

Kontinuierliche Feinstaubmessung mit Fidas® Fly im Oktokopter

Das zählende Messverfahren

bast

Kolloquium

Luftqualität im Straßenwesen

2015

4.3. – 5.3.2015

in Bergisch Gladbach

Dipl.-Ing.(FH) Leander Mölter

Geschäftsführer der Palas® GmbH

Palas® GmbH, Karlsruhe, Germany, www.palas.de

Unsere Kernkompetenzen

- Filtertestsysteme*
- Aerosolspektrometersysteme*
- Feinstaubmonitorsysteme
- Nanopartikelmesstechnik
- Partikelerzeugungssysteme*
- Verdünnungssysteme*
- Reinraumpartikeltechnik
- Sonderentwicklungen
- Kalibriersysteme*
- Services
- Schulungen und Seminare

* *In diesen Produktgruppen ist Palas® Marktführer*

Verschiedene **Filterprüfstände von Palas®** können **im ZF³** im IUTA in Duisburg besichtigt werden.

Öffentliche Anerkennungen



- 1983** Für das Palas® Unternehmenskonzept erhielt Leander Mölter den 3. Preis im Wettbewerb „Machen Sie sich selbständig“ der Zeitschrift „Capital“
- 1986** Innovationspreis des Landes Baden-Württemberg für den Feststoffdispergierer RBG 1000
- 1998** Für das MFP-System erhielt Palas® den „Product Achievement Award“, Kategorie „Testing and Monitoring“ der Fachzeitschrift „Filtration & Separation“ in Atlantic City, USA
- 1999** Förderung durch das Land Baden-Württemberg (welas®-System)
- 2003** Innovationspreis des Landes Baden-Württemberg für das welas® System
- 2008** Verleihung der Ehrenplakette der VDI - Kommission Reinhaltung der Luft
- 2013** SEED & GROW Award der IHK-Technologiefabrik Karlsruhe

Kooperationspartner und Lizenzgeber: Hochschulen, Institute, Industrie

Ehrenamtliche Mitarbeit: VDI/DIN und ISO-Ausschüsse. Zirka **60 Patente!**

Neues aus unserem Hause



Eigentümer und Geschäftsführer der Palas® GmbH sind:

Dipl.-Ing.(FH) Leander Mölter

Dr.-Ing. Maximilian Weiß

Belegschaft:

2008 18 Festangestellte

2015 39 Festangestellte

Maßnahmen:

Lean Management Prozess, ISO 9001: 2008

Umsatzsteigerung:

2014 25% von 4 Mio auf 5 Mio

Diplomarbeiten im Hause Palas®:

Seit 1985 15 Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten

Ausbildungsbetrieb der IHK:

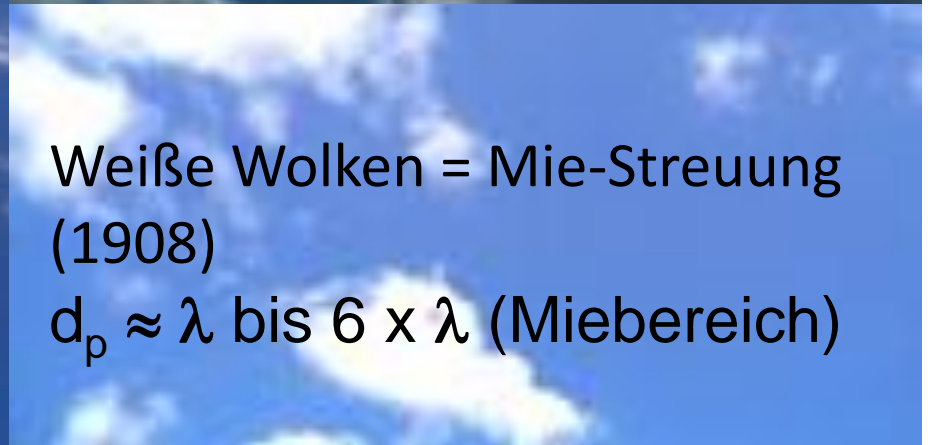
Seit 2005

Lichtstreuung in der Atmosphäre

Licht wird von Partikeln gestreut. **Lichtstreuung: Kombination aus Brechung, Beugung und Reflexion.** Optische Aerosolspektrometer detektieren das vom einzelnen Partikel oder Tröpfchen gestreute Licht.

Blauer Himmel = Rayleigh-Streuung (1871)

$$d_p \ll \lambda \quad I_{SC} = K \cdot \frac{d^6}{\lambda^4}$$



Weißer Wolken = Mie-Streuung (1908)

$$d_p \approx \lambda \text{ bis } 6 \times \lambda \text{ (Miebereich)}$$

Lichtstreuung an Zigarettenrauch

Zigarettenrauch blau



Rayleigh-Streuung

$d_p \ll \text{Lichtwellenlänge } \lambda$

$C_n > 10^{10} \text{ Partikel/cm}^3$

Partikelabstand $< 10 \mu\text{m}$

Zigarettenrauch weiß
nach ca. 10 s Verweildauer im Mund



Mie-Streuung

Die Partikelgrößenverteilung verschiebt sich durch Koagulation in den Miebereich ($d_p \approx \lambda$ bis $6 \times \lambda$)

Grundlagen der Aerosolphysik

Partikelabstand

Abstand der Partikel in Abhängigkeit der Anzahlkonzentration.

Anzahl N [m ⁻³]	Anzahl N [cm ⁻³]	Partikel- abstand [cm]	Partikel- abstand [mm]	Partikel- abstand [μm]
1	10 ⁻⁶	100	1000	
10 ³	10 ⁻³	10	100	
10 ⁶	1	1	10	
10 ⁹	10 ³		1	1000
10 ¹²	10 ⁶		0,1	100
10 ¹⁵	10 ⁹		0,01	10
10 ¹⁸	10 ¹²		0,001	1

Ist die Kantenlänge des Messvolumens, quer zur Strömungsrichtung 1 mm und die Konzentration 2000 Partikel/cm³ so wird der Durchmesser zu groß und die Konzentration zu klein gemessen. **Grund: Koinzidenzfehler!**

Optische Aerosolspektrometer vs. Photometer



Optische Aerosolspektrometer detektieren das von einem Einzelpartikel erzeugte Streulichtsignal. Streulicht: Brechung, Beugung, Reflexion.

Das Streulichtsignal ist abhängig:

Partikeldurchmesser, Brechungsindex und der Partikelform.

Streulichtphotometer detektieren das von einem **Partikelkollektiv** erzeugte Streulichtsignal.

Das Streulichtsignal ist abhängig:

Partikelgrößenverteilung, **Partikelkonzentration**, Brechungsindex und der Partikelform.

Das **Photometersignal ist mehrdeutig** da es sich durch eine Änderung der Partikelgrößenverteilung und durch eine Änderung der Partikelkonzentration, ändert!

Beide Messverfahren müssen kalibriert werden.

Fidas® 200 und Fidas® 200 S

Die zählenden Feinstaub - Messgeräte



Fidas® 200 und Fidas 200 S: Die **weltweit einzigen** nach DIN EN 15267 zugelassenen und eignungsgeprüften optischen Feinstaubmessgeräte mit **Einzelpartikelanalyse** für PM_{2,5} und PM₁₀ Messungen. Geschützt durch **drei Patente**.

Das Fidas® System informiert sie **zusätzlich** über **PM₁**, **PM_{2,5}**, **PM₄**, **PM₁₀**, **„TSP“**, der **Partikelanzahl** - und der **Partikelgrößenverteilung**.
Beachte: $d_{pmin} = 180 \text{ nm}$, $d_{pmax} = 18 \text{ }\mu\text{m}$.

Vom Umweltbundesamt für behördliche Messungen zugelassen.



Eignungsgeprüft
Entspricht
2008/50/EG
DIN EN 15267
Regelmäßige
Überwachung
www.tuv.com
ID 0000040212



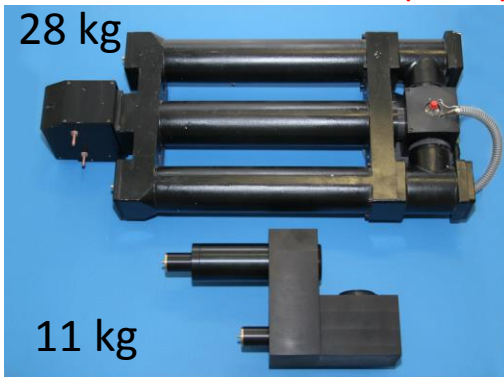
Das Fidas® 200 sehen sie auf dem HORIBA Stand!

Entwicklung optisches Messvolumen	1966 Diss. R. Broßmann TU - Karlsruhe*
Entwicklung HC15 / HC70	1976 Dr. H. Umhauer TU - Karlsruhe*
Randzonenfehler wird entdeckt	1981 Diss. Ch. Helsper TU - Duisburg
Teilkorrektur Randzonenfehler PCS	1986 Dr. H. Umhauer TU - Karlsruhe*
Lizenz von Umhauer / Löffler PCS 15 / 70	1986 Palas® GmbH
Theorie Koinzidenzkorrektur	1984 Dr. J. Raasch / H. Umhauer TU - Karlsruhe*
Praktische Umsetzung Koinzidenzkorrektur	1991 Diss. B. Sachweh TU - Kaiserslautern
Kombination: SMPS** / OAS***	1999 Diss. R. Friehmelt TU - Kaiserslautern
T-Blendentechnik kein Randzonenfehler und Koinzidenzerkennung	2000 Palas® welas®
Digitale Elektronik , Einzelsignalauswertung und Koinzidenzkorrektur	2009 Palas® Patente welas® digital
	2010 Palas® Promo®
	2012 Palas® Inas®
	2013 Palas® Fidas® Patent
Kombination: U-SMPS / welas®	2013 Palas® U-Range SMPS

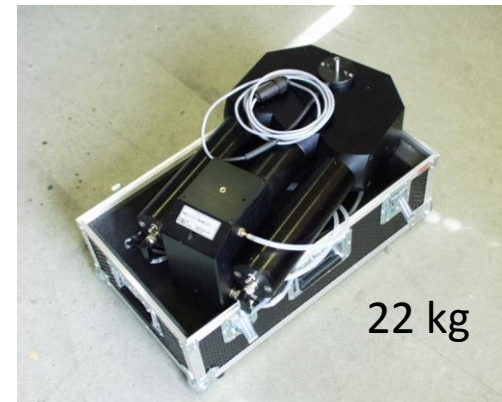
* Heute KIT, ** Scanning mobility particle sizer, *** Optisches Aerosol Spektrometer: HSLAS, PCS 15 A

Die Innovation: Mit der digitalen Signalverarbeitungselektronik wurde im Januar 2009 das welas® digital im Markt eingeführt.

PCS Sensor 2000-70 A (1986)



PCS Sensor 2000-15 A (1986)



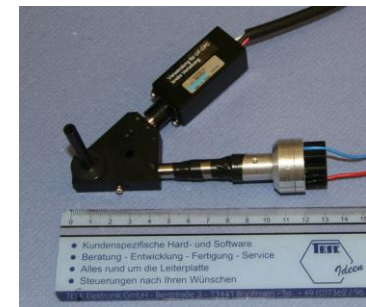
welas® Sensor 27300 (2000)



2,8 kg
welas® Sensor (2000)



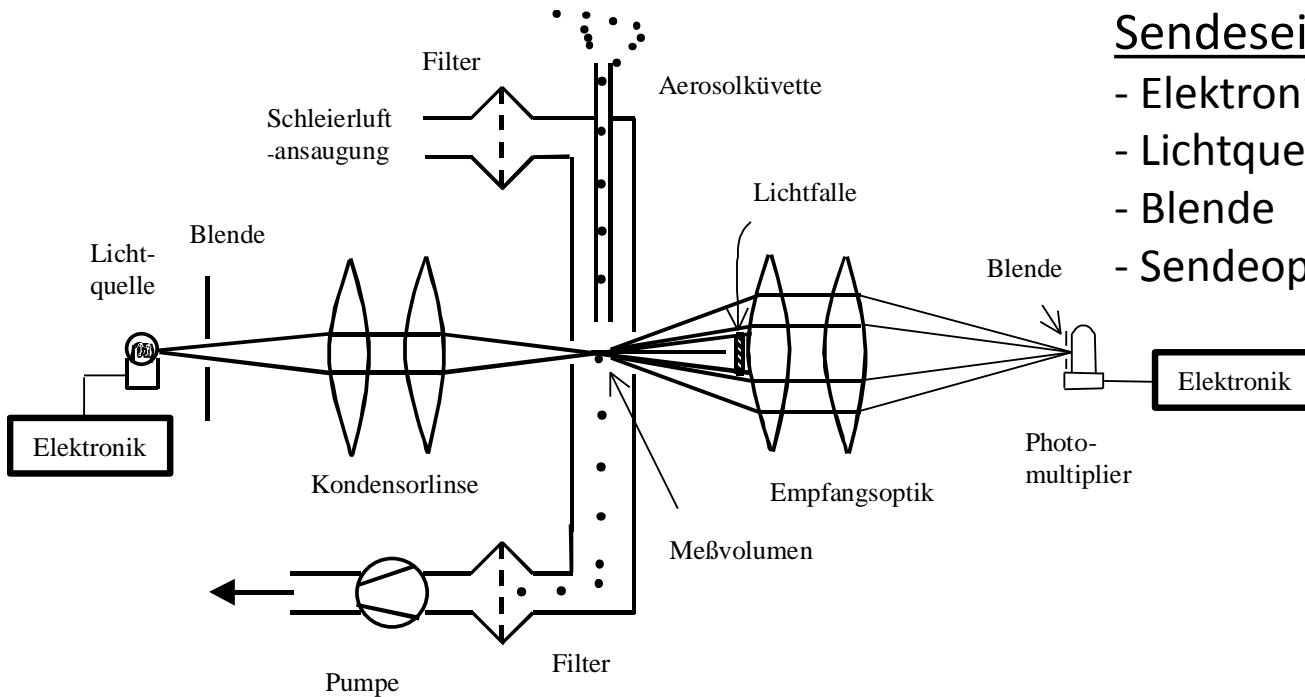
1,35 kg
Fidas® Sensor (2009)



0,2 kg
Fidas® Fly Sensor (2013)

Aufbau: Optisches Aerosolspektrometer

Streulichtdetektion in Vorwärtsrichtung



Sendeseite

- Elektronik
- Lichtquelle
- Blende
- Sendeoptik

Empfangsseite

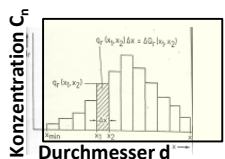
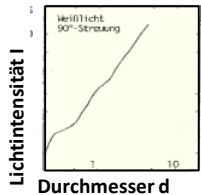
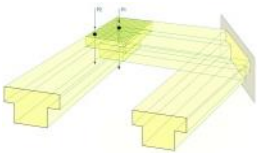
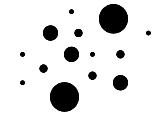
- Optik
- Blende
- Photodetektor
- Auswerteelektronik

ISO 21501-1
VDI 3967-4

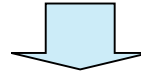
Endscheidend für die Qualität eines Aerosolspektrometers ist die Qualität und die Anordnung der einzelnen Bauelemente sowie die Qualitätssicherung beim Hersteller.

Einflüsse auf die Messergebnisse durch Alterung der Lichtquelle oder durch Verschmutzung der Optik können bei den Palas® - Aerosolspektrometern durch die Änderung der Steuerspannung am Photomultiplier ausgeglichen werden.

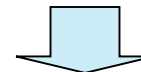
Fidas® Funktionsprinzip



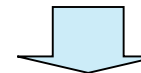
Aerosol (Partikel und Tröpfchen) < 100 μm



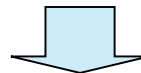
Messung der Streulichtintensität mit Weißlicht und 90° Streulichtdetektion
Eindeutige Kalibrierkurve im Miebereich



Optisches Messvolumen zur Messung in hohen Konzentrationen
T-Blendentechnik zur Eliminierung von Randzonen- und Koinzidenzsignalen



Bestimmung der optischen Partikelgröße durch Zuordnung des Streulichtsignals zum
Partikeldurchmesser über eindeutige Kalibrierkurve basierend auf PSL



Einteilung der gemessenen Partikelgröße in Größenklassen,
Erstellung eines Histogramms

Funktionsbild Fidas[®] Sensor

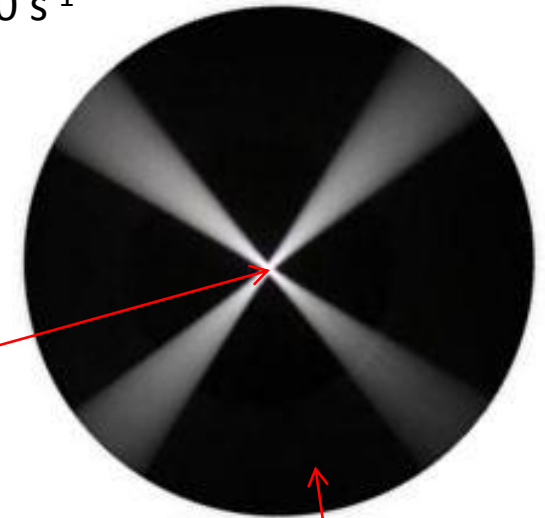
Messbarer Partikelstrom > 18000 s⁻¹

LED Lichtquelle
(polychromatisch)

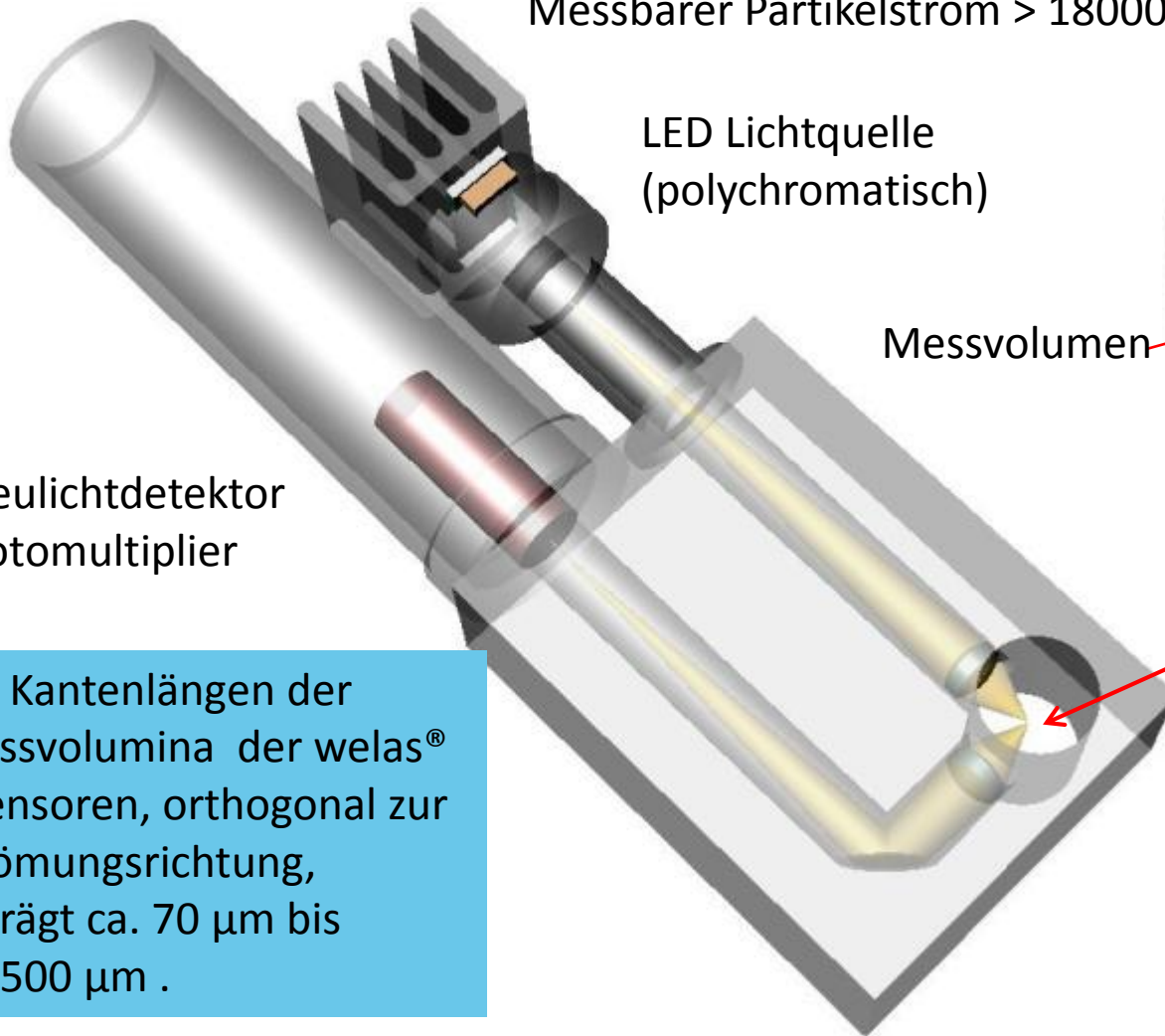
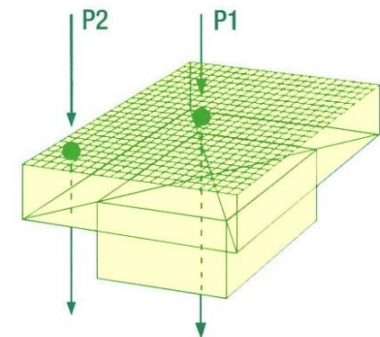
Messvolumen

Streulichtdetektor
Photomultiplier

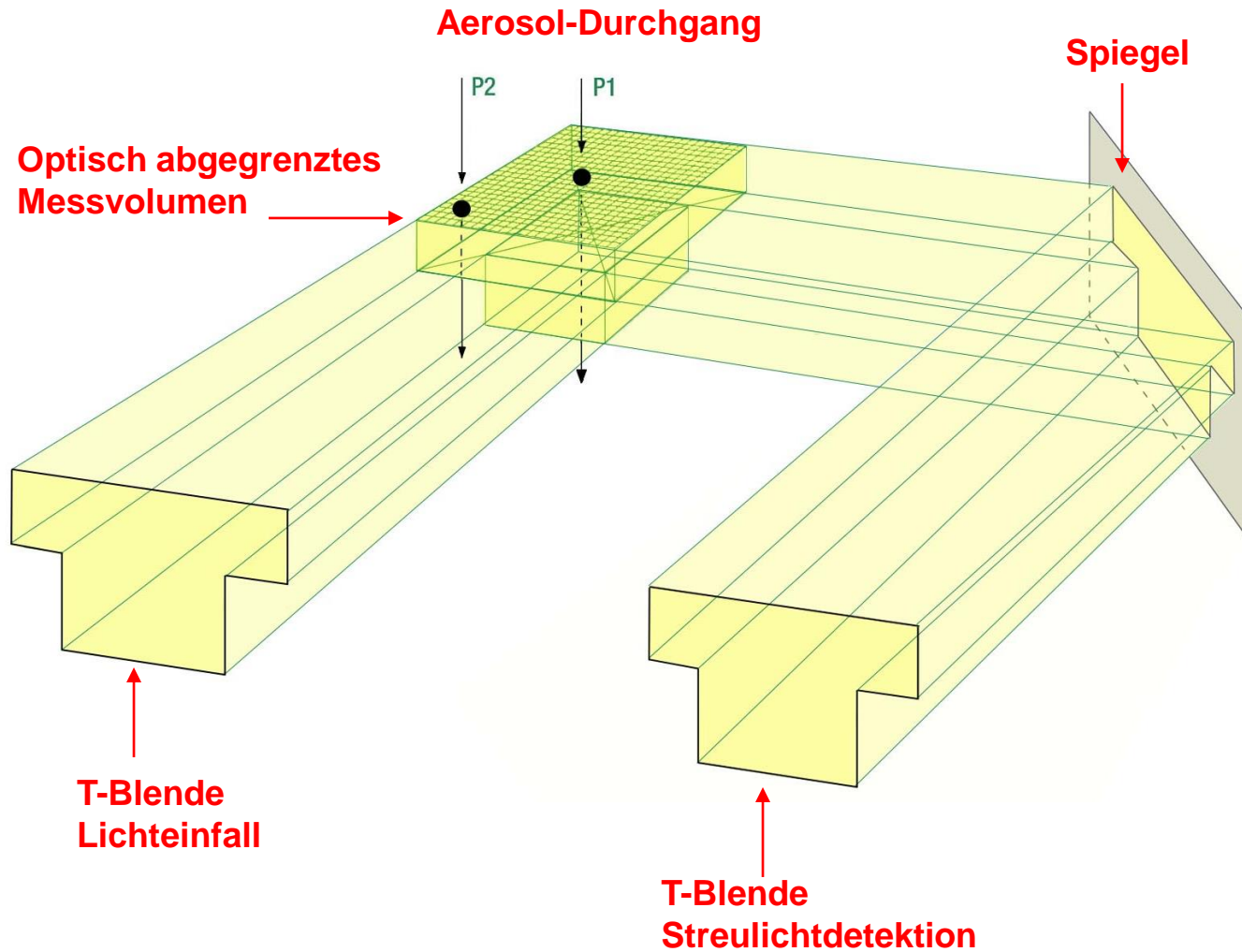
Die Kantenlängen der Messvolumina der welas[®]- Sensoren, orthogonal zur Strömungsrichtung, beträgt ca. 70 µm bis ca. 500 µm .



Aerosolkanal:
Durchmesser = 4,5 mm, mit T-förmigen Messvolumen



T-Blende

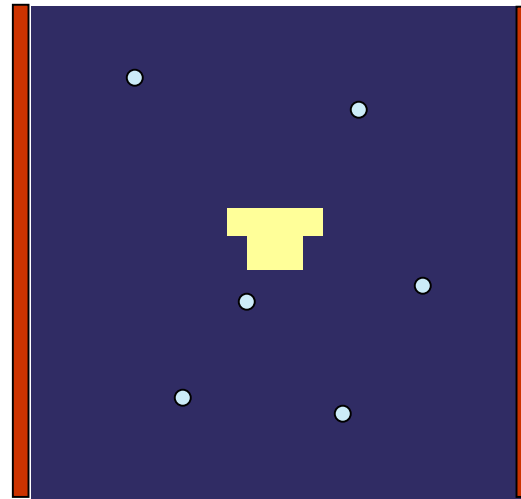
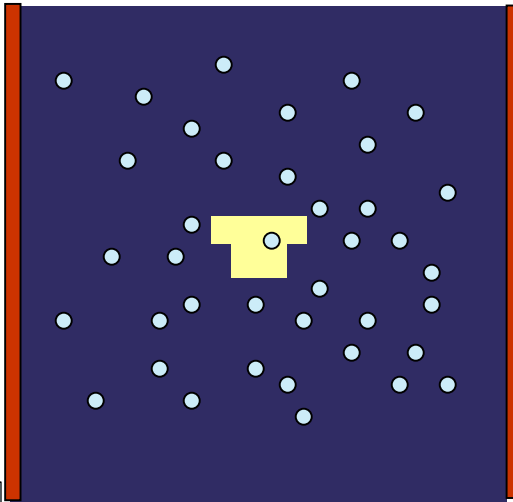


T-Blende Koinzidenzerkennung

Hohe Konzentration

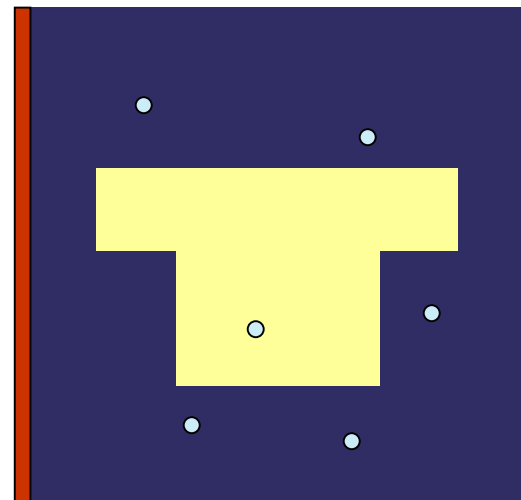
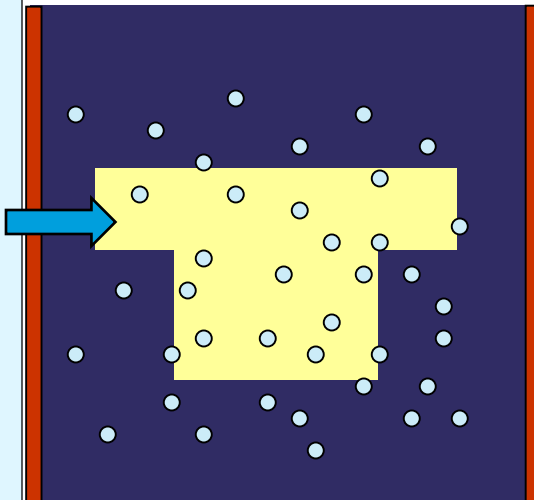
Niedrige Konzentration

Die Konzentrationen links, oben und unten, sowie rechts, oben und unten, sind identisch.

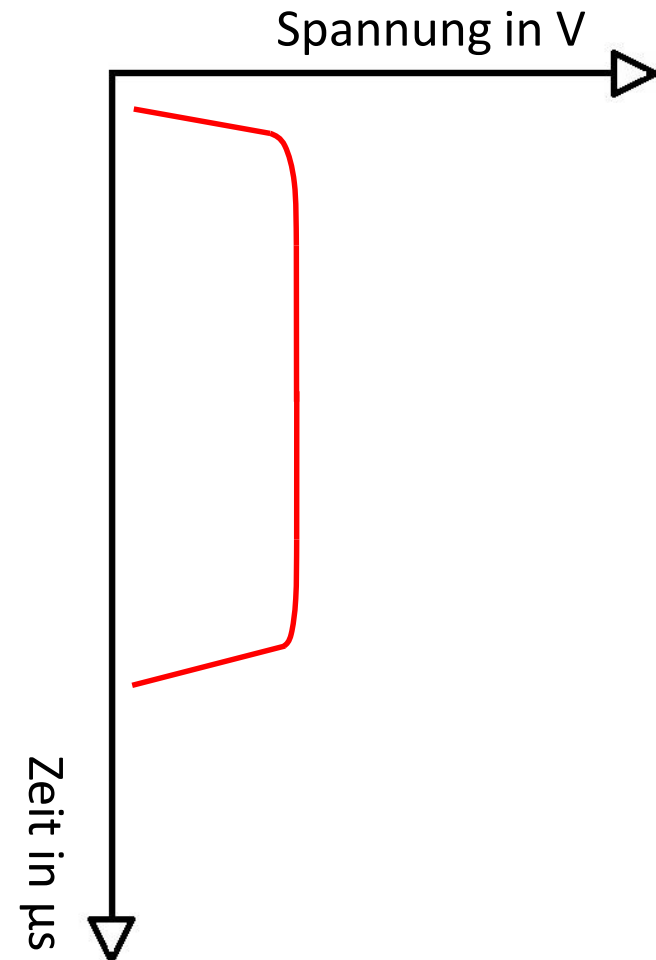
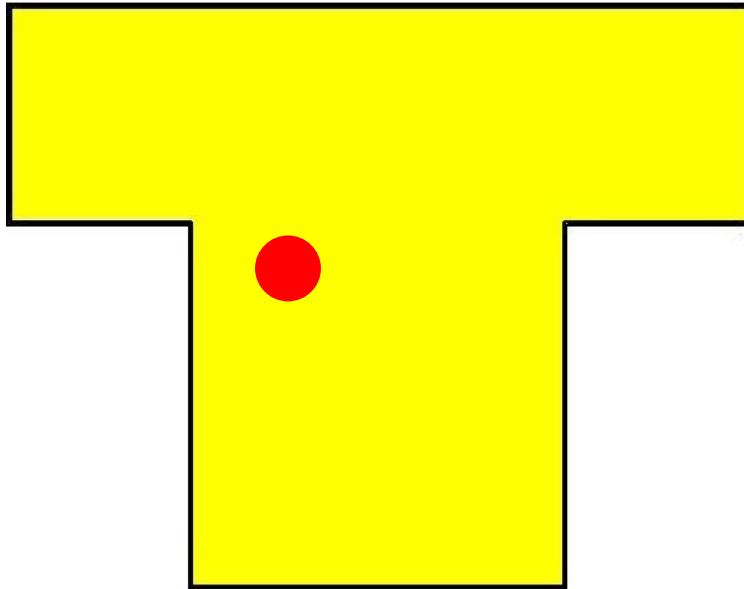


Die Geometrien der Messvolumina oben, links und rechts, sowie unten links und rechts, sind identisch.

Der Durchmesser wird zu groß und die Konzentration, hier um den Faktor 14 zu klein gemessen!

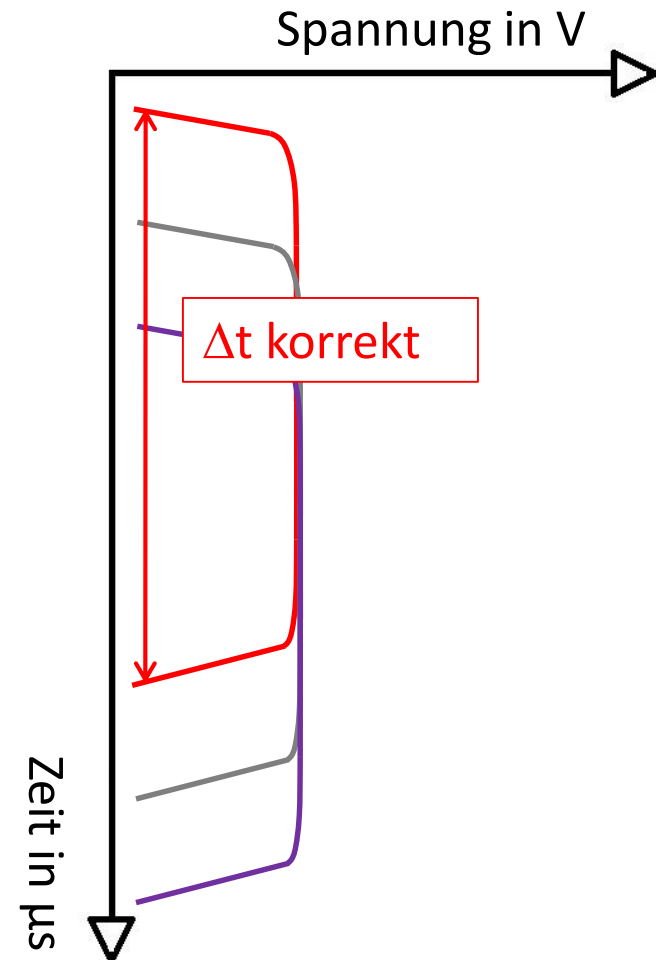
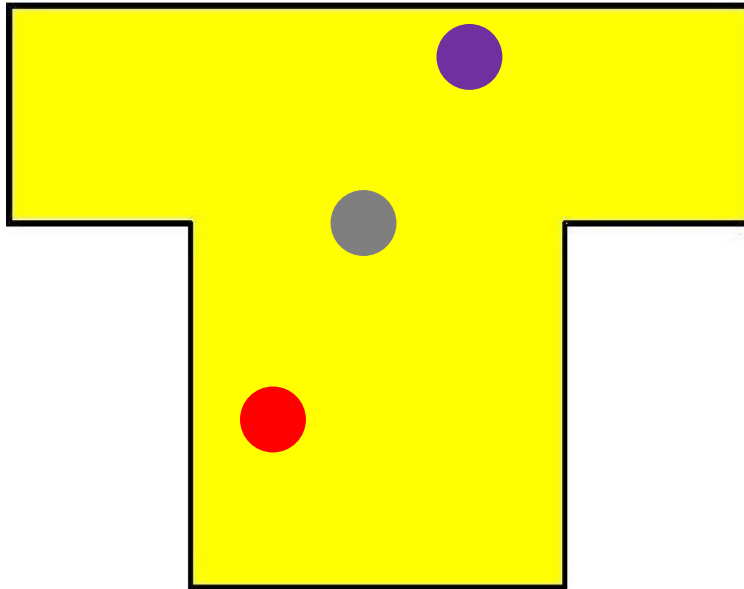


T-Blende: Koinzidenzerkennung



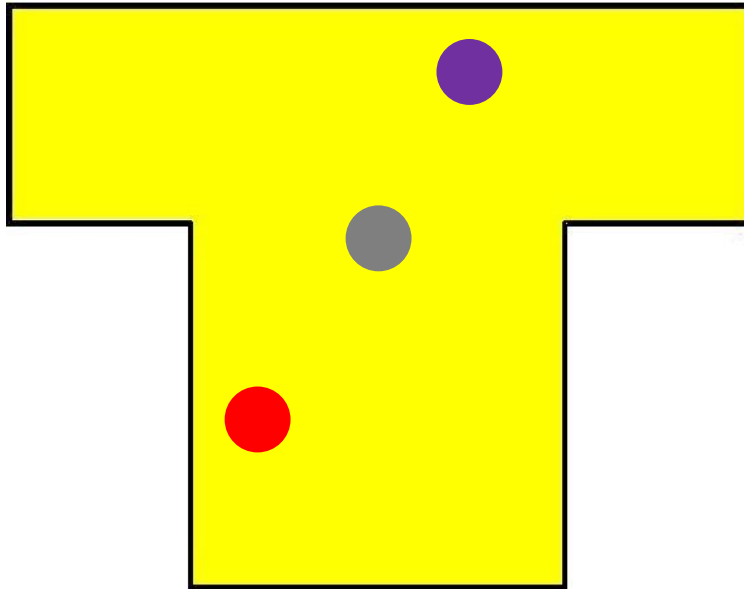
Der Volumenstrom ist konstant.
Die gemessene Flugzeit eines
jeden Partikels wird mit der
Sollflugzeit verglichen.

T-Blende: Koinzidenzerkennung

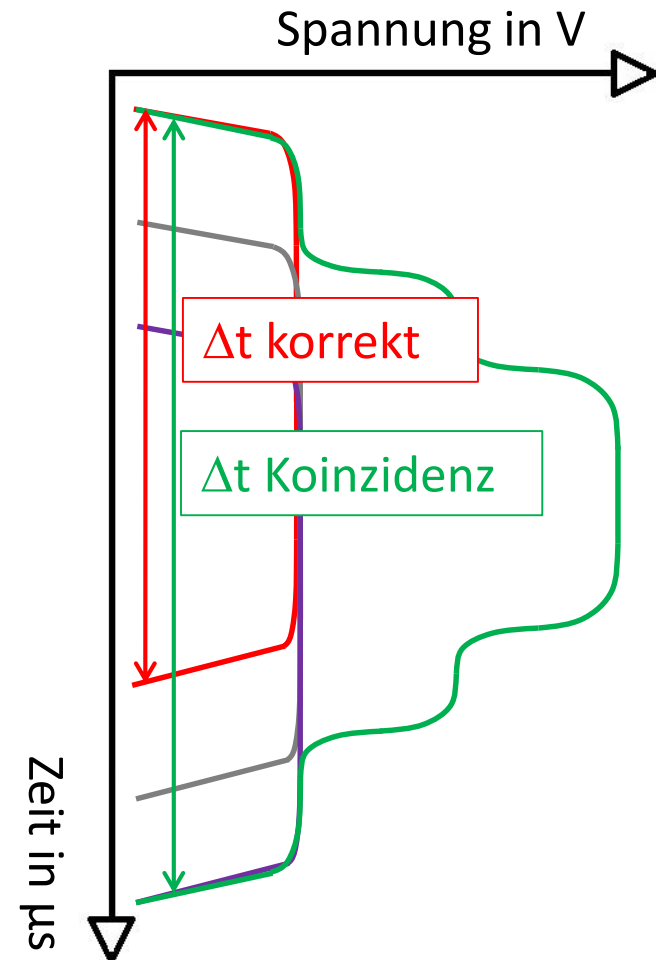


Der Volumenstrom ist konstant.
Die gemessene Flugzeit eines
jeden Partikels wird mit der
Sollflugzeit verglichen.

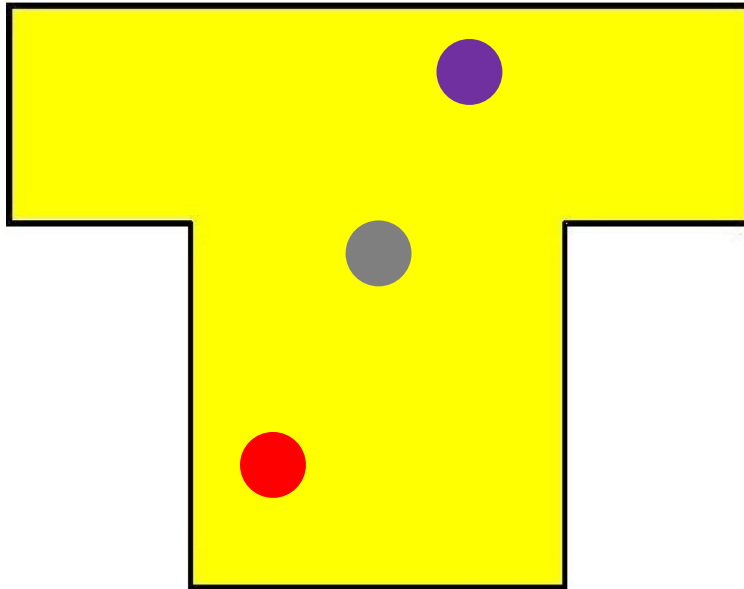
T-Blende: Koinzidenzerkennung



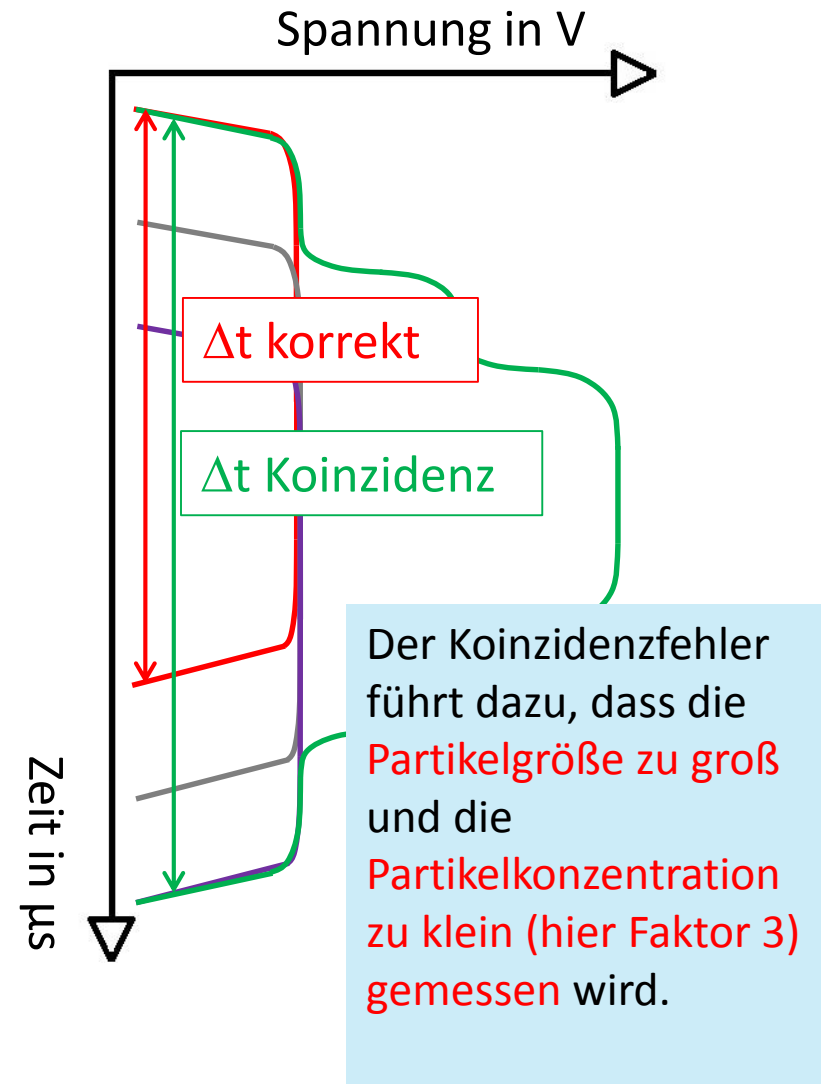
Der Volumenstrom ist konstant.
 Die gemessene Flugzeit eines
 jeden Partikels wird mit der
 Sollflugzeit verglichen.



T-Blende: Koinzidenzerkennung



Der Volumenstrom ist konstant.
Die gemessene Flugzeit eines jeden Partikels wird mit der Sollflugzeit verglichen.



Mit der Einführung der digitalen Signalverarbeitungselektronik im Januar 2009 wurde das Streulichtmessprinzip des Fidas® entscheidend verbessert:

1. **Ein Verstärker und ein logarithmischer A/D-Wandler.**
 - A) Die Kalibrierung mit nur einer Partikelgröße, über den gesamten Partikelgrößenbereich, ist nur möglich, wenn die Kalibrierkurve, auch im Miebereich, eindeutig ist und nur ein Verstärker für den gesamten Partikelgrößenbereich verwendet wird.
 - B) Bessere Zähleffizienz für kleine Partikel.
2. Geschwindigkeitsmessung eines jeden Partikels im Messvolumen.
3. Einzelsignalanalyse -> koinzidenzfreie Messung bis 10^6 cm^{-3} .
4. Hohe zeitliche Auflösung mit Speicherung jedes einzelnen Signals -> Untersuchung instationärer Vorgänge bis 10 ms (in hohen Konzentrationen).

Fidas® Fly 200 wiegt nur knapp 1 kg

Fidas® Fly 200 basiert auf der Technik von **zertifizierten**
Messgeräten

Fidas® Fly 200 vor Ort kann ein Funktionstest und
eine eindeutige Kalibrierung durchgeführt werden

Fidas® Fly 200 hat eine Akkubetriebszeit von vier Stunden

Fidas® Fly 200 erfasst die Daten für:

PM_{1} ; **$PM_{2,5}$** ; PM_{4} ; **PM_{10}** ; „TSP“

Partikelanzahl- u. Partikelgrößenverteilung

Fidas® Fly 200 Daten werden im Oktokopter gespeichert

Fidas® Fly 200 Daten können über USB–Stick extern ausgewertet

Fidas® System

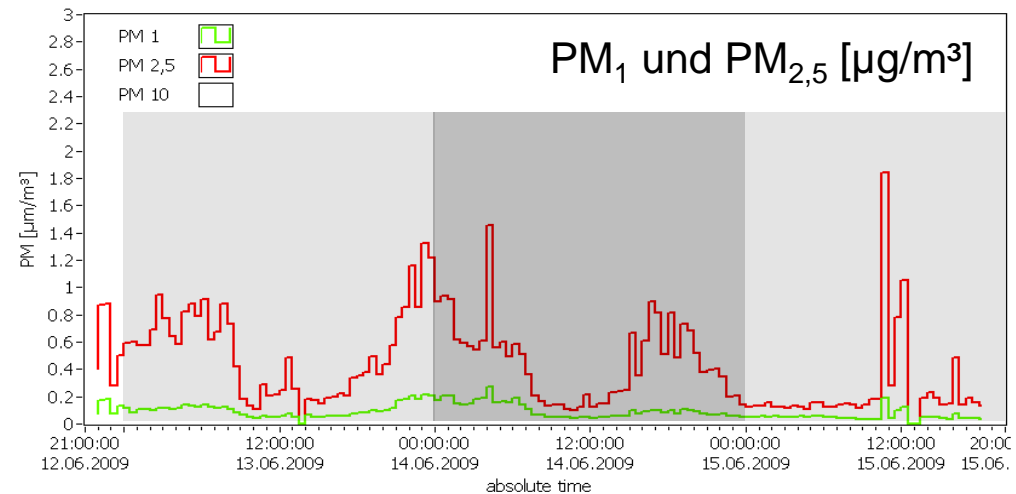
Messkampagnen während der Entwicklung



Zeitraum	Bemerkung	Messort	Verglichen mit
April 2009 – Oktober 2009	mit Lichtwellenleitersensor (welas® digital)	Karlsruhe (Referenz 4 km entfernt) urbaner Hintergrund	SEQ PM10, SEQ PM2,5
März 2010 – Mai 2010	mit Lichtwellenleitersensor (welas® digital)	Wien urbaner Hintergrund	FDMS PM10, FDMS PM2,5
Juni 2010 – heute	mit LED-Sensor, zeitweise mit unterschiedlichen Trockenverfahren, Insektenschutz, Pumpen	Lübeck urbaner Hintergrund	FDMS PM10, FDMS PM2,5 Grimm PM10, Grimm PM2,5 SEQ PM10, SEQ PM2,5
Oktober 2010 – Dezember 2011		Wien urbaner Hintergrund	Sharp PM10
Dezember 2010 – März 2011	mit zwei unterschiedlichen Trockenstrecken	Zugspitze hohe Feuchte, unbelastetes Hintergrundaerosol	-
Februar 2011 – März 2011		Graz stark belastet	Sharp PM10
Juni 2011 – Juli 2011		Köln urbaner Hintergrund	SEQ PM10, SEQ PM2,5
Juli 2011 – September 2011		USA (Ostküste) urbaner Hintergrund	FRM PM10, FRM PM2,5
August 2011 – Dezember 2011		Nordrheinwestfalen ländlich	SEQ PM10
Oktober 2011 – Dezember 2011		Ostrava, Tschechei stark belastet	SEQ PM10, SEQ PM2,5 Grimm PM10, Grimm PM2,5
Februar 2012 – April 2012		Margam, Wales urbaner Hintergrund	SEQ PM10, SEQ PM2,5 FDMS PM10, FDMS PM2,5

Fidas®

Erster Härtetest: Grönland 2009

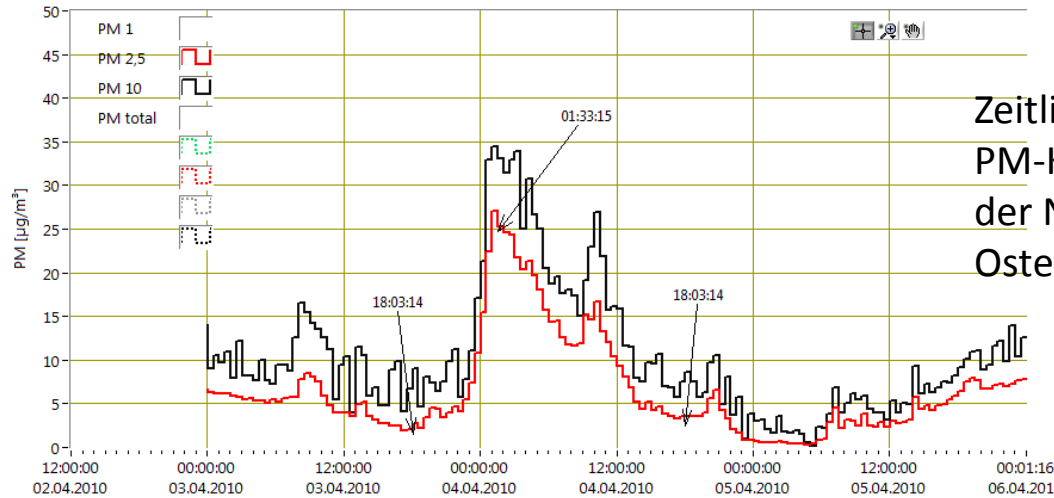


Messdaten ($\frac{1}{2}$ h – Mittelwerte). Bei Ankunft am 12.6.2009 in Kangerlussuaq um 14:25 Uhr Sandsturm

Fidas® System Auswertemöglichkeiten



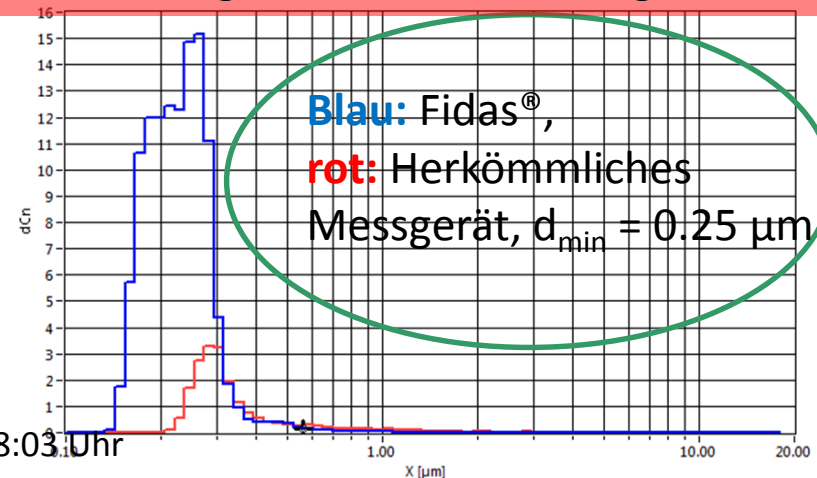
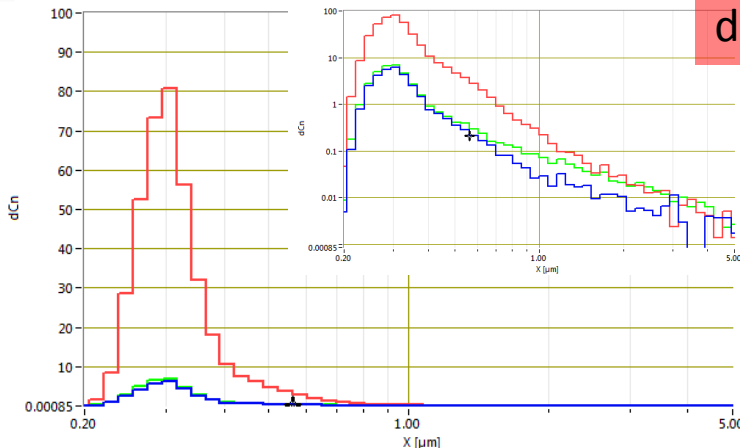
Osterfeuer
Ein Brauch aus alten Zeiten,
der dazu dient, den Winter zu
verbrennen.



Zeitlicher Verlauf der
PM-Konzentrationen in
der Nacht zum
Ostersonntag in Wien

Anzahlgrößenverteilung : Osterfeuer

Wichtig: Bei Messungen von PM_1 und $PM_{2.5}$ sollte die untere Nachweisgrenze bei 180 nm liegen.

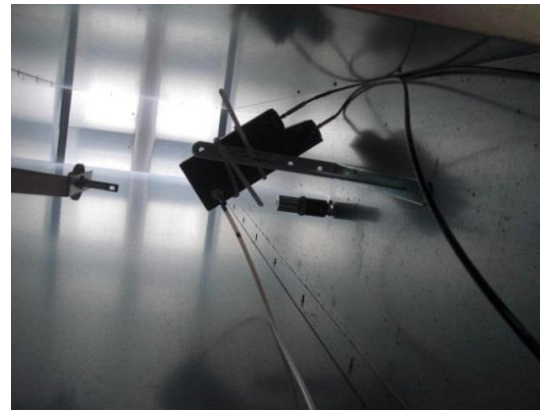
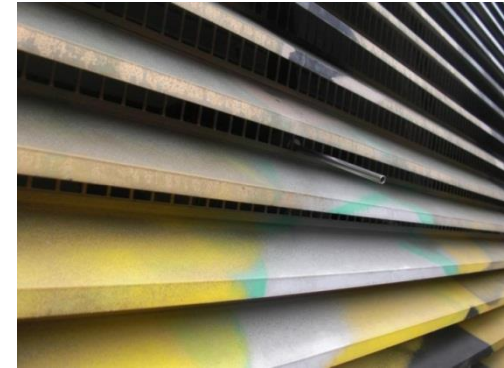


Blau : 3.4.2010 18:03 Uhr, rot: 4.4.2010 1:33 Uhr, grün : 4.4.2010 18:03 Uhr

Funktionstest einer CleanScreen™ Anlage

Testmessung vom Februar 2011

Ringautobahn (A10) in Amsterdam



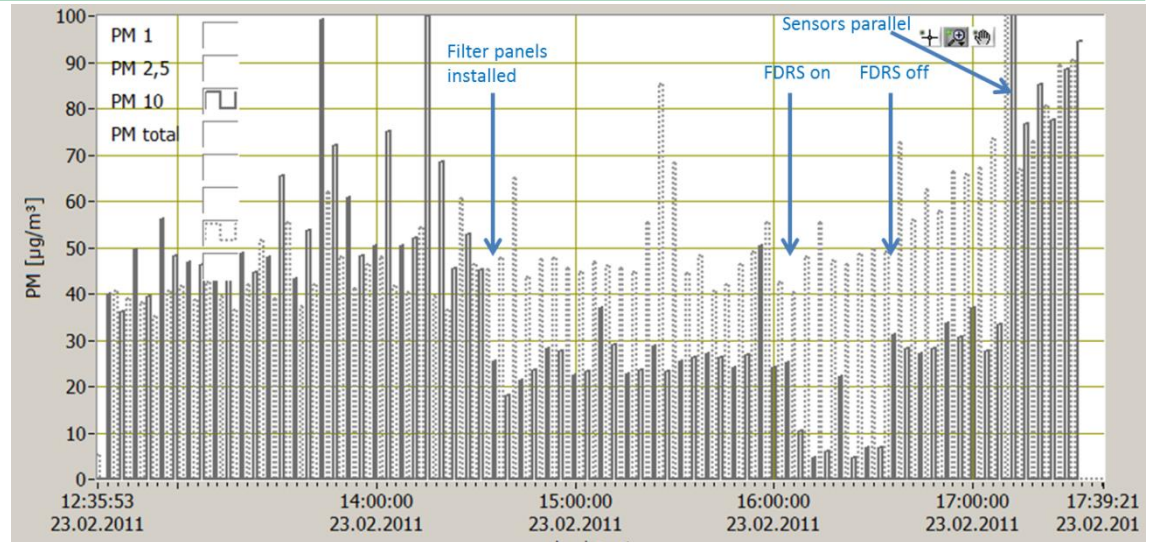
Installation der Sensoren



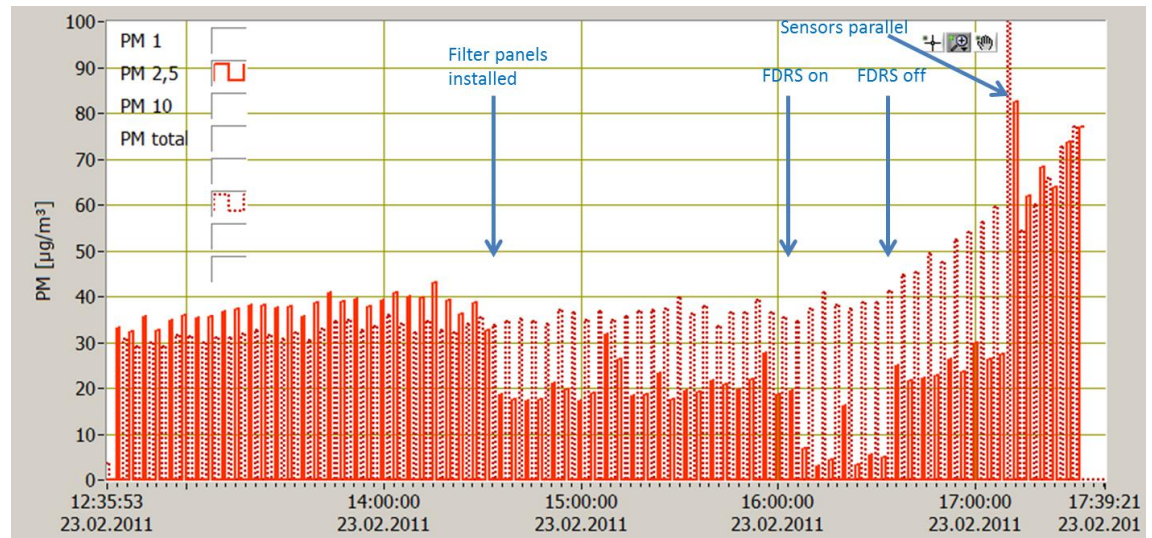
Funktionstest einer CleanScreen™ Anlage

Ergebnisse der Testmessung
vom Februar 2011

PM₁₀



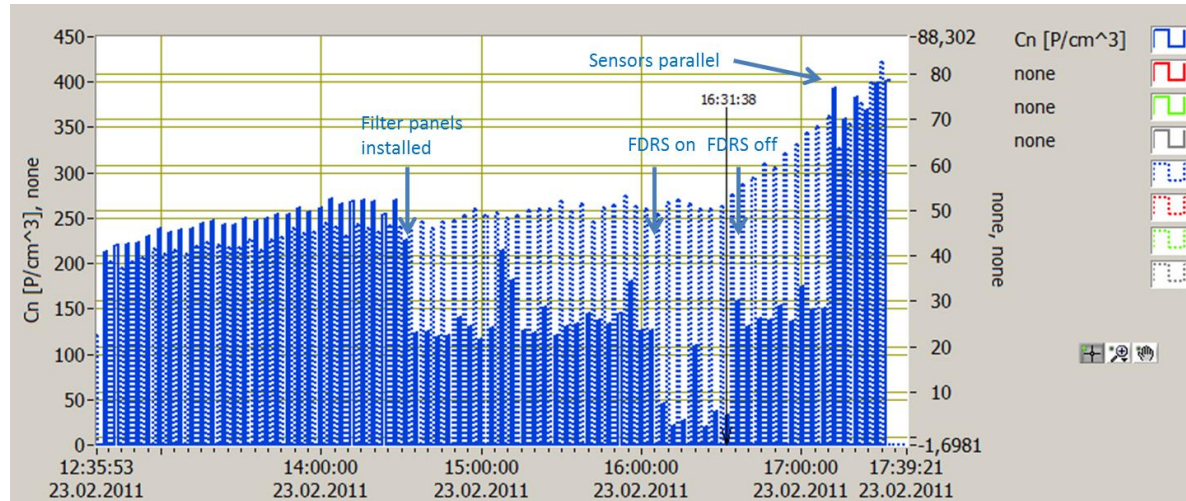
PM_{2,5}



Funktionstest einer CleanScreen™ Anlage

Ergebnisse der Testmessung
vom Februar 2011

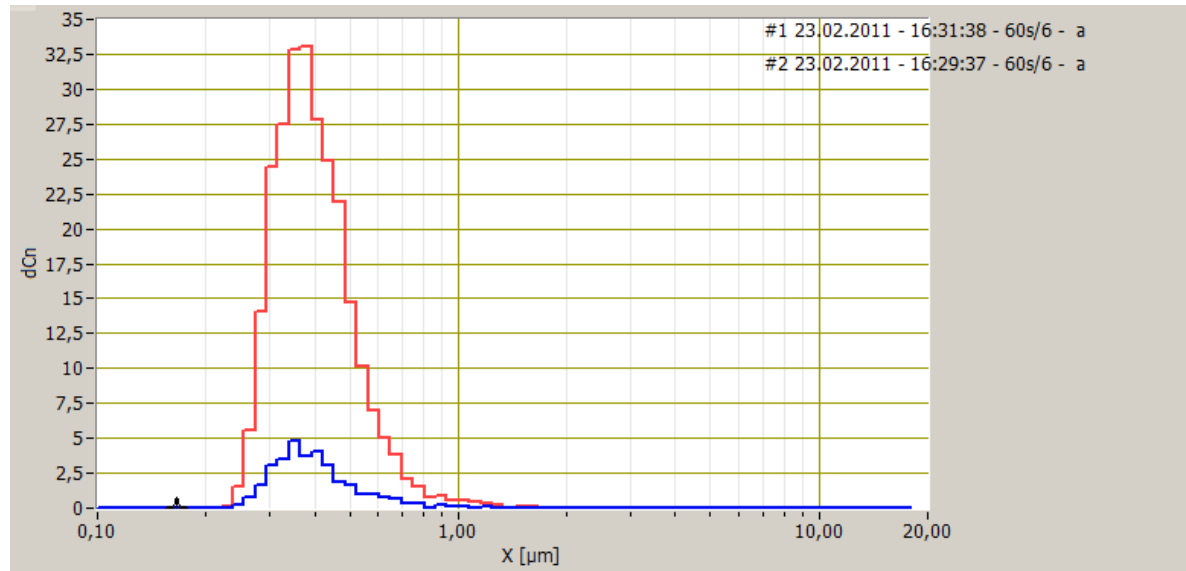
Anzahlkonzentration



Partikelgrößenverteilung
zu zwei aufeinander-
folgenden Zeiten:

Rot: nach Filter

Blau: nach Filter& FDRS



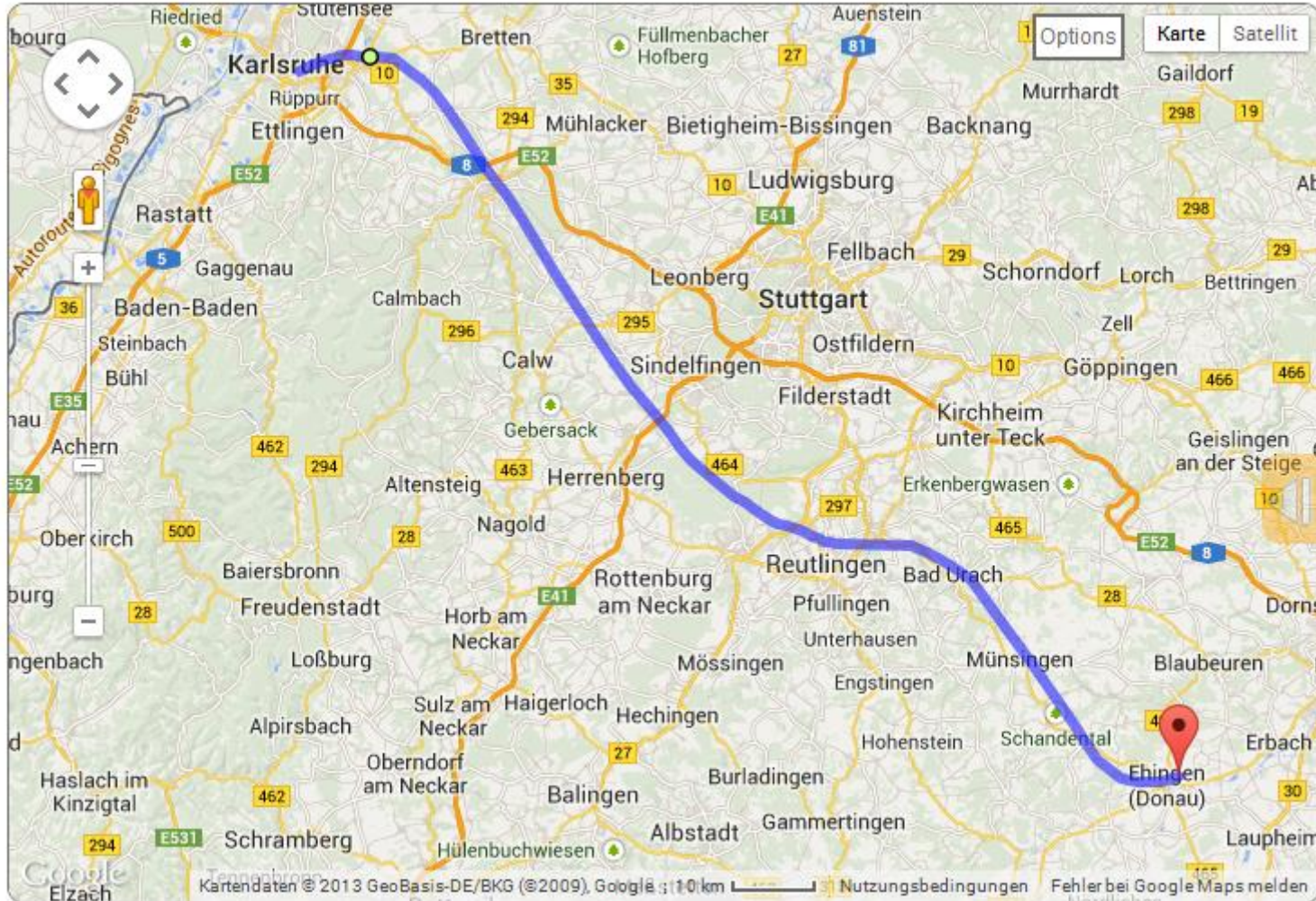
Fidas® Fly Im Wetterballon

Marketingaktion zum 30jährigen Firmenjubiläum 2013. **Ort: Festplatz Karlsruhe.**
Den Wetterballon startete die Duale Hochschule Baden-Württemberg in Karlsruhe.



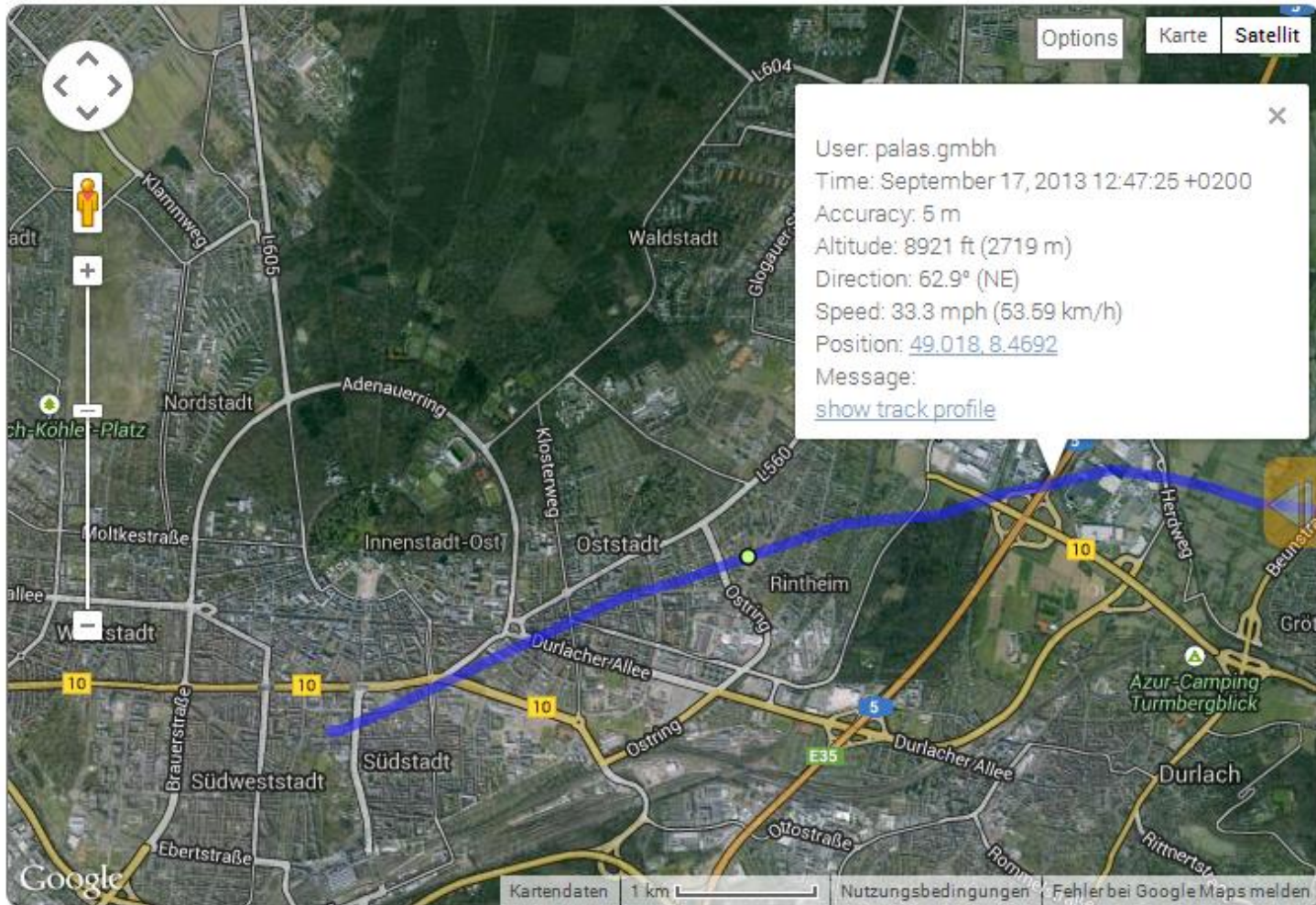
Fidas® Fly Im Wetterballon

Fluglinie



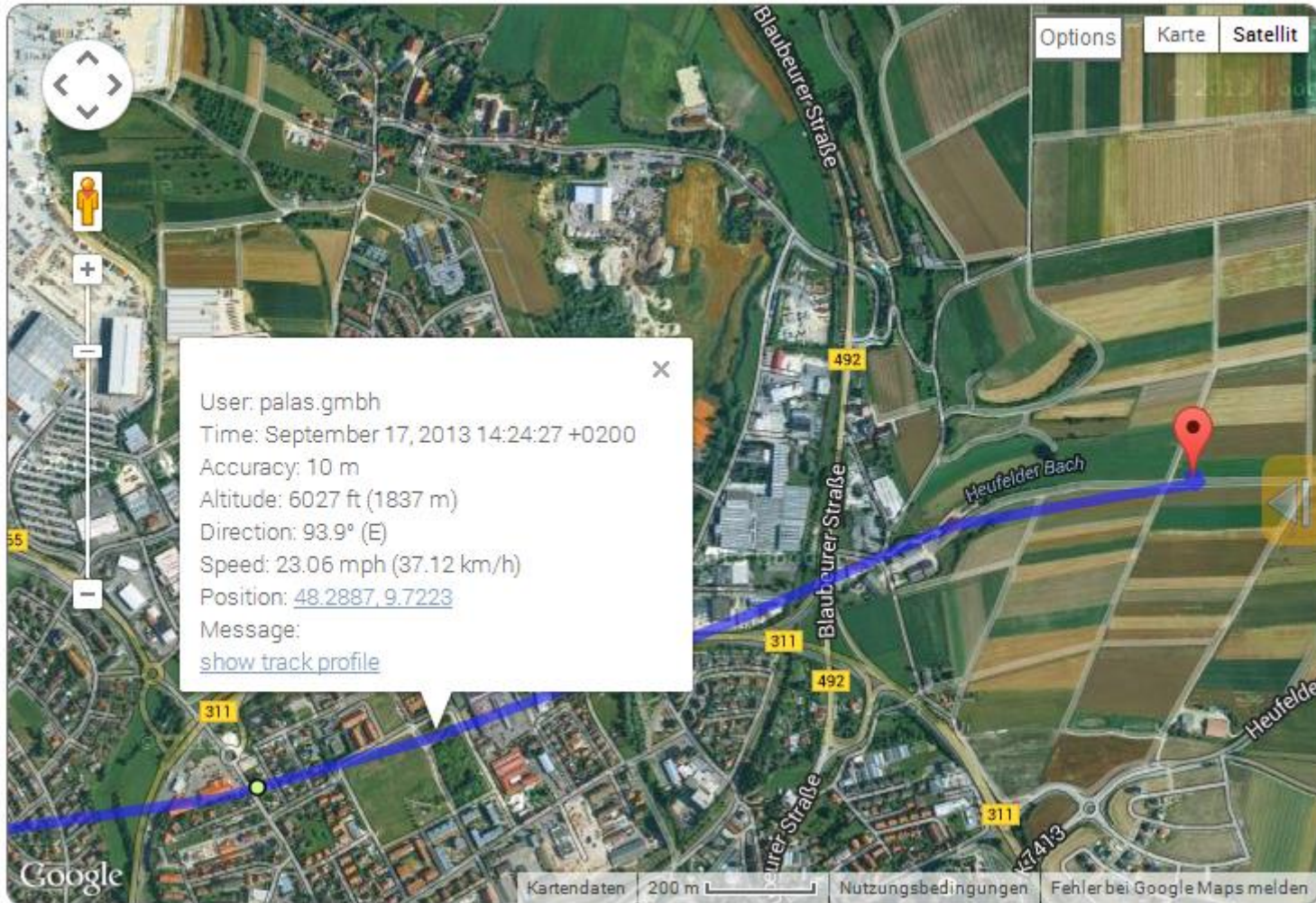
Fidas® Fly Im Wetterballon

Fluglinie



Fidas® Fly Im Wetterballon

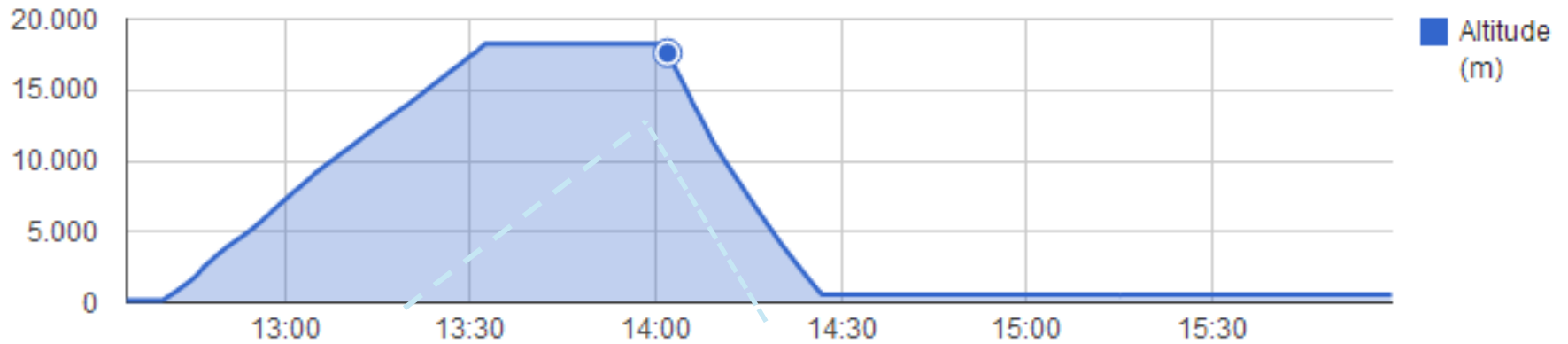
Fluglinie



Fidas® Fly Im Wetterballon

Fluglinie

Track chart



Track chart



Mit Fidas® Fly in neue Sphären



Weitere **Innovation:**

Mit dem KIT entwickeln wir einen Fidas® Fly der sphärische von asphärischen Partikeln unterscheiden kann.

Wolkenforschung:

Tropfen / Eiskristalle

Frage des Moderators Herrn Dr. H. Creutzmacher an Herrn Mölter:

Gibt es Erfahrungen von Anwendern des Fidas® Feinstaubmonitors?

Antwort von Herrn Mölter:

Ja, gestern erhielt ich eine E-Mail von unserem Kunden aus Belgien, siehe die E-Mail unten, der den Fidas® seit knapp einem Jahr einsetzt.

Von: "Weiß, Maximilian" [mailto:weiss@palas.de]

Gesendet: Dienstag, 3. März 2015 21:58

An: Leander Moelter; Martin Schmidt; Sven Schütz; Linda Trabandt; Jessica Bobermien

Betreff: Fwd: VMM Fidas: Some open questions

Hier eine aktuelle Info von unserem Wiederverkäufer in Belgien wie zufrieden er ist:

From the 45 Fidas, currently 40 are active in the network. 1 as reference in the reference lab and 4 as backup units.

There are very happy with it.

- Time between failure is almost zero.
- Fidas measure when other technology like FH62 and Teom FMDS don't measure in environment like fog.
- Operating costs is low, now filter change, etc..

Regards,
Zongwei

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

„Zähl', was zählbar ist, miss, was messbar ist,
Und was nicht messbar ist, mach messbar!“

(Galileo Galilei)

15.02.1564 – 08.01.1642

Palas®: More than 30 years of expertise in aerosols!