

Authors' response

Dear Referees,

Thank you for your comments to improve the manuscript.

We have addressed your points and made the following changes to the manuscript.

We believe that the manuscript is greatly improved and is now ready for publication in AMT.

Thank you.

Best regards,

Michael Rösch and Dan Cziczo

## **Referee 2:**

***„The manuscript keeps insinuating a “low cost” nebulizer (e.g. L44).. but does not provide any cost reference neither for the competition nor for the actual set-up. In terms of competition, depending on the particle range of the aerosols that are actually being generated, medical nebulizers are «100\$ with the actual disposable nebulizer being 3\$. Your 3D printed ones are not that cheap as they 1) require a 5K printer 2) the raw plastic material and 3)in your set-up a brass nozzle at 10\$.. Therefore it would be critical to have a more nuanced discussion. Also the commercial (expensive) devices might have a much better performance (see next point).“***

We added the material price to print one PROTeGE plus the price for the brass nozzle to the manuscript for reference. In Addition, there are online print services that can 3D print parts and most universities now have fabrication labs or in-house 3D printing capabilities.

„The cost to produce one PROTeGE is around ~\$2.50 depending on the type of resin and the percentage of scaffolding used. The commercial brass nozzle costs <\$10, for a total PROTeGE cost under \$15. For users with no access to a 3D printer, it is also possible to upload the .stl file for PROTeGE (provided at no cost at <https://www.thingiverse.com/thing:4444498>) to an online print service. Pictures of

PROTeGE and post processing details for the instrument are also provided on the data repository.“

**„The data analysis of the particles generated is very superficial. Only focus is on number concentrations generated (again context of commercial and alternative systems is nonexistent). There is no significant discussion in the manuscript on the actual distributions generated and their stability. Number concentrations is one aspect but what about distributions. Also the “heatmaps” provided the distributions are very confined to a small area and no effort was made to quantitatively analyze that data... e.g. how does the mode of the distribution changes over time.. or does not? What is the broadness of the distribution? any quantitative distribution metric and how this relates to commercial systems or applications.“**

Thank you for your detailed comment.

Both aspects particle number concentrations and the corresponding size distributions are described in the manuscript through the heat maps. One could also derive the broadness of the size distribution and how it changes over time from there. We performed an additional experiment using a SEMS instrument to detect the generated PNSD in the size range of 10 nm to 1000 nm. A comparison to other commercial systems is beyond the scope of this study as we are limited by instrumentation.

We changed the paragraph in the manuscript as follows:

„A time-series measurement of 420 seconds was performed for each of the four PSL samples. The obtained PNSDs showed particle number concentrations of  $\sim 10,000 \text{ cm}^{-3}$  for  $0.75 \mu\text{m}$  PSL particles,  $\sim 1000 \text{ cm}^{-3}$  for  $1.5 \mu\text{m}$  PSL particles,  $\sim 800 \text{ cm}^{-3}$  for  $2.0 \mu\text{m}$  PSL particles to  $\sim 100 \text{ cm}^{-3}$  for  $5.0 \mu\text{m}$  PSL particles (Fig. 3). All four investigated PSL samples showed a narrow PNSD except the  $5.0 \mu\text{m}$  PSL sample where a fraction of sub-micrometer particles was detected (Fig. 3d). This fraction of particles likely originates from the solution matrix in which the PSLs are suspended. Overall the generated PNSDs were stable over their measured period of time while only the  $1.5 \mu\text{m}$  PSL sample showed a slight decrease. These data show that the curved design of the chamber enables PROTeGE to disperse PSL particles with diameter up to 5.0 micrometers.“

**„Related the PSL “calibrations” seem disconnected to what can be achieved with the salt solutions?“**

The PSL measurements/calibrations are essential for most end users. Our measurements show that PROTeGE can be used for multiple types of particles including the generation of PSL particles.

**„All experiments except the comparison were done with the brass nozzle? This is stated a little bit as an aside given that the whole paper makes it sound as if the whole nebulizer was 3D printed when in fact the most critical part (nozzle) was not.. but it was brass and purchased. One wonders why if the conclusion of figure 5 is that they are equivalent? Could you comment on this?“**

Both nozzle types generate the same width of the size distribution with the only difference in their particle number concentration for certain bin sizes.

Please see the changes we made in the manuscript based on your next comment.

**„For the very least the discussion on figure 5 needs to be extended... Saying that they are similar is not true, there is a lot of difference (y axis is log) and it does matter.“**

We extended the discussion on Figure 5 and added the following paragraph to the manuscript:

“The generated total particle number concentration with the printed orifice was ~4,500 cm<sup>-3</sup> versus ~2,400 cm<sup>-3</sup> for the brass nozzle with minimal difference in PNSDs shape. The printed nozzle exhibited a broader shoulder from 0.3 µm to 0.5 µm with the higher particle number concentrations than the brass nozzle. The latter showed a decline with the highest particle number concentration at 0.3 µm leveling out to 1.0 µm. Overall, the width of both PNSDs ranged from 0.3 µm to 1.0 µm (Fig. 5).”

**„Abstract: would be more informative to actually say what that the comparison with the brass orifice revealed rather than just say it was done. Results should be summarized in the abstract not just written what was done.“**

We added the following paragraphs to the abstract:

“A comparison of a 3D printed 0.5 mm orifice against a commercially available 0.5 mm brass orifice using the same ammonium sulfate solution was also performed. The particle number concentration generated with the printed orifice was higher, by ~2x, than the particle number concentration generated with the brass orifice.”

"For the different concentrated ammonium sulfate solutions particle number concentrations from ~14,000 cm<sup>-3</sup> for 0.1 g L<sup>-1</sup> to 7,600 cm<sup>-3</sup> for 5.0 g L<sup>-1</sup> were measured."

***„On the other hand the typical last paragraph of the introduction, where one typically says that will eb discussed in the manuscript is missing...Then again the first paragraph of the results (L112-115) is actually just that: saying what will be done...and this would belong as last paragraph of the intro. This is just an odd way of writing a manuscript.“***

We added a new paragraph to the end of the introduction:

"In the following two sections we describe how PROTeGE is designed and manufactured. The experimental setup and performance tests using different PSL and ammonium sulfate solutions is discussed. Three types of experiments were conducted to demonstrate the performance of PROTeGE: (1) an aerosol production experiment using four different sizes of PSL's, (Polysciences Inc., NIST traceable) ranging from 0.75 to 5.0 µm, (2) experiments where different concentrations of ammonium sulfate solutions were dispersed and monitored over time with an optical particle sizer (OPS, Model 3330, TSI Inc.) and for the 0.6 g L<sup>-1</sup> also with a Scanning Electrical Mobility Spectrometer (SEMS, BMI Inc.), (3) an experiment comparing the performance of a printed 0.5 mm orifice to a 0.5 mm commercial brass orifice using the same ammonium sulfate solution of 0.6 g L<sup>-1</sup>."

***„L21 Please use comma for thousands to ease reading“***

We changed all notations to comma for thousands for ease reading throughout the manuscript.

***„Please be precise on the brass nozzle and diameter used. The cat number for McMaster-Carr shows orifices in inch (of various sizes)... Does the 0.5mm mean you used the 0.02 inch one?“***

We provide information on the orifice in the manuscript and also on the part number to select the correct one as follows:

„The 0.5 mm orifice used in the comparison is a commercially available brass nozzle (Part Number 2943T887, McMaster-Carr) that is threaded into the pressurized air inlet of PROTeGE (Fig. 1d).“

**„L122 use center dot as multiplication sign not a star“**

We changed the multiplication sign to center dot throughout the manuscript.

**„L120: please explain double distilled deionized.? Millipore systems do not distill? Where does tht DDI come from?“**

Thank you for the indication. We corrected the term DDI in the manuscript according to the manufacturer as follows:

„Destilled De-ionized (DDI)“

**„L149 “will be sufficient enough” can you be more quantitative.. what do you consider sufficient?“**

We changed Line 149 to a more quantitative statement as follows:

„Overall, the generated particle number concentrations for the different tested ammonium sulfate solutions are high enough ( $> 1,000 \text{ cm}^{-3}$ ) to operate particle size selection instruments downstream of PROTeGE, e.g. a differential mobility analyzer (DMA), assuming ~10% of the introduced particles are selected as monodisperse aerosol particles.“

**„Figure 1: what is the rationale behind the numbering.. why does (2) jump to pane d“**

This was due to the numbering of the logical steps of the components of PROTeGE.

We changed the numbering in Fig. 1.

**„Figure 4 there is no discussion at all why the time scale varies so much between panels a,b and c... Please discuss in the text what you want to show going from a) 1800sec to b) 450 sec to c) 20000 sec“**

This was due to the fact that some measurements were performed followed by each other without creating a new logging file on the OPS.

We did now separate all measurements and took only the first 420 seconds of all measurements and created new figures (Fig. 3 and Fig. 4) with equal length timescales.

For the comparison experiment between the printed and the brass orifice the data was measured in a single file to show the differences. Therefore, we also created a new figure (Fig. 5).

**„Figure 4 and 5. I suggest that the top panels with number concentrations should present the same extent of range... To have a visual meaning“**

We adjusted the top panels of Fig. 4 and Fig. 5 to the same range.

**„Right now the resolution is so poor in the figures that the legend of the top panels (fig4 and 5) are hardly readable.“**

We adjusted the resolution for all figures in the manuscript to be better readable.

### **Referee 3:**

**„Is the technique improved over existing technology? The authors do not show data for  $D < 300 \text{ nm}$ , the authors do not quantify the total number concentration of drops or typical droplet size produced, the authors do not quantify the composition of particles produced, the range of solvents that can be used (I guess some organic solvents might be problematic), the degree to which mixed particles (e.g. ammonium sulfate + organic compounds and preserving the ratio in the atomized particles) can be generated from aqueous stock solutions, or the minimum aerosol diameter that can be generated, which is determined by cleanliness of the solvent and drop size, the maximum time the instrument can run unattended, the degree of drying that is needed, and the range of pressure and flow rates at which the atomizer produces particles. All of these are critical to evaluate if such a device is suitable for application in laboratory research, including for instrument calibration. Thus, the answer to the question is no.“**

Due to the OPS detection limit of  $0.3 \mu\text{m}$  we were not able to show data  $D < 300\text{nm}$ .

PROTeGE can run as long as there is solution to be dispensable and an air flow is present to disperse the droplets. The maximum time is limited by the lifetime of the dryer downstream to ensure that the generated droplets are dried correctly.

The flow rate of PROTeGE is stated in the text.

**„Experiments including an SMPS to measure the full size distribution should be included. Experiments should systematically characterize the output for a much wider range of inputs (solvent, composition, solute weight percent) and analyze the results to infer drop number size and concentration. Ideally composition measurements of mixed particles are included to test for artifacts such as dissolution of the plastic and faithful representation of stock solution (e.g. adsorption of organics while the liquid passes through the atomizer).“**

We regret that this is beyond the scope of this study. Certain solvents are not suitable for 3D printed parts. Since those are material specific the end user needs to make sure based on the MSDS to ensure proper functionality of the printed part. As suggested, we performed a measurement with a SEMS to obtain particle number size distributions from 10 nm to 1000 nm for the generated ammonium sulphate solution of 0.6 g/L. We added the following paragraph to the manuscript followed by plot showing the average particle number size distribution of the generated ammonium sulfate particles (Fig. 4d).

“For the 0.6 g L<sup>-1</sup> solution an additional experiment using the SEMS instrument was performed. The size range was scanned from 10 nm to 1000 nm with a resolution of 60 bins and a sampling rate of 1 second per bin. The maximum particle number concentration was found at ~50 nm with ~40,000 cm<sup>-3</sup>. The average PNSD for a 420 second sampling period is shown in Fig. 4d. During the experiment the generated size distributions did not change over time. Combining the obtained size distributions from SEMS and OPS shows that PROTeGE is capable of generating particles as small as 10 nm up to 2.4 µm based on the dispersed ammonium sulfate solution.”

**„Does the work increase accessibility of the technology? The paper states that the authors were able to build this device, which is nice. However, there is no benefit to the community if it is not widely shared on how to do that. The authors state that STL files are “available upon request”. This is insufficient. In my experience, share requests are often conveniently ignored or come with strings attached by the sharer. They present an unnecessary barrier. Thus, the answer to the question is no.“**

Please see related comments by Referee #2: The .stl files are on a public repository for free download: <https://www.thingiverse.com/thing:4444498>

On the repository there are also pictures of PROTeGE and post processing details, this is now stated in the paper. Since the discussion paper was posted on AMTD we had more than 10 requests for the .stl file and already 16 downloads of the files from the repository.

The download statistics of the .stl file can also be found in the repository.

*„If the authors want this instrument to be a low cost, self-manufacture replacement, the authors should provide the STL files as a supplement or make them available in an archived repository. The paper should include an itemized list what people need to purchase, including part numbers and cost estimates. A photo of the instrument would be a good addition to the paper. The printing could be performed by a 3D printing service and ordered with a couple of clicks. Quotes can be generated from online vendors within minutes (e.g. sculpeo) by uploading the STL file. Assembly instruction should be provided. Comments about alternative print materials should be made and the precision that is needed for printing (is 100 micron the limit?). All of the designed parts should be made available using open licenses, e.g. the CERN open hardware license (<https://www.ohwr.org/cernohl>). Such a device would be very welcome and provide a platform where anyone could build, try, and characterize the output for themselves. In this case, the likely performance limitations and/or deficits in characterization raised earlier are less critical“*

Please see the answers above, this information is now provided and has been used by >10 readers of the discussion paper.

*„Irrespective the route the authors wish to pursue, the authors need to comment on the technical limitations above in the revised paper. The authors should also compare cost and performance to other techniques. For example, the TSI atomizer is \$3k and very stable, and very well characterized. Small medical nebulizers (pressure and ultrasonic) can be obtained for < \$30 and are more than sufficient to generate good aerosol for shorter duration (5-15 min). It might be useful to juxtapose data from these side-by-side and discuss use cases for the printed design.“*

Please see the response to referee #2 first comment on the production cost for a PROTeGE generator. We did run an exhaust time experiment with an 80ml ammonium sulphate solution where after ~10 hours the nitrogen supply did run out even before the solution did run out. Therefore, we conclude that PROTeGE is also capable of long-term production of aerosol.

We believe we have detailed the production and instrument performance within the paper so that potential users can compare this to other options.

We in no way suggest PROTeGE should replace either high-end TSI atomizers nor nebulizers but, as has been demonstrated by multiple groups now using this technology, some researchers will find it the best solution for their needs.

## 1 Aqueous particle generation with a 3D printed nebulizer

2 Michael Rösch<sup>1,2</sup>, and Daniel J. Cziczo<sup>1,3,4</sup>

<sup>3</sup> <sup>4</sup> <sup>1</sup>Department of Earth, Atmospheric & Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.

5 Cambridge, 02139, USA

<sup>6</sup> Department of Environmental Systems Science, Eidgenössische Technische Hochschule -  
<sup>7</sup> ETH, Zurich, 8092, Switzerland.

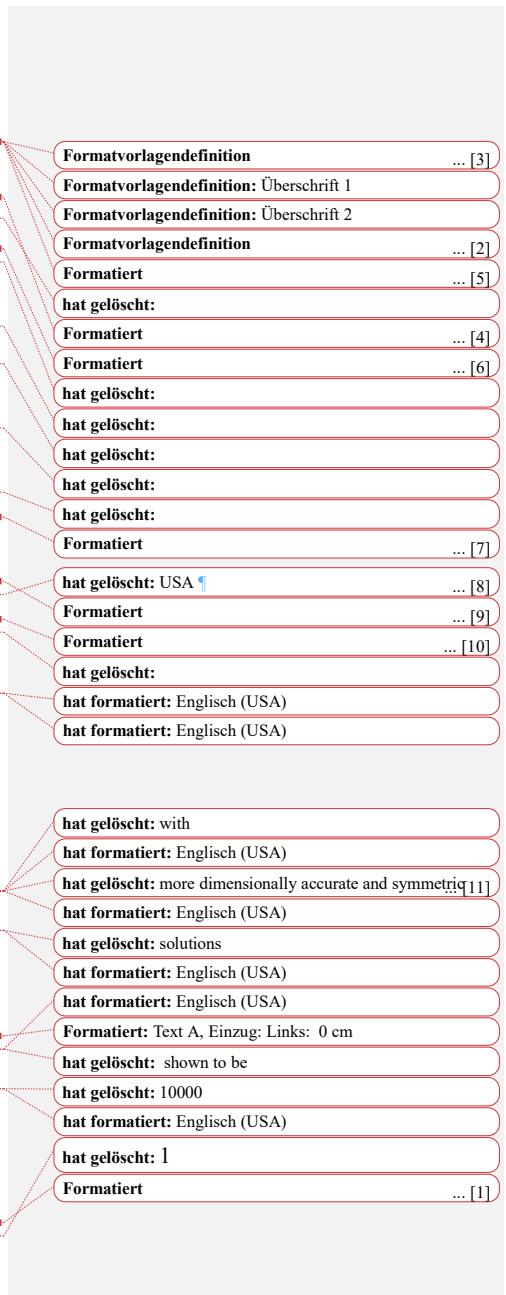
<sup>8</sup> <sup>3</sup>Department of Civil Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology,  
<sup>9</sup> Cambridge, 02139, USA.

<sup>4</sup>Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Purdue University, West Lafayette, IN 47907 USA

**Correspondence to:** Michael Roesch (michael.roesch@env.ethz.ch)

**Abstract.** In this study, we describe the design and testing of a high output stability, constant liquid feed nebulizer using the Venturi principle to generate liquid particles from solutions. This atomizer, the PRinted drOpleT Generator (PROTeGE) was manufactured using stereolithography (SLA) printing. Different concentrations of ammonium sulfate solutions were used to characterize the size and number concentration of the generated particles. A comparison of a 3D printed 0.5 mm orifice against a commercially available 0.5 mm brass orifice using the same ammonium sulfate solution was also performed. The particle number concentration generated with the printed orifice was higher, by ~2x, than the particle number concentration generated with the brass orifice.

PROTeGE is also capable of dispersing polystyrene latex spheres (PSLs) for calibration purposes. The particle number concentrations obtained in this study ranged from  $\sim 10,000 \text{ cm}^{-3}$  for  $0.75 \mu\text{m}$  to  $\sim 100 \text{ cm}^{-3}$  for  $5.0 \mu\text{m}$  PSL particles with a dependence on the concentration of the dispersed solution. For the different concentrated ammonium sulfate solutions particle



44 number concentrations from ~14,000 cm<sup>-3</sup> for 0.1 g L<sup>-1</sup> to 7,600 cm<sup>-3</sup> for 5.0 g L<sup>-1</sup> were  
45 measured. An additional measurement with a Scanning Electrical Mobility System (SEMS)  
46 was performed for the 0.6 g L<sup>-1</sup> solution to measure particles in the size range of 10 nm to 1000  
47 nm. The generated particle number size distributions showed a maximum at 50 nm with particle  
48 number concentrations of ~40,000 cm<sup>-3</sup>. PROTeGE is easy to manufacture and operate, low in  
49 maintenance, and cost-effective for laboratory and field generation of particles from aqueous  
50 media in a size range of 10 nm to 5000 nm.

hat formatiert: Englisch (USA)

## 52 1 Introduction

53  
54 Reliable and cost-effective particle generation methods are necessary for applications  
55 where a well-defined mono- or polydisperse particle concentrations and size is required. High  
56 concentrations of monodisperse aerosol particles (>10<sup>6</sup> particles cm<sup>-3</sup>) in the nm to µm diameter  
57 size range can be created by instruments utilizing vapor condensation and electrospray  
58 techniques. Similar concentrations and size ranges of aerosol particles can be produced from  
59 bulk solutions using a variety of instruments such as vibrating-orifice aerosol generators and  
60 ultrasonic nebulizers. Another common technique used to generate liquid aerosol particles is  
61 by pressurized-air nebulization. In this method, compressed air is utilized to shatter a solution  
62 into small aerosol droplets with a specific size distribution (Swiderska-Kowalczyk et al., 1997).  
63 Pressurized-air nebulizers have been used in numerous studies which require the generation of  
64 aqueous aerosol particles. For example, Wang et al. (2019) used a nebulizer to create  
65 ammonium sulfate seed particles in cloud droplet activation studies. Kong et al. (2018) created  
66 aqueous aerosol particles used to study deliquescence and ice nucleation in sea salt particles.  
67 These are two of many studies focused on the influence of aerosol particles in the Earth's  
68 atmosphere. Pressurized-air nebulizers are also used in pharmaceutical applications to produce

hat gelöscht: .

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: →

hat formatiert: Englisch (USA)

Formatiert: Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand:  
einfach

Formatiert: Überschrift A, Einzug: Links: 0 cm, Abstand  
Nach: 0 Pt.

hat gelöscht:

hat gelöscht:

Formatiert: Text A, Zeilenabstand: einfach

hat formatiert: Englisch (USA)

Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm

hat gelöscht: /cm<sup>3</sup>

hat formatiert: Englisch (USA)

hat formatiert: Schriftart: Symbol, Englisch (USA)

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: SwiderskaKowalczyk

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: ¶

hat formatiert: Schriftart: (Standard) Arial Unicode MS,  
Arabisch

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: 2

Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand:  
einfach

76 nanometer-sized drug particles with a specific size distribution (Eerikainen et al., 2003). It is  
77 clear that the pressurized-air nebulizer is a ubiquitous instrument for studies or applications  
78 requiring aqueous aerosol particle generation. Although effective, commercial particle  
79 generation instruments may not be economically feasible for all research and teaching  
80 institutions wishing to perform these types of experiments.

81 Advances in 3D printing have made it possible to rapidly fabricate high-resolution ( $\mu$ m-scale) devices. Stereolithography (SLA), a form of 3D printing technology, creates objects in  
82 layers through the use of photopolymerization. In conjunction with Computer Aided Design  
83 (CAD), or Computer Aided Manufacturing (CAM) software, an ultraviolet (UV) laser is used  
84 to trace a pre-programmed design on to the surface of a photopolymer contained in a vat. The  
85 resin is photochemically solidified and forms a single layer of the desired object. The Form 2  
86 SLA 3D printer (Formlabs, Inc.), used in this work, is capable of creating objects with a layer  
87 thickness of 25  $\mu$ m.

88 The Form 2 was previously used to fabricate PRIZE, a compact fluidized bed aerosol generator (Roesch et al. 2017). It was found that PRIZE was able to successfully disperse aerosol particles from dry material without creating artifact particles (particles generated from the material used to fabricate the generator). The impetus for this study, similar to the study presented in Roesch et al. 2017, was to fabricate a low-cost, constant pressure nebulizer, using a SLA 3D printer, PROTeGE. In the following two sections we describe how PROTeGE is designed and manufactured. The experimental setup and performance tests using different PSL and ammonium sulfate solutions is discussed. Three types of experiments were conducted to demonstrate the performance of PROTeGE: (1) an aerosol production experiment using four different sizes of PSL's, (Polysciences Inc., NIST traceable) ranging from 0.75 to 5.0  $\mu$ m, (2) experiments where different concentrations of ammonium sulfate solutions were dispersed and monitored over time with an optical particle sizer (OPS, Model 3330, TSI Inc.) and for the 0.6 g L<sup>-1</sup> also with a Scanning Electrical Mobility Spectrometer (SEMS, BMI Inc.), (3) an

hat gelöscht:

hat formatiert: Schriftart: Symbol, Englisch (USA)

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht:

Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm, Erste Zeile: 1.27 cm, Abstand Nach: 0 Pt.

hat gelöscht: ¶

hat gelöscht:

hat gelöscht: 3

Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

106 experiment comparing the performance of a printed 0.5 mm orifice to a 0.5 mm commercial  
107 brass orifice using the same ammonium sulfate solution of 0.6 g L<sup>-1</sup>

hat formatiert: Schriftart: (Standard) Times, 13 Pt., Englisch (USA)

## 110 2 Methods

### 111 2.1. Design

112 PROTeGE was designed using a computer aided design (CAD) program (Solidworks 2015,  
113 Dassault Systems). There are two versions: the first is printed as a single part including a 0.5  
114 mm diameter orifice (Fig. 1), while the second, featuring the same inner and outer dimensions,  
115 has an exchangeable nozzle to use various machined orifice diameters. The 0.5mm (0.02 in)  
116 orifice used in the comparison is a commercially available brass nozzle (Part Number  
117 2943T887, McMaster-Carr) that is threaded into the pressurized air inlet of PROTeGE (Fig.  
118 1d). This modular feature enables rapid exchange of nozzles with a different orifice diameter  
119 using the same printed unit. In contrast, the exclusively printed version of PROTeGE has a  
120 fixed orifice diameter for continuous and simple operation. Both versions are based on the  
121 generator designs of May, 1973 and Liu & Lee, 1975. Unlike the repurposing of existing  
122 nebulizers built for other uses, such as medical applications (Reisner et al., 2001), PROTeGE  
123 was designed specifically for research applications e.g. instrument calibration and particle  
124 generation, similar to other custom-built nebulizers (Wex et al., 2015). In contrast to other  
125 generation systems, which are typically machined, PROTeGE is made from photopolymer resin  
126 (e.g. FLGPCL02, Formlabs Inc.), weights only ~50 g, and can therefore feature smaller overall  
127 dimensions.

Formatiert: Überschrift 2 A, Einzug: Links: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt.

hat gelöscht:

hat gelöscht:

hat formatiert: Schriftart: Fett

hat formatiert: Schriftart: Fett

Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: ¶

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: this study

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: within

hat gelöscht: 6183T63

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: screwed

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: Both versions include a printed GL45 bottle cap so that the aqueous material bottle can to directly attached to the nebulizer body. ...

hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht:

hat gelöscht: 4

Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

143 dripping directly back into the feed bottle. Aqueous particles exit the chamber through the 9.53  
144 mm (0.375 in) aerosol outlet at the top. The overall dimensions of PROTeGE are 17 x 45 x 65  
145 mm (width, depth, height). Designed CAD files were converted to style files (.stl) to be readable  
146 by the 3D printer software (PreForm, Formlabs Inc.).

147

## 148 **2.2. Manufacturing**

149 The manufacturing and post-processing of the parts was performed as described by Roesch et  
150 al., 2017 using the same 3D printer software, clear photopolymer resin (FLGPCL02, Formlabs  
151 Inc.) and 3D SLA printer (Form 2, Formlabs Inc.). Modifications were made to the dimensions  
152 of the default contact points of the printing scaffolding; in this study scaffolding was reduced  
153 to 0.45 mm due to the overall smaller geometry of PROTeGE (i.e., lower mass needing to be  
154 supported). Using a resolution of 100 µm, eight complete PROTeGEs can be printed on the  
155 build surface at the same time, taking ~8 h.

156 A custom UV box was used to post-cure the printed parts. Inside the box, the printed parts were  
157 placed on a slow moving turntable to be illuminated equally from all sides by 28 high-power  
158 LEDs emitting at 405 nm. It should be noted that the curing time depends on the size and wall  
159 thickness of the printed part; one hour per mm wall thickness is suggested. The post-curing  
160 time for PROTeGE was ~1 h. For more detailed information see the manufacturing section in  
161 Roesch et al., 2017. The cost to produce one PROTeGE is around ~\$2.50 depending on the type  
162 of resin and the percentage of scaffolding used. The commercial brass nozzle costs <\$10, so a  
163 total PROTeGE costs under \$15. For users with no access to a 3D printer, it is also possible to  
164 upload the .stl file for PROTeGE (provided at <https://www.thingiverse.com/thing:4444498>) to  
165 an online print service. Pictures of PROTeGE and post processing details for the instrument are  
166 also provided on the data repository.

167

## 168 **2.3. Experimental setup**

hat formatiert: Schriftart: Lucida Grande, Englisch (USA)  
hat formatiert: Schriftart: Zapf Dingbats, Englisch (USA)  
hat formatiert: Englisch (USA)  
hat gelöscht:  
hat gelöscht:  
Formatiert: Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach  
hat formatiert: Schriftart: Fett  
Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm  
hat gelöscht:  
hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht:

hat gelöscht:  
Feldfunktion geändert  
hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)  
hat gelöscht:  
hat formatiert: Englisch (USA)  
Formatiert: Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach  
hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)  
hat formatiert: Ohne, Schriftart: Fett  
Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm  
hat gelöscht:  
hat formatiert: Ohne  
hat gelöscht: 5  
Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

176 A schematic of the experimental setup including the relevant flow rates used in this study is  
177 shown in Fig. 2. Dry, filtered, pressurized air was used as the carrier gas. The input flow rate  
178 of  $1.7 \text{ L min}^{-1}$  (at 35 psi) into PROTeGE was controlled by a rotameter (MR3A, Omega  
179 Engineering). A high velocity jet is created by the expansion of the pressurized air through the  
180 orifice. As a result, the pressure behind the orifice drops, the liquid is pulled upward from the  
181 feed bottle, and the high velocity jet disperses the liquid solution into droplets. Large droplets  
182 that are unable to follow the streamlines through the aerosol outlet are removed by impaction  
183 at the curved wall; these drip back as excess liquid into the feed bottle through a drain outlet at  
184 the bottom of PROTeGE. For these experiments, the droplets from the aerosol outlet were  
185 subsequently dried using a silica gel drier. Downstream, the flow of residuals (remaining solid  
186 cores of the droplets) was split into two flows. The first is sent to the OPS, to determine PNSDs,  
187 in the size range of 0.3 to  $10 \mu\text{m}$  and the remainder through a filter (IDN-4G, Parker) open to  
188 lab. Unless otherwise noted, all experiments presented here were performed using the brass  
189 nozzle with a 0.3 mm orifice and the previously stated pressures and flow rates.

### 190

### 191 3. Results

192 In this study three types of experiments were conducted: (1) an aerosol production experiment  
193 using four different sizes of PSL's, ranging from 0.75 to  $5.0 \mu\text{m}$ , (2) an application experiment  
194 where different concentrated ammonium sulfate solutions were dispersed and monitored over  
195 time with the OPS and for the  $0.6 \text{ g L}^{-1}$  also with the SEMS, (3) a comparison experiment on  
196 the performance of a printed 0.5 mm orifice versus a 0.5 mm commercial brass orifice using  
197 the same ammonium sulfate solution. For all experiments the PNSDs of the droplet residuals  
198 (i.e., after drying) were measured with the OPS.

199 Prior to each experiment, PROTeGE was immersed in a jar with Destilled De-ionized (DDI)  
200  $18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$  Millipore water and sonicated for 10 minutes in an ultrasonic bath to ensure clean  
201 inner surfaces. Afterwards, PROTeGE was dried using pressurized nitrogen and connected to

hat formatiert	... [13]
hat gelöscht: an optical particle sizer (	
hat gelöscht: Model 3330, TSI Inc.)	
hat gelöscht: particle number size distributions (PNSD)	
hat formatiert	... [14]
hat formatiert	... [15]
hat formatiert	... [16]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [17]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [18]
Formatiert	... [19]
hat formatiert	... [20]
hat formatiert	... [21]
Formatiert	... [22]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [23]
hat formatiert	... [24]
hat gelöscht: to demonstrate the performance of PROTeGE:	
hat formatiert	... [25]
hat gelöscht: An	
hat formatiert	... [26]
hat gelöscht: polystyrene latex spheres (	
hat formatiert	... [27]
hat gelöscht: Polysciences Inc., NIST traceable)	
hat formatiert	... [28]
hat gelöscht: .	
hat formatiert	... [29]
hat gelöscht: An	
hat formatiert	... [30]
hat gelöscht: .	
hat formatiert	... [31]
hat gelöscht: An	
hat formatiert	... [32]
hat gelöscht: comparing	
hat formatiert	... [33]
hat gelöscht: to	
hat formatiert	... [34]
hat gelöscht: an	
hat formatiert	... [35]
hat gelöscht: PNSD	
hat formatiert	... [36]
hat gelöscht: was	
hat formatiert	... [37]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [38]
hat formatiert	... [39]
hat gelöscht: double distilled deionized	
hat formatiert	... [40]
hat gelöscht: *	
hat formatiert	... [41]

246 the setup. Each of the four samples was prepared in a separate 100 ml glass bottle, using 80 ml  
247 of DDI water plus multiple drops of the respective PSL solution (0.75  $\mu\text{m}$ , 1.5  $\mu\text{m}$ , 2.0  $\mu\text{m}$ , 5.0  
248  $\mu\text{m}$ ). The generated number concentration of PSL particles strongly depends on the  
249 concentration of the prepared PSL sample. Therefore, the higher the concentration of the  
250 solution, the higher the generated particle number concentration. A time-series measurement of  
251 420 seconds was performed for each of the four PSL samples. The obtained PNSDs showed  
252 particle number concentrations of  $\sim 10,000 \text{ cm}^{-3}$  for 0.75  $\mu\text{m}$  PSL particles,  $\sim 1,000 \text{ cm}^{-3}$  for 1.5  
253  $\mu\text{m}$  PSL particles,  $\sim 800 \text{ cm}^{-3}$  for 2.0  $\mu\text{m}$  PSL particles to  $\sim 100 \text{ cm}^{-3}$  for 5.0  $\mu\text{m}$  PSL particles  
254 (Fig. 3). All four investigated PSL samples showed a narrow PNSD, except the 5.0  $\mu\text{m}$  PSL  
255 sample where a fraction of sub-micrometer particles was detected (Fig. 3d). This fraction of  
256 particles likely originates from the solution matrix in which the PSLs are suspended. Overall  
257 the generated PNSDs were stable over their measured period of time while only the 1.5  $\mu\text{m}$   
258 PSL sample showed a slight decrease. These data show that the curved design of the chamber  
259 enables PROTeGE to disperse PSL particles with diameter up to 5.0 micrometer.  
260 In addition to the PSL measurements, ammonium sulfate experiments with different solution  
261 concentrations ( $0.1 \text{ g L}^{-1}$ ,  $0.6 \text{ g L}^{-1}$ ,  $5.0 \text{ g L}^{-1}$ ) and an experiment to determine the performance  
262 of the printed 0.5 mm orifice versus the 0.5 mm brass orifice using the same ammonium sulfate  
263 solution of  $0.6 \text{ g L}^{-1}$  were conducted. The three solutions were again prepared in separate 100  
264 ml glass bottles using DDI  $18.2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$  Millipore water. The cleaning procedure of PROTeGE  
265 was identical to the one described above for the PSL experiments.  
266 For the lowest concentration of aqueous ammonium sulfate solution ( $0.1 \text{ g L}^{-1}$ ) the maximum  
267 particle number concentration of  $\sim 14,000 \text{ cm}^{-3}$  was observed in the 0.3  $\mu\text{m}$  bin of the OPS (Fig.  
268 4a). The overall width of the generated PNSDs ranged from 0.3  $\mu\text{m}$  up to 0.6  $\mu\text{m}$ . Compared to  
269 the higher concentrated solutions of  $0.6 \text{ g L}^{-1}$  and  $5.0 \text{ g L}^{-1}$  this is rather narrow. Dispersing the  
270  $0.6 \text{ g L}^{-1}$  solution of ammonium sulfate generated PNSDs in the range of 0.3  $\mu\text{m}$  up to 1.5  $\mu\text{m}$   
271 with a maximum particle number concentration of  $\sim 8,200 \text{ cm}^{-3}$  in the 0.5  $\mu\text{m}$  detection bin of

- hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)
- hat gelöscht: PNSD
- hat formatiert ... [42]
- hat gelöscht: from ~10000
- hat formatiert ... [43]
- hat gelöscht: PNSD's
- hat formatiert ... [44]
- hat gelöscht: in.
- hat formatiert ... [45]
  
- hat gelöscht: makes
- hat formatiert ... [46]
- hat gelöscht: capable of dispersing
- hat gelöscht: at least
- hat formatiert ... [48]
- hat gelöscht: micrometers.
- hat formatiert ... [47]
- hat formatiert ... [49]
- hat formatiert ... [50]
- hat gelöscht:
- hat formatiert ... [51]
- hat gelöscht: 14000
- hat formatiert ... [52]
  
- hat gelöscht: 8200
- hat formatiert ... [53]
- hat gelöscht: 7
- Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

294 the OPS (Fig. 4b). For the highest concentration of  $5.0 \text{ g L}^{-1}$  the generated PNSDs ranged from  
295  $1.0 \mu\text{m}$  to  $2.4 \mu\text{m}$  with a maximum particle number concentration of  $\sim 7,600 \text{ cm}^{-3}$  (Fig. 4c).  
296 For the  $0.6 \text{ g L}^{-1}$  solution an additional experiment using the SEMS instrument was performed.  
297 The size range was scanned from  $10 \text{ nm}$  to  $1000 \text{ nm}$  with a resolution of 60 bins and a sampling  
298 rate of 1 second per bin. The maximum particle number concentration was found at  $\sim 50 \text{ nm}$   
299 with  $\sim 40,000 \text{ cm}^{-3}$ . The average PNSD for a 420 second sampling period is shown in Fig. 4d.  
300 During the experiment the generated size distributions did not change over time. Combining  
301 the obtained size distributions from SEMS and OPS shows that PROTeGE is capable of  
302 generating particles as small as  $10 \text{ nm}$  up to  $2.4 \mu\text{m}$  based on the dispersed ammonium sulfate  
303 solution.

304 Overall, the generated particle number concentrations for the different tested ammonium sulfate  
305 solutions are high enough ( $> 1,000 \text{ cm}^{-3}$ ) to operate particle size selection instruments  
306 downstream of PROTeGE, e.g. a differential mobility analyzer (DMA), assuming  $\sim 10\%$  of the  
307 introduced particles are selected as monodisperse aerosol particles.

308 In order to investigate the performance of an integrally printed  $0.5 \text{ mm}$  orifice versus the  
309 commercial brass nozzle the same  $0.6 \text{ g L}^{-1}$  ammonium sulfate solution was used. Visual  
310 observations of the printed  $0.5 \text{ mm}$  orifice showed that there were sometimes imperfections and  
311 asymmetries in the roundness of the printed orifice. It was therefore necessary to post-drill the  
312 printed orifice with a  $0.5 \text{ mm}$  bit by hand, which was done for the PROTeGE used in experiment  
313 described here. The generated particle number concentration with the printed orifice was  
314  $\sim 4,500 \text{ cm}^{-3}$  versus  $\sim 2,400 \text{ cm}^{-3}$  for the brass nozzle, with minimal difference in PNSD shape. The  
315 printed nozzle exhibited a broader shoulder from  $0.3 \mu\text{m}$  to  $0.5 \mu\text{m}$  with higher particle number  
316 concentrations than the brass nozzle. The latter showed a decline with the highest particle  
317 number concentration at  $0.3 \mu\text{m}$  leveling out to  $1.0 \mu\text{m}$ . Overall, the width of both PNSDs  
318 ranged from  $0.3 \mu\text{m}$  to  $1.0 \mu\text{m}$  (Fig. 5).

319

hat formatiert ... [54]

hat gelöscht: 7600  
hat formatiert ... [55]

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)  
hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)  
Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm  
hat gelöscht: will be sufficient  
hat formatiert ... [56]  
hat gelöscht:  
hat formatiert ... [57]  
hat gelöscht: and this  
hat formatiert ... [58]  
hat gelöscht: experiments  
hat formatiert ... [59]  
hat gelöscht: mean ...article number concentration with the  
printed orifice was  $\sim 4500 \dots$  ... [60]  
hat formatiert ... [61]  
hat gelöscht: 2400  
hat formatiert ... [62]  
hat gelöscht: . Both orifices generated similar PNSDs  
hat formatiert: Englisch (USA)  
hat gelöscht: their maximum  
hat formatiert ... [63]  
hat gelöscht:  $1.0 \mu\text{m}$  at largest (Fig. 5).  
hat formatiert: Englisch (USA)  
Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm, Abstand Nach: 0  
Pt.  
hat formatiert: Ohne, Farbe: Rot, Schriftfarbe: Rot, Englisch  
(USA)  
hat gelöscht: 8  
Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand:  
einfach

342 **4. Conclusion**

343 In this study, we described the design and the performance of a low-cost particle generator –  
344 PROTeGE. The experiments presented here show the PROTeGE capability for generating four  
345 different sizes of PSL particles between 0.75 and 5.0  $\mu\text{m}$  with resulting particle number  
346 concentrations between 100  $\text{cm}^{-3}$  and  $\sim 10,000 \text{ cm}^{-3}$ . This enables PROTeGE to be used as a  
347 simple and cost effective particle generation unit for calibration purposes. In addition, we show  
348 the results of experiments using different concentrations of ammonium sulfate solutions. The  
349 generated PNSDs ranged from  $10 \text{ nm}$  up to  $2.4 \mu\text{m}$ , based on the dispersed solution, with stable  
350 output concentrations demonstrating that particle size selection instruments can be used  
351 downstream of PROTeGE. Finally, we compared the performance of a commercially machined  
352 brass 0.5 mm orifice to a 3D printed 0.5 mm orifice. Both nozzles showed PNSDs ranging from  
353  $0.3 \mu\text{m}$  to  $1.0 \mu\text{m}$  with a broader shoulder for the printed nozzle between  $0.3 \mu\text{m}$  and  $0.5 \mu\text{m}$   
354 compared to the brass orifice. Also the total particle number concentration generated with the  
355 printed orifice was almost two times higher than the total particle number concentration  
356 generated with the brass orifice.

357 Due to the low cost of PROTeGE ( $\sim \$15$ , material costs), multiple generators can be used in  
358 parallel to reduce experimental time while running more samples.

359

360 Data availability: The .stl files for PROTeGE are available at  
361 <https://www.thingiverse.com/thing:4444498>.

362

363 Authors contribution: MR and DJC contributed both equally to the manuscript. The  
364 experiments were conducted by MR.

365

366 Competing interests: The authors declare that they have no conflict of interest.

367

hat formatiert	... [65]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [66]
hat formatiert	... [67]
hat gelöscht: 10000	
hat formatiert	... [68]
hat gelöscht: $0.3 \mu\text{m}$	
hat formatiert	... [69]
hat gelöscht: Both orifices performed well, while the mean	
hat formatiert	... [70]
hat formatiert	... [71]
Formatiert	... [72]
hat formatiert	... [73]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [74]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [75]
Formatiert	... [76]
hat formatiert	... [77]
hat formatiert	... [78]
Formatiert	... [79]
hat gelöscht: up on request.	
hat formatiert	... [80]
Feldfunktion geändert	... [81]
hat formatiert	... [82]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [83]
Formatiert	... [84]
hat formatiert	... [85]
Formatiert	... [86]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [87]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [88]
Formatiert	... [89]
hat formatiert	... [90]
Formatiert	... [91]
hat gelöscht:	
hat formatiert	... [92]
hat gelöscht: 1	
hat formatiert	... [93]
hat gelöscht: 9	
Formatiert	... [64]

397

398

399 **References**

400

401 Eerikainen, H., Watanabe, W., Kauppinen, E. I. and Ahonen, P. P: Aerosol flow reactor method  
402 for synthesis of drug nanoparticles, Euro. J. Pharma. and Biopharma., 55,3, 357-360, 2003

403

404 Kong, X., Wolf, M., Roesch, M., Thomson, E. S., Bartles-Rausch, T., Alpert, P. A., Ammann,  
405 M., Prisle, N. L., and Cziczo, D. J.: A continuous flow diffusion chamber study of sea salt  
406 particles acting as cloud nuclei: deliquescence and ice nucleation, Tellus B, 70,  
407 doi:10.1080/16000889.2018.1463806, 2018.

408

409 Liu, B. Y. H., and Lee, : An Aerosol Generator of High Stability, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 36,  
410 861–865, 1975.

411

412 May, K.R.: The Collusion Nebulizer: Description, Performance and Application, J. Aero. Sci.,  
413 4, 235–243, 1973.

414

415 Reisner, C., Katial, R. K., Bartelson, B. B., Buchmeir, A., Rosenwasser, L. J., Nelson, H. S.:  
416 Characterization of aerosol output from various nebulizer/compressor combinations, A. All.  
417 Asth. Immun. , 1081-1206, 86, 5, 566-574, 2001.

418

419 Roesch, M., Roesch, C., and Cziczo, D. J.: Dry particle generation with a 3-D printed fluidized  
420 bed generator, Atmos. Meas. Tech., 10, 1999–2007, 2017.

421

hat formatiert ... [96]

hat gelöscht:

Formatiert ... [97]

hat formatiert ... [98]

hat gelöscht:

Formatiert ... [99]

hat formatiert ... [100]

Formatiert ... [101]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [102]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [103]

hat formatiert ... [105]

Formatiert ... [104]

Formatiert ... [106]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [107]

hat gelöscht:

Formatiert ... [108]

Formatiert ... [109]

hat formatiert ... [110]

Formatiert ... [111]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [112]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [113]

Formatiert ... [114]

hat formatiert ... [115]

Formatiert ... [116]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [117]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [118]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [119]

Formatiert ... [120]

hat formatiert ... [121]

hat formatiert ... [122]

Formatiert ... [123]

hat gelöscht: ¶

hat formatiert ... [124]

hat gelöscht: ¶

hat formatiert ... [125]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [126]

hat gelöscht: → → → → ¶

hat formatiert ... [127]

Formatiert ... [128]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [129]

hat gelöscht:

hat formatiert ... [130]

456 Swiderska-Kowalczyk, M., Gomez, F. J., Martin, M.: Particle generation methods applied in  
457 large-scale experiments on aerosol behavior and source term studies, Inform. Tech. Cie., 819,  
458 1997.  
459  
460 Wex, H., Augustin-Bauditz, S., Boose, Y., Budke, C., Curtius, J., Diehl, K., Dreyer, A., Frank,  
461 F., Hartmann, S., Hiranuma, N., Jantsch, E., Kanji, Z. A., Kiselev, A., Koop, T., Möhler, O.,  
462 Niedermeier, D., Nillius, B., Rösch, M., Rose, D., Schmidt, C., Steinke, I., and Stratmann, F.:  
463 Intercomparing different devices for the investigation of ice nucleating particles using  
464 <sup>®</sup>  
465 Snomax as test substance, Atmos. Chem. Phys., 15, 1463–1485, 2015.  
466 Wang, J., Shilling, J. E., Liu, J., Zelenyuk, A., Bell, D. M., Petters, M. D., Thalman, R., Mei,  
467 F., Zaveri, R. and Zheng, G.: Cloud droplet activation of secondary organic aerosol is mainly  
468 controlled by molecular weight, not water solubility, Atmos. Chem. Phys. 19, 941–954, 2019.  
469

Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm

hat gelöscht:

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)

hat gelöscht:

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)

Formatiert: Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand:  
einfach

hat formatiert: Ohne, Deutsch (Schweiz)

Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm, Abstand Nach: 0  
Pt., Zeilenabstand: einfache

hat gelöscht: ¶

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)

hat verschoben (Einfügung) [1]

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)

hat verschoben (Einfügung) [2]

hat formatiert: Ohne, Farbe: Rot, Schriftfarbe: Rot, Englisch  
(USA)

hat gelöscht: ® ¶

... [134]

hat formatiert: Englisch (USA)

Formatiert

... [135]

hat nach oben verschoben [1]: Chem.

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)

hat gelöscht: ¶

hat formatiert: Englisch (USA)

hat nach oben verschoben [2]: Phys., 15, 1463–

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)

hat gelöscht: ¶

... [136]

hat formatiert: Englisch (USA)

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)

Formatiert: Text A, Einzug: Links: 0 cm

hat gelöscht:

hat formatiert: Ohne, Englisch (USA)

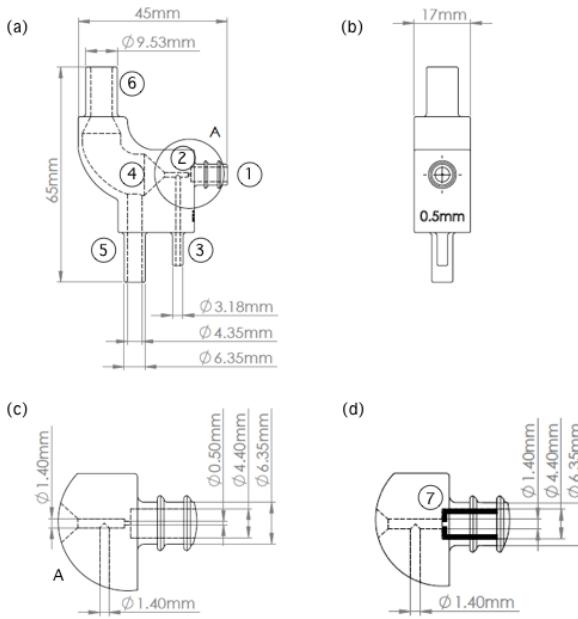
hat gelöscht: ¶

... [137]

hat gelöscht: 11

Formatiert

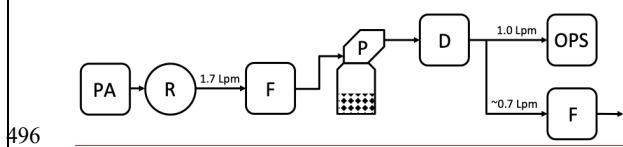
... [133]



490

491 **Figure 1:** Dimensioned drawings of PROTeGE: (a) side view; (b) front view; (c) detailed view of the inlet section with the  
 492 printed 0.5mm orifice; (d) detailed view of the inlet section with the exchangeable nozzle/orifice. PROTeGE consists of: (1) a  
 493 pressurized air inlet, (2) a printed 0.5mm orifice, (3) a liquid feed inlet, (4) a central impaction chamber, (5) the drain outlet,  
 494 (6) an aerosol outlet, and an optional (7) exchangeable orifice.

495



496  
 497  
 498  
 499

**Figure 2:** Schematic of the experimental setup used in this study. A dry pressurized air flow (PA) was passed through a rotameter (R) to control the flow rate and a filter (F) upstream of PROTeGE (P). Generated droplets were dried with silica gel (D) before the flow of particles was directed into an OPS with excess flow discarded through a filter (F).

**Formatiert:** Beschriftung, Einzug: Links: 0 cm, Rechts: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach  
**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett  
**hat gelöscht:**

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat gelöscht:** ¶

**hat formatiert:** Englisch (USA)

**hat formatiert:** Englisch (USA)

**Formatiert:** Beschriftung, Einzug: Links: 0 cm, Rechts: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

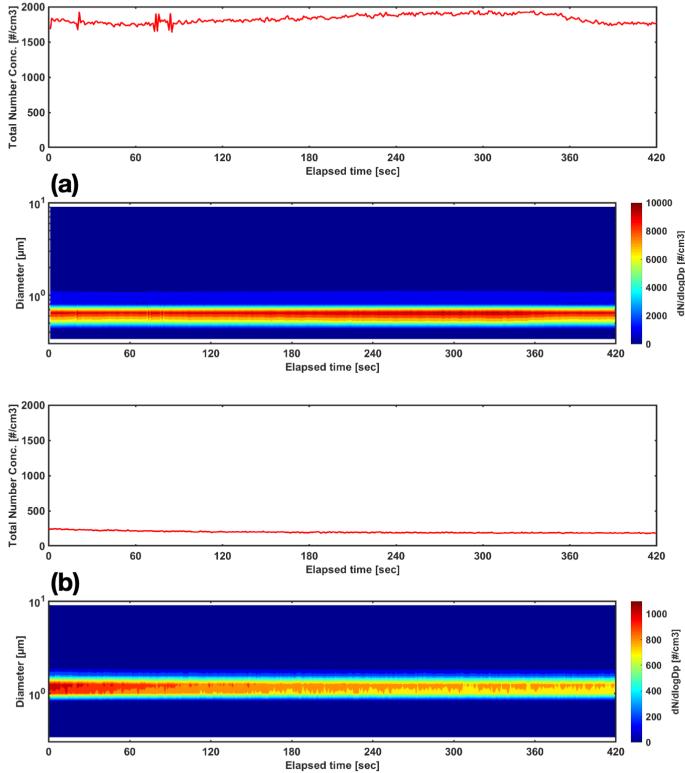
**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat gelöscht:**

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat gelöscht:** 12

**Formatiert:** Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach



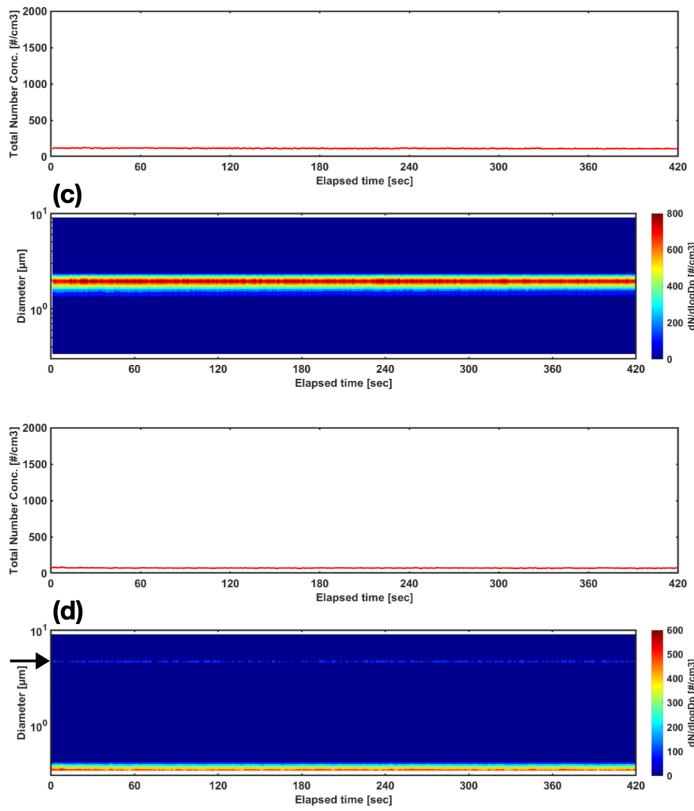
504  
505  
506  
507  
508  
509  
510

13

hat gelöscht: .....Abschnittswechsel (Nächste Seite).....  
<Objekt>228 → ↗  
<Objekt>228 → ↗  
229

hat formatiert: Englisch (USA)  
hat formatiert: Englisch (USA)

hat gelöscht: 13  
Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach



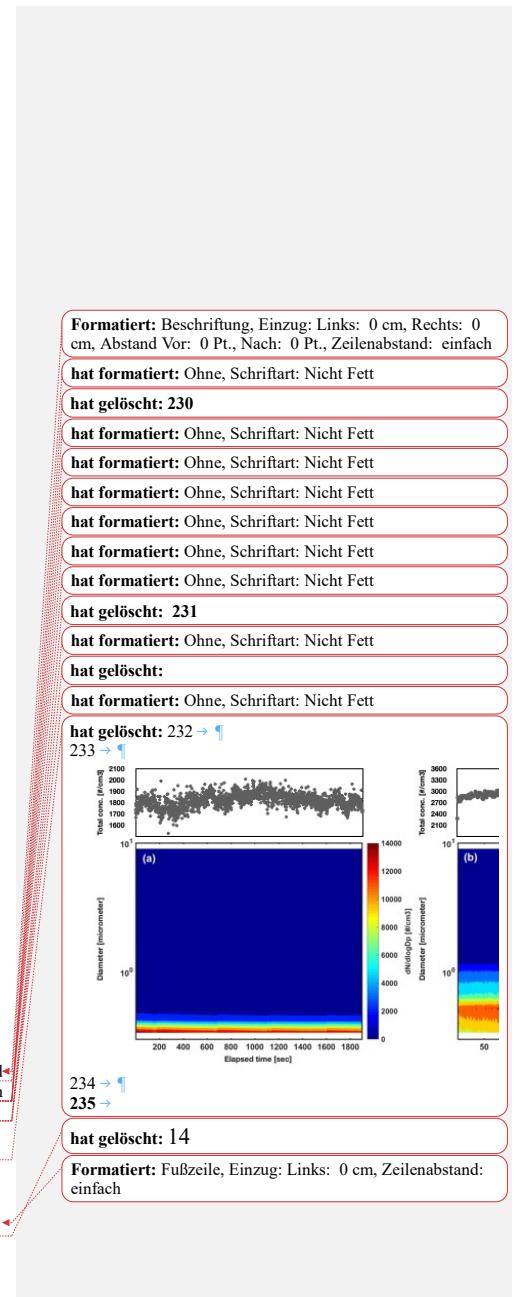
515

516

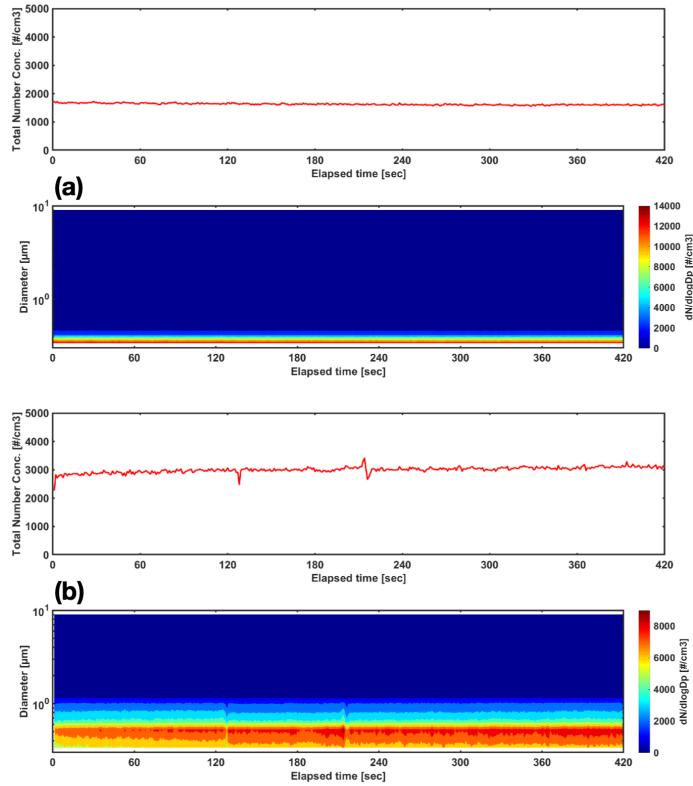
517

518 **Figure 3:** Total particle number concentrations and particle number size distributions as function of time for different sized  
 519 polystyrene latex spheres generated with PROTeGE and detected by the OPS: (a) 0.75  $\mu\text{m}$ ; (b) 1.5  $\mu\text{m}$ ; (c) 2.0  $\mu\text{m}$ ; (d) 5.0  $\mu\text{m}$   
 520 where the black arrow denotes the PSL size and the small particles represent atomized matrix material (see text for details).

521



530



531

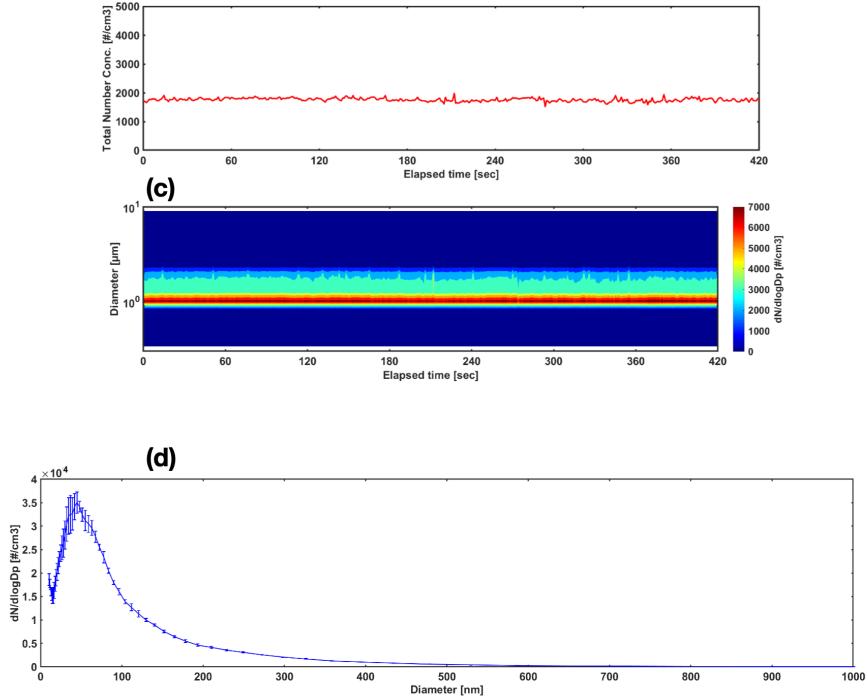
532

533

534

15

hat gelöscht: 15  
Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach



**Figure 4:** Total particle number concentrations and particle number size distributions as a function of time of aqueous ammonium sulfate particles; (a)  $0.1 \text{ g L}^{-1}$ ; (b)  $0.6 \text{ g L}^{-1}$ ; (c)  $5.0 \text{ g L}^{-1}$ ; (d) Average particle number size distribution from  $10 \text{ nm}$  to  $1000 \text{ nm}$  measured with the SEMS for aqueous ammonium sulfate particles of  $0.6 \text{ g L}^{-1}$ .

**hat formatiert:** Ohne

**hat gelöscht:** and of concentration

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**Formatiert:** Beschriftung, Einzug: Links: 0 cm, Rechts: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat gelöscht:** 236 →

**hat gelöscht:** .

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat formatiert:** Ohne

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat formatiert:** Ohne

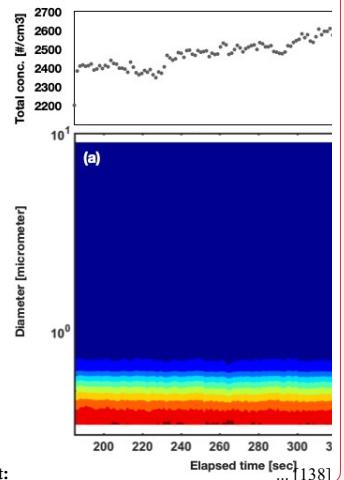
**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat formatiert:** Ohne

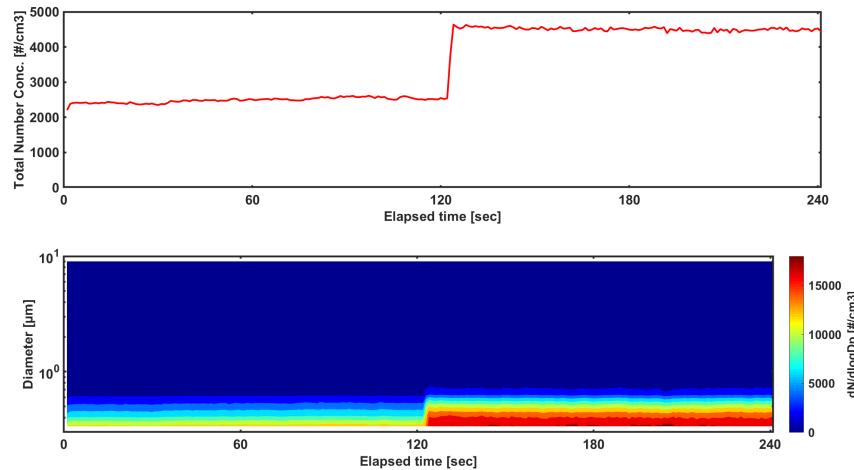
**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett

**hat formatiert:** Ohne, Schriftart: Nicht Fett



**hat gelöscht:** Elapsed time [sec] ... [138]  
**hat gelöscht:** 16  
**Formatiert:** Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand:  
einfach

549



550

551

552

553

554

555

556 **Figure 5:** Total particle number concentrations and particle number size distributions as a function of time **of aqueous ammonium sulfate particles at 0.6 g L<sup>-1</sup>: 0.5mm brass orifice, from 0-120 sec; 0.5mm printed orifice, from 120-240 sec.**

- hat formatiert: Ohne
- hat gelöscht: for
- Formatiert: Beschriftung, Einzug: Links: 0 cm, Rechts: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach
- hat formatiert: Ohne, Schriftart: Nicht Fett
- hat gelöscht: of aqueous ammonium
- hat formatiert: Ohne, Schriftart: Nicht Fett
- hat formatiert: Ohne, Schriftart: Nicht Fett
- hat gelöscht: 240
- hat formatiert: Ohne, Schriftart: Nicht Fett
- hat gelöscht: (a)
- hat formatiert: Ohne, Schriftart: Nicht Fett
- hat gelöscht: ; (b) 0.5mm brass orifice.
- hat gelöscht: 17
- Formatiert: Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

**Seite 13: [1] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

**Seite 1: [2] Formatvorlagendefinition** MROesch 15.10.20 10:05:00

Zeilenummer: Schriftart: 10 Pt., Schriftfarbe: Automatisch

**Seite 1: [3] Formatvorlagendefinition** MROesch 15.10.20 10:05:00

Standard: Schriftart: Schriftfarbe: Automatisch, Rahmen: : (Kein Rahmen), Links, Einzug: Links: 0 cm, Erste Zeile: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach, Rahmen: Oben: (Kein Rahmen), Unten: (Kein Rahmen), Links: (Kein Rahmen), Rechts: (Kei

**Seite 1: [4] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

MS title, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**Seite 1: [5] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:08:00

Links: 2.5 cm, Rechts: 2.5 cm, Oben: 2.5 cm, Unten: 2 cm, Breite: 20.99 cm, Höhe: 23.99 cm, Kopfzeilenabstand vom Rand: 0 cm, Fußzeilenabstand vom Rand: 1.3 cm, Nummerierung: Fortlaufend

**Seite 1: [6] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Authors, Einzug: Links: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**Seite 1: [7] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Affiliation, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

**Seite 1: [8] hat gelöscht** MROesch 15.10.20 10:05:00

**Seite 1: [9] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Affiliation, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**Seite 1: [10] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Correspondence, Einzug: Links: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**Seite 1: [11] hat gelöscht** MROesch 15.10.20 10:05:00

**Seite 13: [12] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

**Seite 6: [13] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 6: [14] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [14] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [15] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Englisch (USA)

Seite 6: [17] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [17] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [18] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [19] Formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

Seite 6: [20] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 6: [21] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Schriftart: Fett

Seite 6: [22] Formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Einzug: Links: 0 cm

Seite 6: [23] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne

Seite 6: [24] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 6: [25] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [25] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [26] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [26] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [27] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [27] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [27] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [27] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [28] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

**Seite 6: [29] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [30] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [30] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [31] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [31] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [32] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [32] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [33] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [33] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [34] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [34] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [34] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [35] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [35] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [36] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [36] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [37] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 6: [37] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Englisch (USA)

Seite 6: [39] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 6: [40] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [40] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [41] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 6: [41] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [42] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [42] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [43] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [43] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [43] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [44] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [44] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [44] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [45] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [45] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [46] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 7: [46] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

**Seite 7: [48] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [48] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [49] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [49] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [50] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 7: [50] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 7: [51] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [51] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [52] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [52] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [53] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 7: [53] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 8: [54] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 8: [54] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 8: [54] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 8: [54] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 8: [55] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

**Seite 8: [55] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

Englisch (USA)

Seite 8: [56] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 8: [57] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 8: [57] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 8: [58] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 8: [58] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 8: [59] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 8: [59] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 8: [59] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 8: [60] hat gelöscht MROesch 15.10.20 10:05:00

▪

▪

Seite 8: [60] hat gelöscht MROesch 15.10.20 10:05:00

▪

▪

Seite 8: [61] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

Seite 8: [61] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

Seite 8: [61] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

Seite 8: [62] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

Seite 8: [62] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

Seite 8: [62] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

Seite 8: [63] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Englisch (USA)

Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach

Seite 9: [65] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne

Seite 9: [66] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne

Seite 9: [67] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 9: [68] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 9: [68] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 9: [69] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 9: [69] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 9: [69] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 9: [70] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 9: [70] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 9: [71] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 9: [72] Formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Einzug: Links: 0 cm

Seite 9: [73] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 9: [74] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 9: [74] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 9: [75] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 9: [76] Formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

Seite 9: [77] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Seite 9: [80] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:07:00
Englisch (USA)		
Seite 9: [81] Ändert	Unknown	
Feldfunktion geändert		
Seite 9: [82] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00
Farbe: Rot, Englisch (USA)		
Seite 9: [83] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:07:00
Englisch (USA)		
Seite 9: [84] Formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00
Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach		
Seite 9: [85] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00
Farbe: Rot, Englisch (USA)		
Seite 9: [86] Formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00
Text A, Einzug: Links: 0 cm		
Seite 9: [87] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:07:00
Englisch (USA)		
Seite 9: [87] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:07:00
Englisch (USA)		
Seite 9: [88] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:07:00
Englisch (USA)		
Seite 9: [89] Formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00
Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach		
Seite 9: [90] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00
Farbe: Rot, Englisch (USA)		
Seite 9: [91] Formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00
Text A, Einzug: Links: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach		
Seite 9: [92] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:07:00
Englisch (USA)		
Seite 9: [92] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:07:00
Englisch (USA)		
Seite 9: [93] hat gelöscht	MROesch	15.10.20 10:05:00
Seite 9: [94] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:07:00
Englisch (USA)		
Seite 13: [95] Formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00
Fußzeile, Einzug: Links: 0 cm, Zeilenabstand: einfach		
Seite 10: [96] hat formatiert	MROesch	15.10.20 10:05:00

**Seite 10: [99] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**Seite 10: [100] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 10: [101] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Einzug: Links: 0 cm

**Seite 10: [102] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:06:00

Englisch (USA)

**Seite 10: [102] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:06:00

Englisch (USA)

**Seite 10: [103] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:06:00

Englisch (USA)

**Seite 10: [104] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**Seite 10: [105] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 10: [106] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Einzug: Links: 0 cm

**Seite 10: [107] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:06:00

Englisch (USA)

**Seite 10: [107] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:06:00

Englisch (USA)

**Seite 10: [108] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:06:00

Englisch (USA)

**Seite 10: [109] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

**Seite 10: [110] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

**Seite 10: [111] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Einzug: Links: 0 cm

**Seite 10: [112] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 10: [112] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

**Seite 10: [113] hat formatiert** MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Text A, Einzug: Links: 0 cm

Seite 10: [117] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 10: [117] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 10: [118] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 10: [118] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 10: [119] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 10: [120] Formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

Seite 10: [121] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 10: [122] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Ohne

Seite 10: [123] Formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Einzug: Links: 0 cm, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

Seite 10: [124] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 10: [125] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 10: [126] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 10: [127] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Ohne, Englisch (USA)

Seite 10: [128] Formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Einzug: Links: 0 cm

Seite 10: [129] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 10: [129] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 10: [130] hat formatiert MROesch 15.10.20 10:07:00

Englisch (USA)

Seite 10: [131] Formatiert MROesch 15.10.20 10:05:00

**Seite 11: [134] hat gelöscht** MROesch 15.10.20 10:05:00

.....  
▲  
**Seite 11: [135] Formatiert** MROesch 15.10.20 10:05:00

Text A, Abstand Nach: 0 Pt., Zeilenabstand: einfach

.....  
▲  
**Seite 11: [136] hat gelöscht** MROesch 15.10.20 10:05:00

.....  
▲  
**Seite 11: [137] hat gelöscht** MROesch 15.10.20 10:05:00

.....  
▲  
**Seite 16: [138] hat gelöscht** MROesch 15.10.20 10:05:00

.....  
▲