3,0	2,0	40	04.07.2018	15:49:00	0,592	14	53	0,647	8,50%
40	<-18	2,0	2,2	20	29.05.2018	11:33:00	0,366	20	24	0,275	33,09%
40	<-18	2,0	2,0	100	05.07.2018	13:33:00	1,350	23	107	1,590	15,09%
40	<-18	2,0	2,0	80	05.07.2018	13:04:00	1,277	22	102	1,469	13,07%
40	<-18	2,0	2,0	40	05.07.2018	11:09:00	0,826	22	66	0,922	10,41%
40	<-18	2,0	2,0	25	05.07.2018	10:58:00	0,437	21	36	0,372	17,47%
40	<-18	1,8	3,0	20	03.07.2018	18:29:00	0,590	26	37	0,479	23,17%
40	<-18	1,5	1,7	20	04.07.2018	09:59:00	0,412	32	25	0,374	10,24%
40	<-18	1,5	1,5	38	31.05.2018	15:22:00	0,967	32	49	0,797	21,33%
40	<-18	1,3	3,0	10	04.07.2018	10:44:00	0,364	47	13	0,238	52,94%
40	<-18	1,3	2,7	20	05.07.2018	08:59:00	0,577	50	23	0,364	58,52%
39	<-18	1,3	3,0	20	31.05.2018	17:16:00	0,727	53	33	0,554	31,23%
38	<-18	2,0	2,2	80	01.06.2018	11:08:00	1,585	20	115	1,588	0,19%
38	<-18	1,3	1,5	20	29.05.2018	11:09:00	0,558	40	24	0,411	35,77%
37	<-18	2,0	2,2	50	29.05.2018	14:33:00	1,370	20	115	1,704	19,60%
36	<-18	2,0	2,2	100	29.05.2018	15:27:00	1,745	21	111	1,820	4,12%

Wind tunnel & spray system					RCT			flow rate			Relative error
tunnel velocity	temperature*	air pressure	water pressure	duty cycle	date	starting time	LWC	MVD (from PDI)	mean water mass flow rate	LWC water flow rate	$ E_{LWC,i} $
$m s^{-1}$	$^{\circ}C$	bar	bar	%	-	-	$g m^{-3}$	μm	$g s^{-1}$	$g m^{-3}$	-
30	<-18	3,0	2,6	15	03.07.2018	14:53:00	0,312	14	21	0,306	1,96%
30	<-18	2,0	2,3	15	03.07.2018	14:15:00	0,426	23	23	0,407	4,67%
30	<-18	1,3	3,2	15	04.07.2018	11:27:00	0,753	56	28	0,739	1,89%
30	<-18	1,3	3,0	20	31.05.2018	18:31:00	0,954	53	30	0,686	39,07%
30	<-18	2,0	2,2	20	29.05.2018	16:38:00	0,448	20	26	0,324	38,27%
20	<-18	3,0	2,7	10	03.07.2018	11:55:00	0,247	14	14	0,260	5,00%
20	<-18	2,0	2,4	10	03.07.2018	13:49:00	0,365	22	15	0,311	17,36%
20	<-18	1,3	3,4	10	04.07.2018	12:11:00	0,718	53	21	0,760	5,53%
20	<-18	1,3	3,0	20	31.05.2018	18:59:00	1,274	53	31	0,982	29,74%
20	<-18	2,0	2,2	20	29.05.2018	17:08:00	0,588	20	25	0,464	26,72%
19	<-18	3,0	2,5	30	03.07.2018	17:31:00	0,628	14	37	0,707	11,17%
10	<-18	3,0	2,7	5	03.07.2018	10:13:00	0,173	13	8	0,241	28,22%
10	<-18	2,0	2,5	5	03.07.2018	10:58:00	0,395	20	9	0,323	22,29%
10	<-18	2,0	2,2	20	31.05.2018	18:12:00	0,947	20	25	0,907	4,41%
10	<-18	1,3	3,6	5	04.07.2018	09:24:00	0,441	45	10	0,544	18,93%
10	<-18	1,3	3,0	20	31.05.2018	19:19:00	1,858	53	33	1,708	8,78%

$$\text{Mean absolute value of the relative error: } |E_{rotCyl-WFR}| = \frac{1}{37} \sum \frac{|LWC_{rotCyl} - LWC_{WFR}|}{LWC_{WFR}} = 22,9\%$$

$$\text{Standard deviation of the mean relative error: } \sqrt{\frac{\sum (|E_{LWC,i}| - |E_{rotCyl-WFR}|)^2}{37-1}} = 21,3\%$$

Results of repetitive measurements

temper- ature	velocity	air pressure	water pressure	duty Cycle	MVD	number of repetitions	mean LWC	coefficient of variation
°C	m s ⁻¹	bar	bar	%	µm	-	g m ⁻³	%
-17	40	2,0	2,2	20	20	13	0,355	8%
-19	40	1,5	1,5	38	32	8	0,962	4%
-19	40	1,3	3,0	20	60	7	0,647	11%
-21	40	1,5	1,7	20	33	4	0,424	5%
-21	40	1,8	3,0	20	26	3	0,588	7%
-19	40	3,0	2,5	20	14	3	0,272	7%
-18	33	3,0	2,5	30	14	3	0,521	22%
-18	20	3,0	2,7	10	14	3	0,256	13%
-17	40	4,0	2,0	20	11	2	0,013	4%
-24	40	1,3	3,0	10	60	2	0,364	3%
-20	40	1,3	2,7	20	50	2	0,533	9%
-20	38	2,0	2,2	80	20	2	1,658	7%
-18	30	3,0	2,6	15	14	2	0,293	8%
-18	30	2,0	2,3	15	23	2	0,419	5%
-23	30	1,3	3,2	15	60	2	0,749	5%
-20	20	1,3	3,4	10	60	2	0,716	10%
-18	20	2,0	2,4	10	22	2	0,366	3%
-17	10	3,0	2,7	5	14	2	0,174	0%
-17	10	2,0	2,5	5	20	2	0,321	12%
-23	10	1,3	3,6	5	46	2	0,443	19%
-24	10	1,3	3,0	20	60	2	1,766	8%
-19	10	2,0	2,2	20	20	2	0,949	1%
Mean coefficient of variation:								8%

Test Matrix LWC Comparison FCDP – Flow Rate

Wind tunnel & spray system					FCDP				Water flow rate		
tunnel velocity	temperature*	air pressure	water pressure	duty cycle	date	starting time	LWC	Number Density	MVD (from PDI)	mean water mass flow rate	LWC water flow rate
m/s	°C	bar	bar	%	-	-	g/m ³	1/cm ³	µm	g/s	g/m ³
40	-5	1,6	1,4	100	04.08.2017	17:45:00	1,567	850	27	86	1,202
40	-5	1,5	2,1	20	04.08.2017	17:49:00	0,581	330	30	21	0,303
40	-5	1,5	2,0	40	04.08.2017	17:53:15	1,413	570	31	63	0,927
40	-5	1,5	1,9	60	04.08.2017	17:56:47	1,506	660	31	78	1,145
40	-5	1,5	1,8	80	04.08.2017	18:00:34	1,220	670	31	77	1,126
40	-5	1,5	1,7	100	04.08.2017	18:04:09	1,157	710	30	82	1,190
40	-5	1,5	1,7	20	04.08.2017	17:30:56	0,849	320	32	24	0,356
40	-5	1,5	1,6	40	04.08.2017	17:34:00	1,560	590	31	61	0,902
40	-5	1,5	1,5	60	04.08.2017	17:38:00	1,707	660	31	74	1,078
40	-5	1,5	1,4	80	04.08.2017	17:42:00	1,651	700	30	78	1,130
40	-5	1,3	3,1	20	04.08.2017	19:19:51	0,290	170	43		
40	-5	1,3	3,0	40	04.08.2017	19:23:30	0,567	350	44		
40	-5	1,3	2,9	60	04.08.2017	19:27:07	0,668	420	46		
40	-5	1,3	2,9	20	04.08.2017	19:01:55	0,498	150	47		
40	-5	1,3	2,8	80	04.08.2017	19:30:42	0,668	420	48		
40	-5	1,3	2,8	40	04.08.2017	19:05:28	1,051	320	46		
40	-5	1,3	2,7	100	04.08.2017	19:34:48	0,638	410	49		
40	-5	1,3	2,7	60	04.08.2017	19:09:15	1,051	380	46		
40	-5	1,3	2,6	80	04.08.2017	19:12:37	1,106	430	46		
40	-5	1,3	2,5	100	04.08.2017	19:16:12	0,957	430	45		
40	-5	1,3	2,0	20	04.08.2017	18:08:00	0,273	160	39	24	0,391
40	-5	1,3	1,9	40	04.08.2017	18:12:36	0,521	320	40	58	0,957
40	-5	1,3	1,8	60	04.08.2017	18:16:19	0,604	380	39	78	1,272
40	-5	1,3	1,7	80	04.08.2017	18:20:07	0,651	390	38	75	1,207
40	-5	1,3	1,6	100	04.08.2017	18:23:57	0,695	420	39	80	1,299

Wind tunnel & spray system					FCDP				Water flow rate		
tunnel velocity	temperature*	air pressure	water pressure	duty cycle	date	starting time	LWC	Number Density	MVD (from PDI)	mean water mass flow rate	LWC water flow rate
m/s	°C	bar	bar	%	-	-	g/m ³	1/cm ³	µm	g/s	g/m ³
30	-5	4,5	1,7	40	04.08.2017	15:37:44	0,503	1860	9	14	0,172
30	-5	4,5	1,6	60	04.08.2017	15:40:53	0,482	1720	9	22	0,266
30	-5	4,5	1,5	80	04.08.2017	15:44:48	0,204	760	9	6	0,070
30	-5	4,5	1,5	80	04.08.2017	15:44:48	0,204	760	9	7	0,080
30	-5	4,1	1,5	100	04.08.2017	16:07:24	0,552	1800	9	19	0,235
30	-5	4,0	2,0	20	04.08.2017	15:52:38	0,498	1510	10	20	0,250
30	-5	4,0	1,8	40	04.08.2017	15:56:11	0,846	2270	10	31	0,399
30	-5	4,0	1,6	60	04.08.2017	16:00:13	0,760	2180	10	26	0,331
30	-5	4,0	1,5	80	04.08.2017	16:03:50	0,635	1930	10	23	0,289
30	-5	3,0	2,5	20	04.08.2017	16:11:40	0,777	1370	14	30	0,427
30	-5	3,0	2,4	40	04.08.2017	16:15:40	1,235	1990	14	70	0,980
30	-5	3,0	2,3	60	04.08.2017	16:20:00	1,202	2010	15	79	1,128
30	-5	3,0	2,2	80	04.08.2017	16:24:00	1,180	2000	14	78	1,100
30	-5	3,0	2,0	100	04.08.2017	16:27:00	1,155	2010	14	75	1,056
30	-5	2,0	2,2	20	04.08.2017	16:31:52	0,944	890	21	31	0,502
30	-5	2,0	2,1	40	04.08.2017	16:35:44	1,569	1420	21	69	1,113
30	-5	2,0	2,0	60	04.08.2017	16:39:38	1,578	1500	22	80	1,305
30	-5	2,0	1,9	80	04.08.2017	16:43:26	1,572	1500	21	87	1,404
30	-5	2,0	1,8	100	04.08.2017	16:47:16	1,424	1500	21	92	1,471

Grey marked tests have not been evaluated for the LWC comparison because the full droplet size spectrum includes a large portion of droplets bigger than the maximum detectable droplet size of the FCDP.

Results of repetitive measurements

temper- ature	velocity	air pressure	water pressure	duty cycle	mean LWC	coefficient of variation
°C	m s ⁻¹	bar	bar	%	g m ⁻³	%
-5	40	4	1,8	40	0,592	4%
-5	40	1,5	1,6	40	1,173	40%
-5	40	1,3	3,1	20	0,396	18%
-5	40	1,3	2,9	60	0,780	4%
-5	40	1,3	1,9	40	0,652	13%
mean coefficients of variation:					16%	