

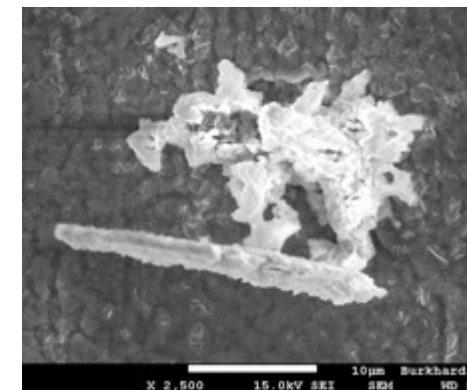
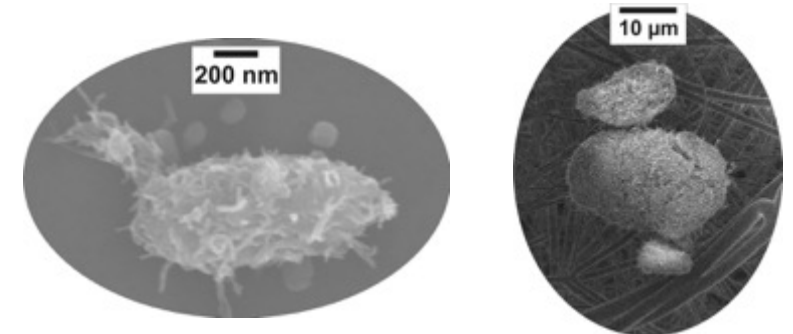
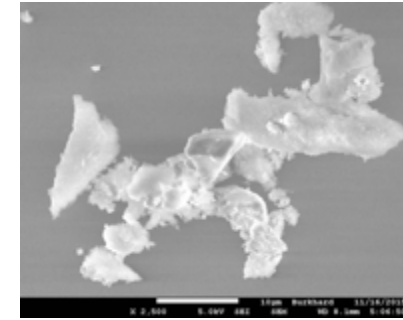
Wenden, 29.01.2020

VDI-Bezirksverein Siegen, Arbeitgeberverband Olpe, Universität Siegen

Die Zwerge – klein und gemein? Chancen der Nanotechnologie nutzen, Risiken minimieren

Dr.-Ing. Stefan Haep

1. IUTA – Profil und Arbeitsweise
2. Was ist Nanotechnologie?
3. Chancen und Risiken der Nanotechnologie?
4. Wo bestehen Wechselwirkungen zwischen Nanotechnologie und der Umwelt und dem Menschen?
5. Messtechnik
6. Beispiele Messkampagnen
7. Zusammenfassung



- Gegründet 1989 als An-Institut der Universität Duisburg-Essen
- Gründungsmitglied der Johannes-Rau-Forschungsgemeinschaft
- >130 wissenschaftliche und technische Mitarbeiter
- Umsatz 8-10 Mio. €/a
- Gemeinnützige Forschungseinrichtung
- Forschungsgebiet Energie- und Umwelttechnik
- Anwendungs- und grundlagenorientierte Projekte in Kooperation mit
 - Universitäten, Forschungseinrichtungen (JRF)
 - Behörden und regelsetzenden Organisationen
 - industriellen Anwendern
- Fokus auf mittelständische Unternehmen



Kernkompetenzen

- Verfahrenstechnik im industrie-relevanten Maßstab
- Chemische und physikalische Analytik

Schwerpunktthemen

- Partikel
- Gase
- Toxine

Arbeitsweise

- Problem erkennen
- Problem analysieren und definieren
- Grundlagen erforschen
- Lösungskonzepte entwickeln
- Ergebnisse transferieren



Aerosole & Partikel

- Synthese
- Arbeitssicherheit
- Umweltrelevanz

Luftreinhaltung & Gasprozesstechnik

- Sorption
- Filtration
- Simulationen

Ressourcen & Energie

- Trennverfahren
- Prozessentwicklung
- Energetische Optimierung

Analytik & Messtechnik

- Spurenanalytik
- Wirkungsanalytik
- Messgeräteentwicklung



Was ist Nanotechnologie?



 Apple iPod NANO



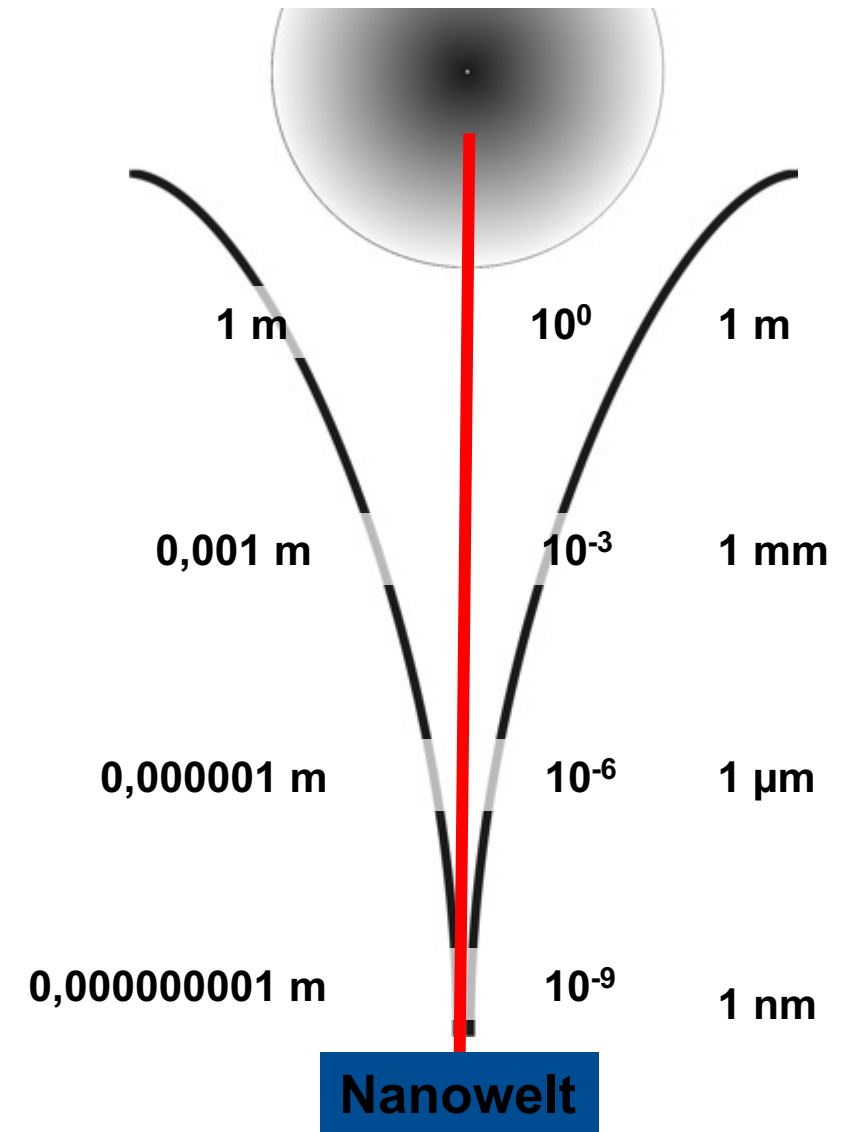
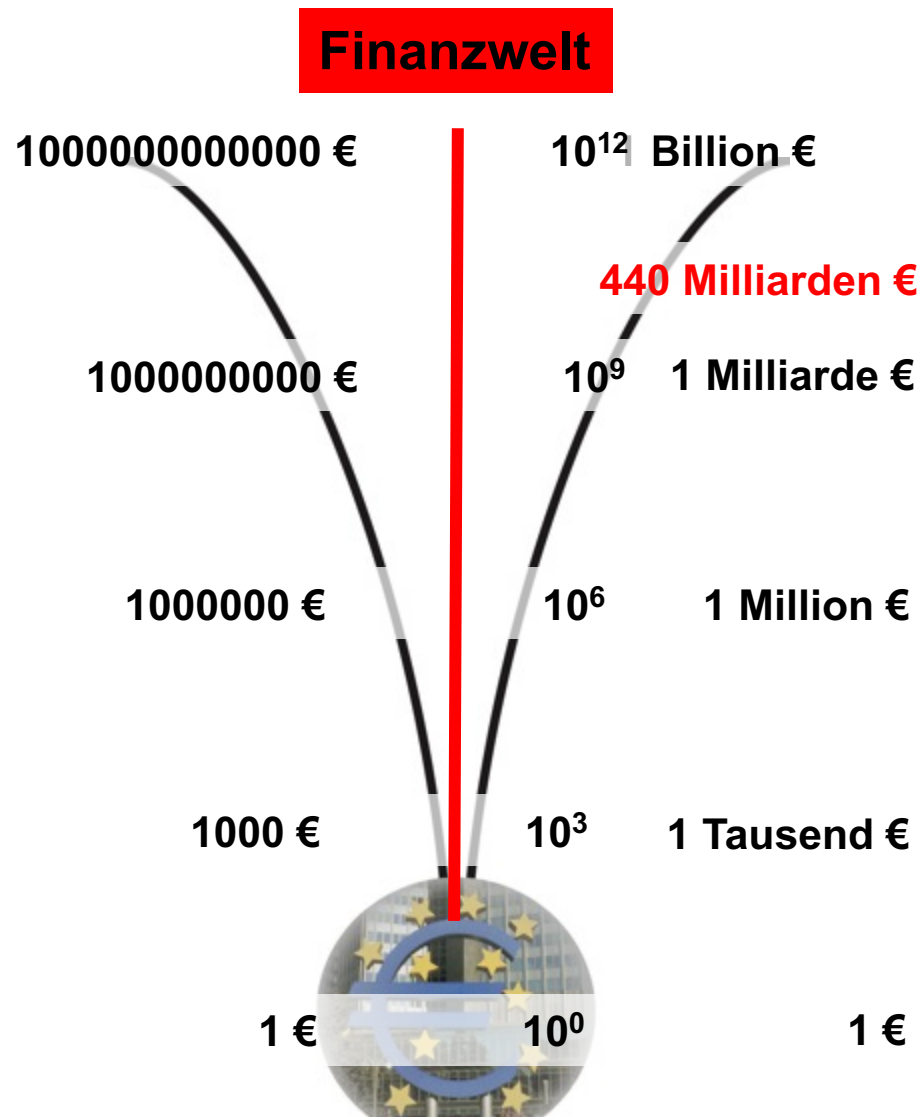
TATA NANO

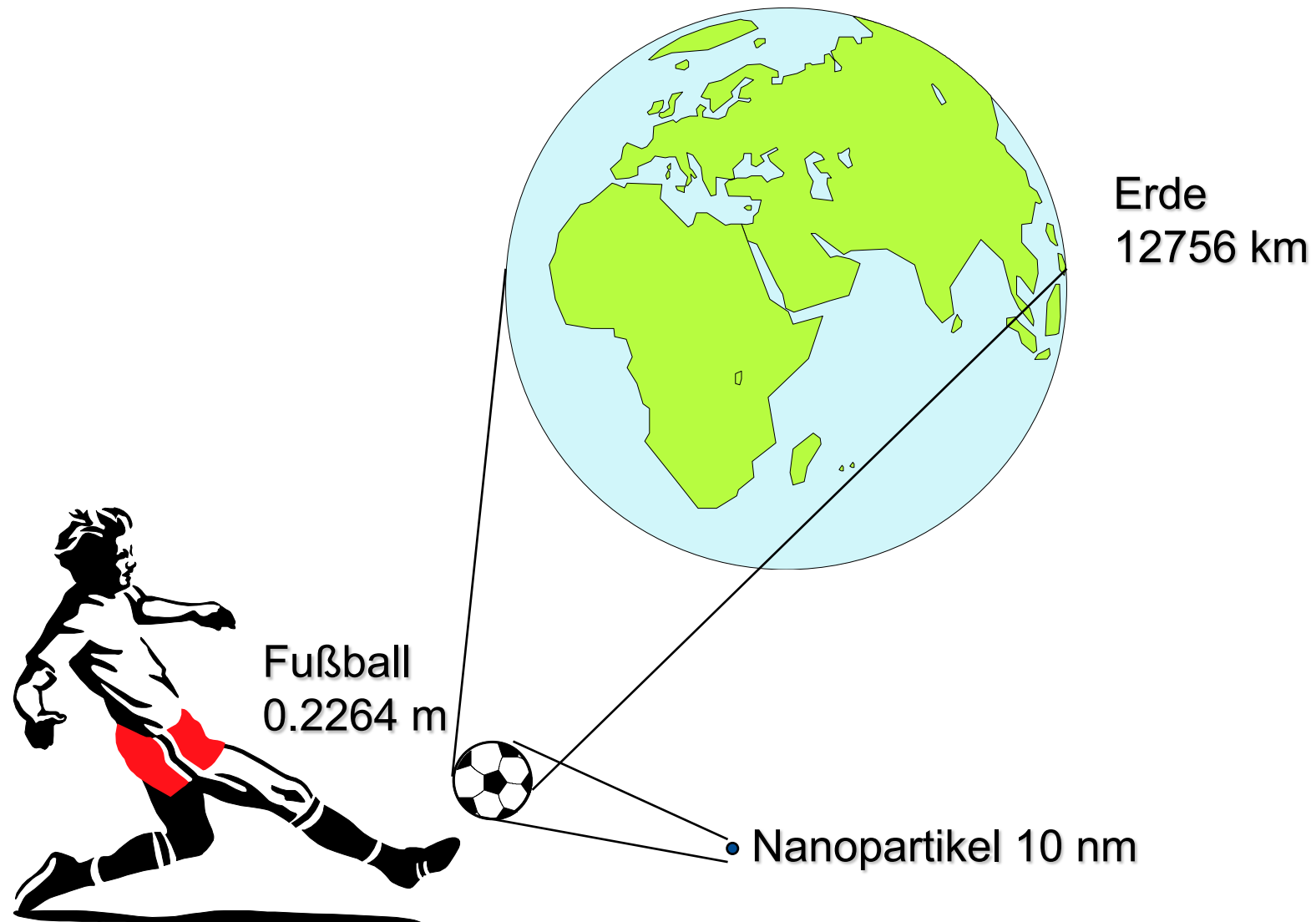


 3sat NANO

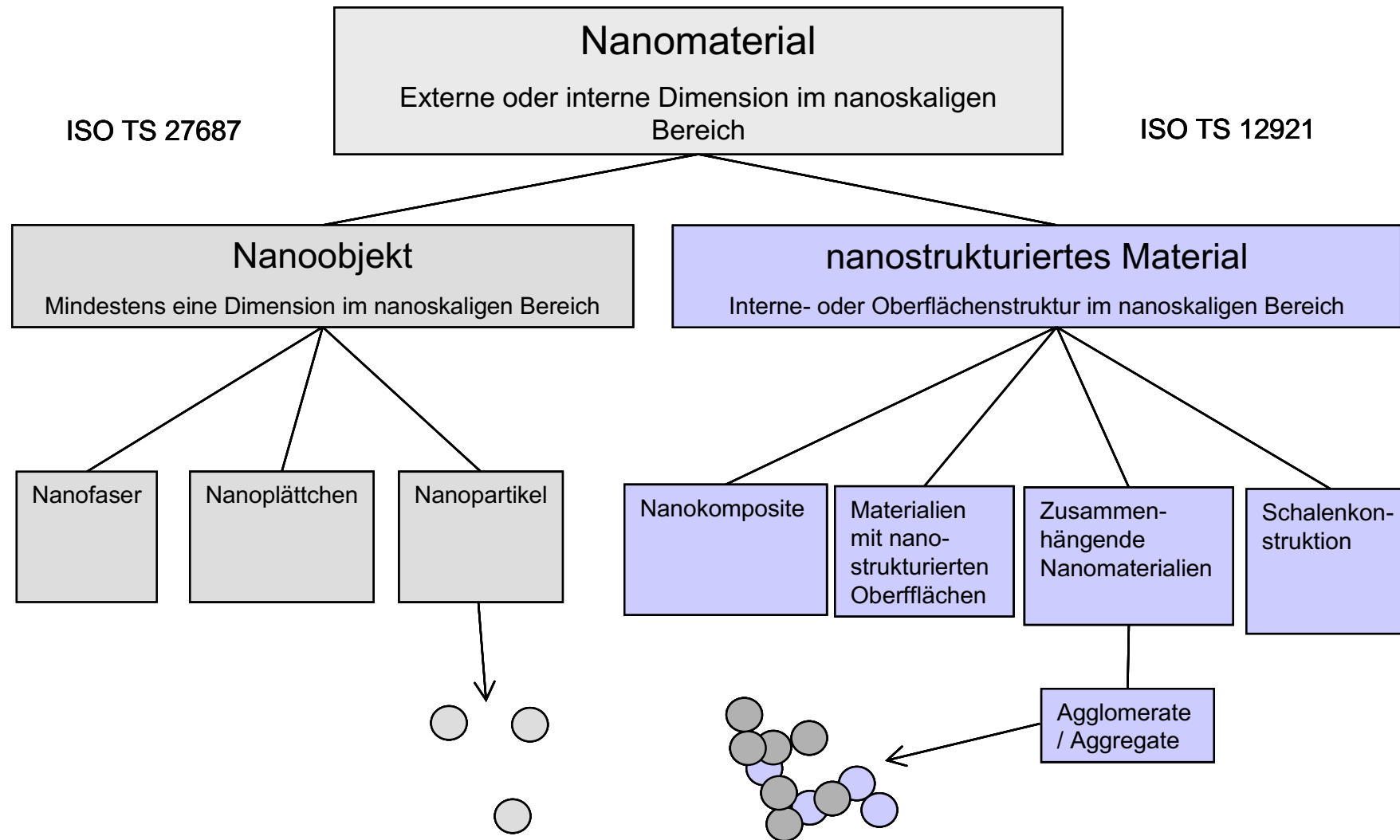
- Der Begriff Nanotechnologie leitet sich vom griechischen Begriff „nános“ ab, was so viel wie Zwerg bedeutet.
- Der Begriff spielt also auf Größe von Partikeln, Grenzflächen und funktionellen Strukturen an, in denen die besonderen Eigenschaften der Nanotechnologie verankert sind.
- Nanotechnologie bezeichnet die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien und inneren Grenzflächen, bei denen mindestens eine kritische Dimension < 100 nm misst.







Was ist Nanotechnologie? Definition für Nanomaterial



„Alles über Material und wie man es macht“
Moleküle – **nanostrukturiertes Material** - Feststoff



Nanopartikel



Besonderheiten:

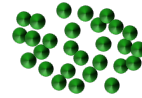
Oberflächenzunahme

Veränderte Physik

1 mm TiO₂-Partikel wird in 10¹⁵ Nanopartikel zerteilt.



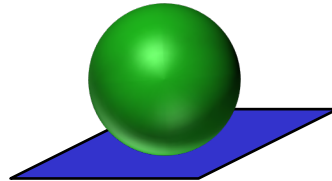
$n = 1$
 $D = 1 \text{ mm}$
 $m = 2,2 \text{ mg}$
 $A = 3,1 \text{ mm}^2$



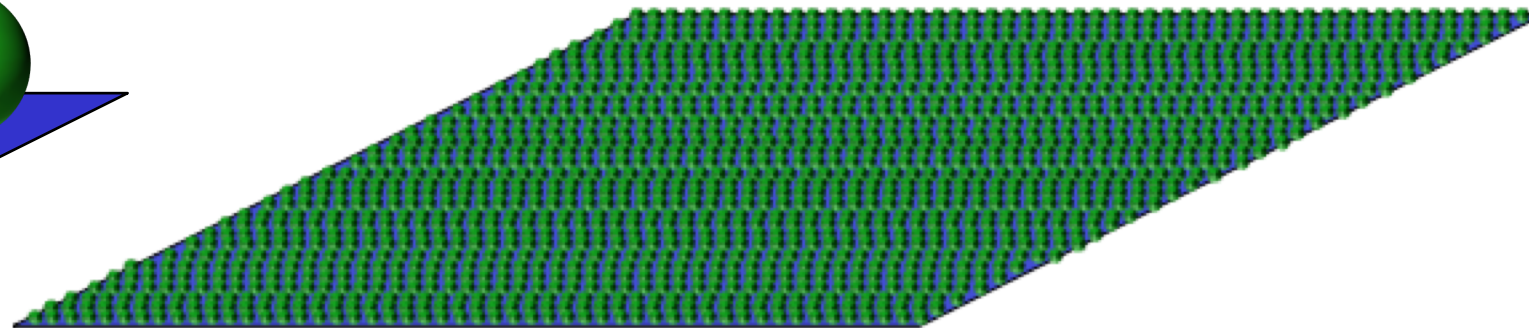
$n_{\text{NP}} = 10^{15}$
 $D_{\text{NP}} = 10 \text{ nm}$
 $m_{\Sigma \text{ NP}} = 2,2 \text{ mg}$
 $A_{\Sigma \text{ NP}} = 314159 \text{ mm}^2$

Monomolekulare Oberflächenbelegung
(10 nm Partikel auf 10nm x 10nm Fläche)

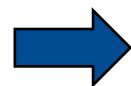
$F = 1 \text{ mm}^2$



$F = 10000 \text{ mm}^2 = 0,1 \text{ m}^2$



Warum Nano?



- Durch Nanopartikel steigt äußere „reaktive“ Partikeloberfläche um Faktor 10^5
- Vorteil „reaktive“ Oberfläche Kugel (πD^2) vs planare Schicht (D^2): Faktor Pi
- Für 1 m² Filteroberfläche mit TiO₂-Beschichtung benötigt man 22 mg

„Alles über Material und wie man es macht“
Moleküle – **nanostrukturiertes Material** - Feststoff



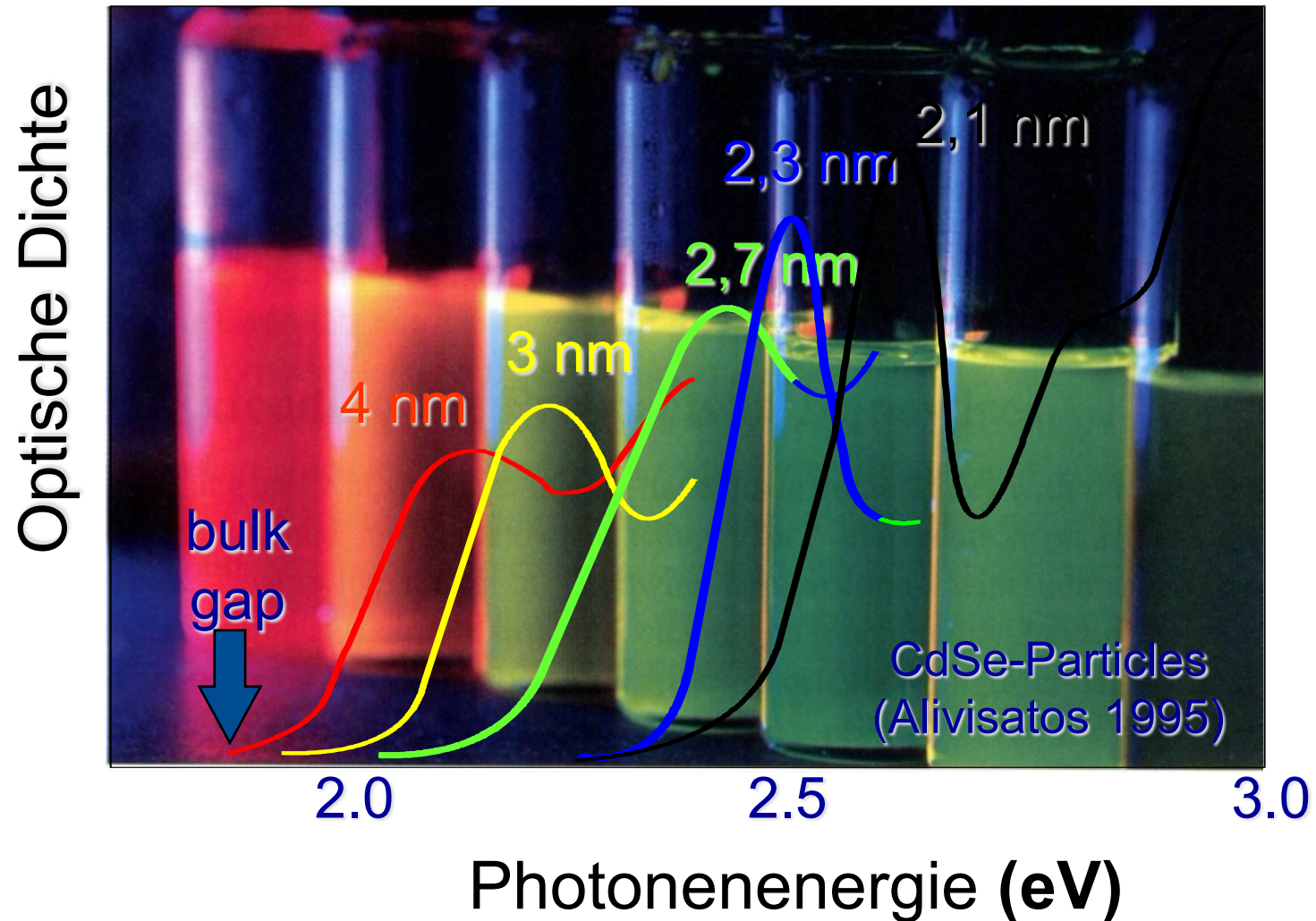
Nanopartikel



Besonderheiten:

Oberflächenzunahme

Veränderte Physik



„Alles über Material und wie man es macht“

Moleküle – **nanostrukturiertes Material** - Feststoff



Nanopartikel



Besonderheiten:

Oberflächenzunahme

Veränderte Physik

Erhöhte Mobilität

Aufgabe:

- **Synthese von Nanopartikeln variabler Zusammensetzung, Größe und Morphologie**

Forschungs- und Lösungsansatz im IUTA:

- **Gasphasensynthese nanoskaliger Materialien mit hoher Reinheit im technisch relevanten Mengenmaßstab**
 - **Sprayflammen gestützte Partikelsynthese**
 - **Mikrowellen gestützte Plasmen zur Partikelgenerierung**
 - **Elektrisch beheizte Rohrreaktoren**
- **Prozessintegrierte Funktionalisierung der Nanopartikel**

Katalyse:

- Elektrodenmaterialien zur H₂-Erzeugung (Reduzierung des Einsatzes von Edelmetallen durch nanoskalige Funktionswerkstoffe (TiO₂); **Anwendung: Elektrolyseure**)
- Mehrphasige, aktive Katalysatormaterialien; Synergieeffekte an den Phasengrenzen erhöhen die Aktivität derartiger Materialien; **Anwendung: Feststoffoxid-Brennstoffzellen**
- Nanomaterialien mit Perowskitstruktur in Elektrodensystemen; **Anwendungen: Festoxidbrennstoffzellen, Festoxid-Elektrolysezellen)**

Batteriematerialien:

- Silizium basierte Anodenmaterialien (anstatt Kohlenstoff) für höhere Lithium-Speicherkapazität (Faktor 8) **Anwendung: Lithium-Ionen-Batterietechnik**
- Lithiumtitanat (Li₂TiO₃) basierte nanoskalige Anodenmaterialien; **Anwendung: stationäre Energiespeicher**

Ansprechpartner: Herr Tim Hülser (huelser@iuta.de)

1. Nano-Krebstherapien

Eisenoxidhaltige Nanopartikel werden zu Therapiebeginn direkt in den Tumor eingebracht. Die Nanopartikel werden durch ein hochfrequentes Magnetfeld in Schwingung versetzt, wodurch Wärme direkt im Tumorgewebe entsteht. Die Tumorzellen werden in Abhängigkeit von der erreichten Temperatur und der Behandlungsdauer entweder direkt zerstört oder für eine begleitende Radio- oder Chemotherapie sensibilisiert.

2. Gelenkimplantate

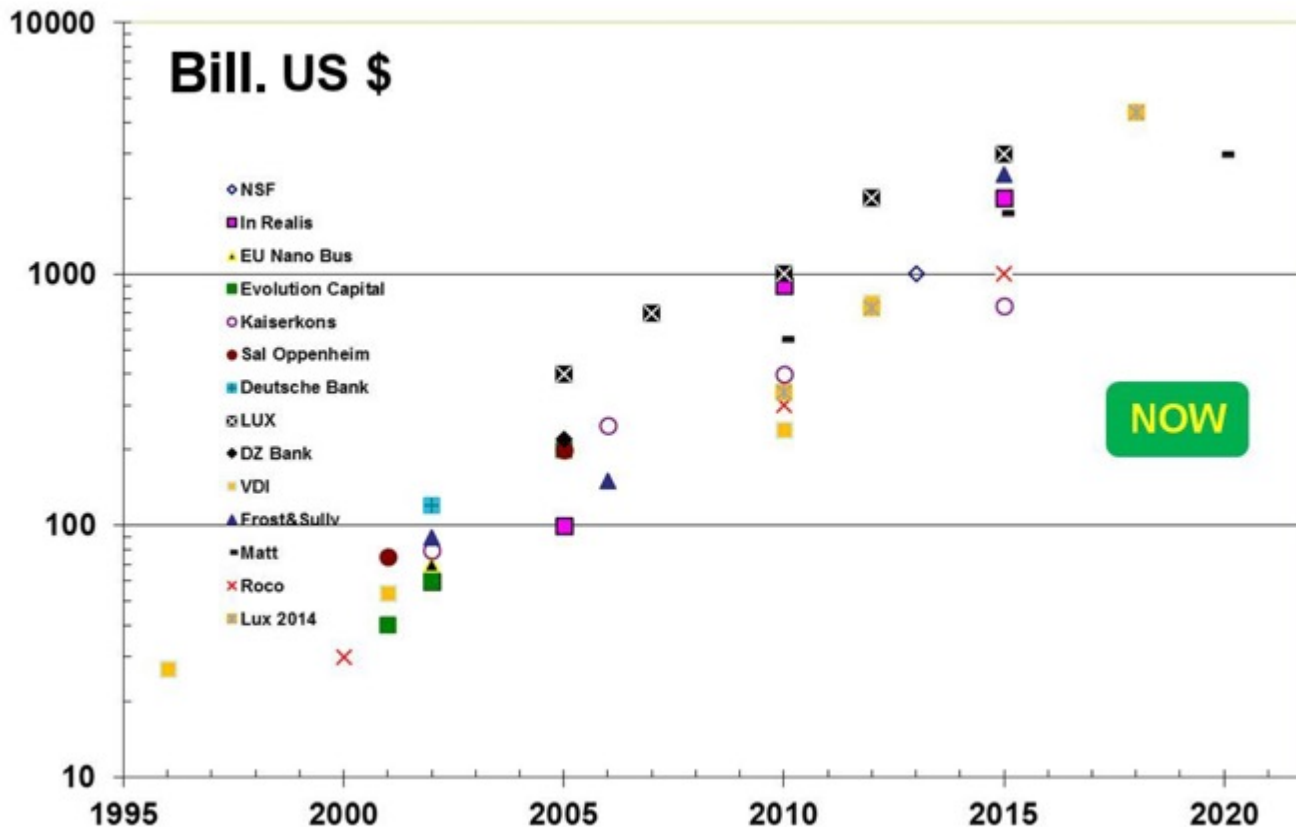
Spezielle Nanobeschichtungen auf den Gelenkimplantaten verbessern das Einwachsverhalten der Implantate. Die so genannten „nano-kristallinen n Calciumphosphatsalz-Beschichtungen“ (Hydroxylapatit) helfen, dass das Implantat vom Knochen schneller fixiert wird, was die Implantate-Stabilität und somit auch die Langlebigkeit des Implantats verbessert.

3. Blasenkatheter

Um die Gefahr der Besiedlung der Katheteroberfläche mit Bakterien einzudämmen, wird der Katheter mit einer speziellen Nanobeschichtung aus vergleichsweise ungeordneten Kohlenstoffstrukturen versehen. Hierdurch siedeln sich auf ihr keine Keime mehr an. Darüber hinaus ist die Schutzschicht chemisch beständig, gewebeverträglich und reibungsarm.

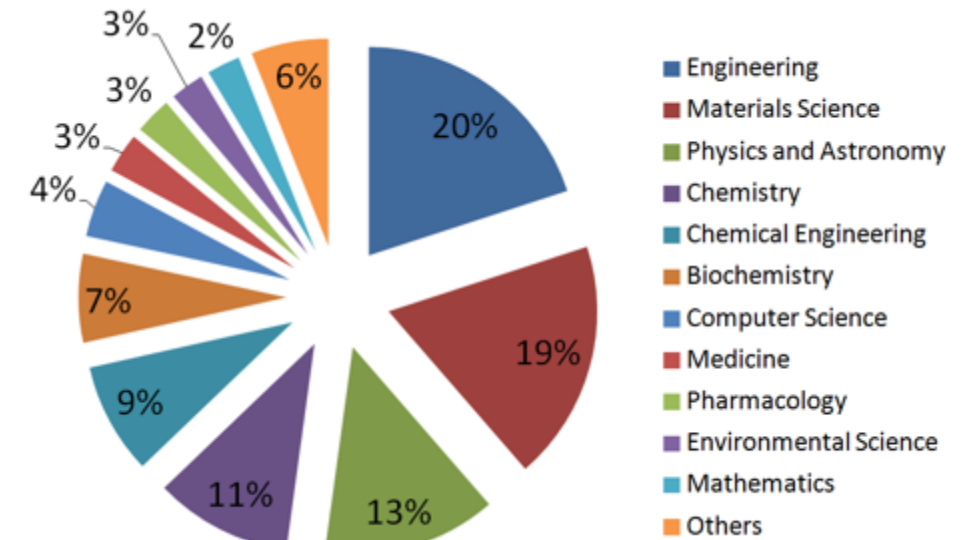
Quelle: Nanotechnologien in der Medizintechnik, BVMed 27.April 2011

Wirtschaftliches Potenzial der Nanotechnologie :



Quelle: www.nano.fraunhofer.de

Wissenschaftliche Arbeiten; Thema: Nanotechnologie



Quelle: www.scopus.com, 27.01.2020



Chancen

Ersatz für toxische Materialien
Verringerter Energieverbrauch
Mobile NP zur Grundwassersanierung
Wassersterilisation
Degradation von Schadstoffen
Entfernung von Schadstoffen
Medizinische Nutzung
Maßgeschneiderte Nutzung

Materialeffizienz
Energieeffizienz
Mobilität
Toxizität
Katalytische Aktivität
Sorptive Kapazität
Zellaufnahme
Funktionalisierung

Risiken

Unbekannte Effekte
Unbekannte Effekte
Verbleiben in Umwelt
Ökotoxizität
Ökotoxizität
Mobilisierung/Transport von Schadstoffen
Ökotoxizität
Höhere Mobilität, Ökotoxizität

B. Nowack (2009): In: *Nanomaterials: Environmental Risks and Benefits and Emerging Consumer Products*, Springer Verlag, S. 1-15

Wie die Chancen, so verdienen auch die Risiken dieser Technik Aufmerksamkeit. [...]

Die Risikoforschung in Deutschland und Europa ist weiter zu verstärken, abgestimmte Prüf- und Bewertungsstrategien, insbesondere innerhalb der OECD, sind zu entwickeln [...] Die Anwendung von Produkten, die Nanomaterialien frei setzen können, sollte dem Vorsorgeprinzip entsprechend so lange minimiert oder vermieden werden, bis durch eine umfassende Risikobewertung eine Besorgnis ausgeschlossen werden kann. So lange nicht die erforderlichen Daten für eine abschließende Bewertung von Produkten vorliegen, steht das Umweltbundesamt der Vergabe des „Blauen Engels“ an Nanomaterialien enthaltende Produkte ablehnend gegenüber.



<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3765.pdf>

sueddeutsche.de

Politik | Wirtschaft | Geld | Kultur | Sport | Leben | Karriere | München | Bayern | Medien | Digital

Home > Wissen | Gehirntainer | Gesundheitsvorsorge | Zehn Dinge | Alternative Heilverfahren

Nanotechnologie

Winzlinge mit großem Gefahrenpotential

Von Martin Kotynek

800 deutsche Firmen arbeiten mit Nanotechnik. Ein Gesetz, das ihren Einsatz regelt, gibt es nicht. Dabei könnten die Teilchen die Gesundheit schädigen.

Jeder isst sie, jeder trägt sie am Körper oder schmiert sie sich ins Gesicht. Obwohl sie noch niemand mit bloßem Auge gesehen hat, sind Nanoteilchen überall. Die industriell hergestellten Partikel sind winzig und können positive Wirkung entfalten...

ZEITUNG ONLINE | GESUNDHEIT

STARTSEITE | POLITIK | WIRTSCHAFT | MEINUNG | GESELLSCHAFT | KULTUR | WISSEN | DIGITAL

Gesundheit | Umwelt | Geschichte

NANOTECHNOLOGIE

Verdächtige Zwerge

Sogar Cremes enthalten Nanopartikel. Forscher haben jetzt untersucht, ob die Teilchen der Gesundheit schaden

Während über Chancen und Risiken der grünen Gentechnik erbittert gestritten wird, ist die Nanotechnologie in der öffentlichen Wahrnehmung...

Frankfurter Rundschau FR-online.de

Wissen & Bildung | Anzeigenmarkt | Zeitungsanzeige aufgeben

Startseite | In- & Ausland | Politik | Wirtschaft | Finanzen | Sport | Panorama | Kultur & Medien | Multimedia | Wissen & Bildung

Umweltbundesamt fordert Kennzeichnungspflicht Gesundheitsrisiken durch Nanotechnik

VON KARL-HEINZ KARISCH

Blutige Zeiten. Die extrem scharfen Schwerter der Araber waren bei den Kreuzfahrern des Mittelalters berüchtigt und gefürchtet. Denn der sagenumwobene Damaszener Stahl war nicht nur ungewöhnlich langlebig, sondern auch elastisch. Ohne es zu wissen, hatten die Schmiedemeister der Perser Nanotechnologie in die Schwerter eingebaut. Bei dem komplizierten...

BILD.de

NEWS | POLITIK | UNTERHALTUNG | WM 2010 | SPORT | LIFESTYLE | RATGEBER | AUTO | DIGITAL | SPIELE | REGIONAL

Übersicht | Kind & Familie | Mein Haustier | Gesund & Fit | Geld & Karriere | Immobilien | Vergleichen & Sparen | BILD Energie

Abwaschbare Kleidung, selbst reinigende Waschbecken, Kosmetik gegen das Altern

Nanotechnologie – Fortschritt oder gefährliche Zukunft?

Überall steckt DIE Schlüsseltechnik der Zukunft drin: Nanotechnologie! Das Besondere dabei sind die...
Im Detail: Was ist Nanotechnologie? Die Vorsilbe nana leitet sich aus dem griechischen Wort...

tagesschau.de

Suchbegriff

Startseite | Inland | Blog | Deppendorfs Woche | DeutschlandTrend

Umweltbundesamt warnt vor Nanotechnik

Kleine Teilchen, ganz groß - und gefährlich?


Autolacke werden widerstandsfähiger und Grauschleier auf Schokoriegeln verhindert: Die Nanotechnologie macht all das möglich. Sie gilt als die Schlüsseltechnologie der Zukunft. Doch jetzt warnt das Umweltbundesamt: Künstliche Nanoteilchen bergen eine Gefahr für Mensch und Umwelt.

Von Nora Binder für tagesschau.de

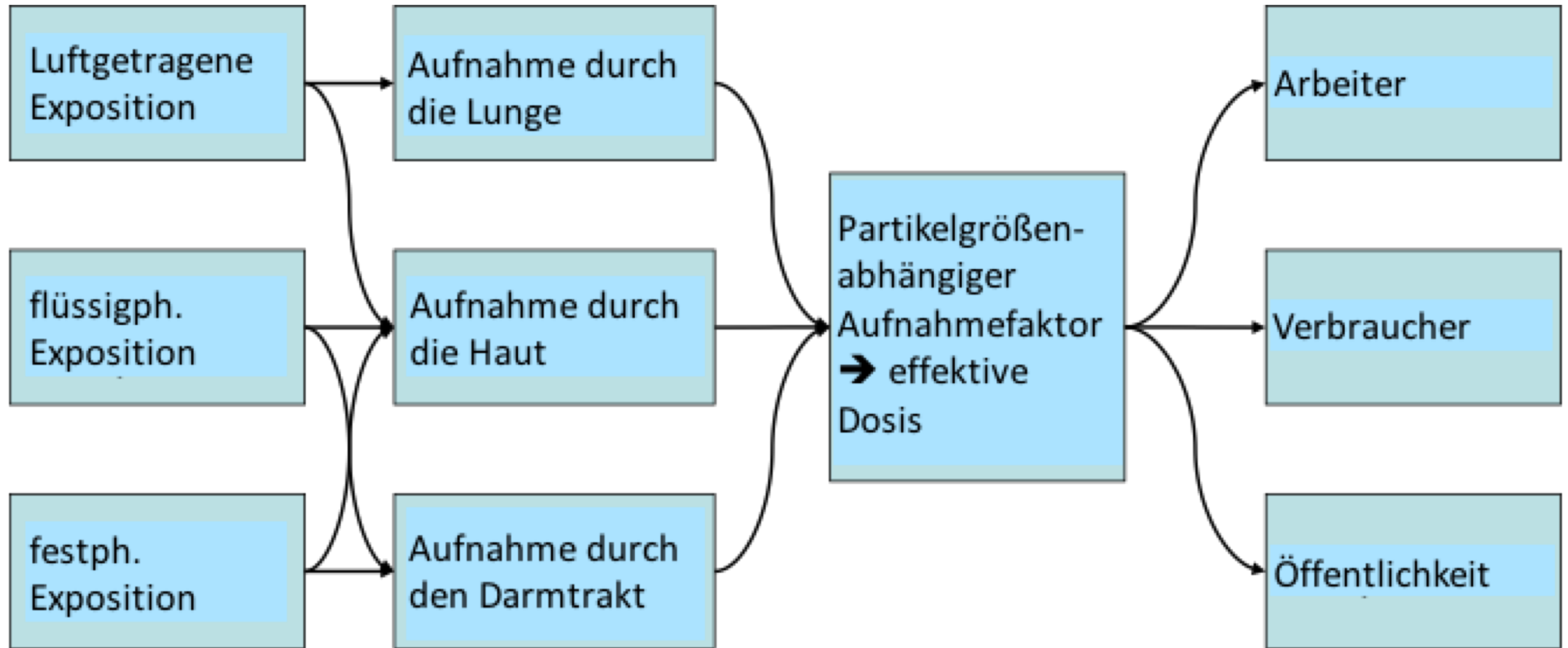
Informationen:  **DaNa^{2.0}**
<https://nanopartikel.info/nanoinfo/grundlagen>

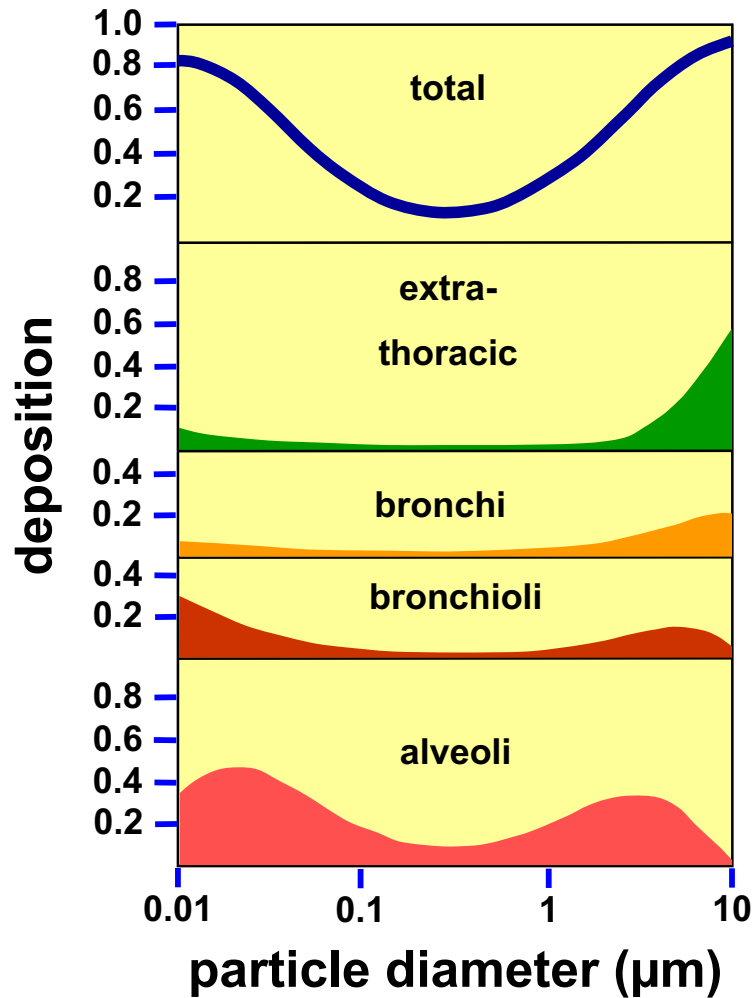
GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung
FZK 03X0131

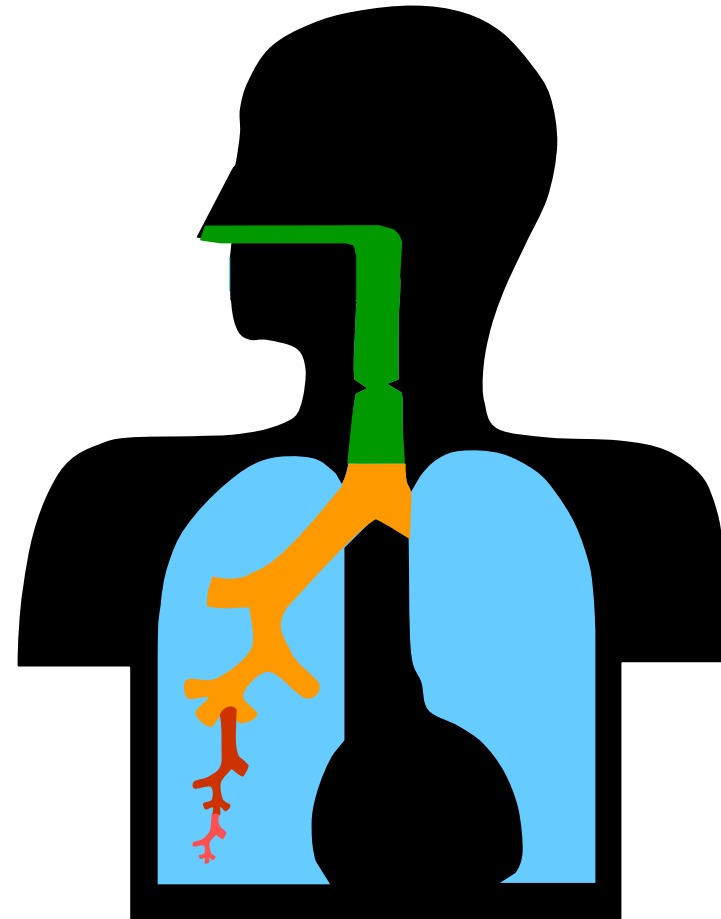
unterstützt durch

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Gesundheit BAG
Bundesamt für Umwelt BAFU



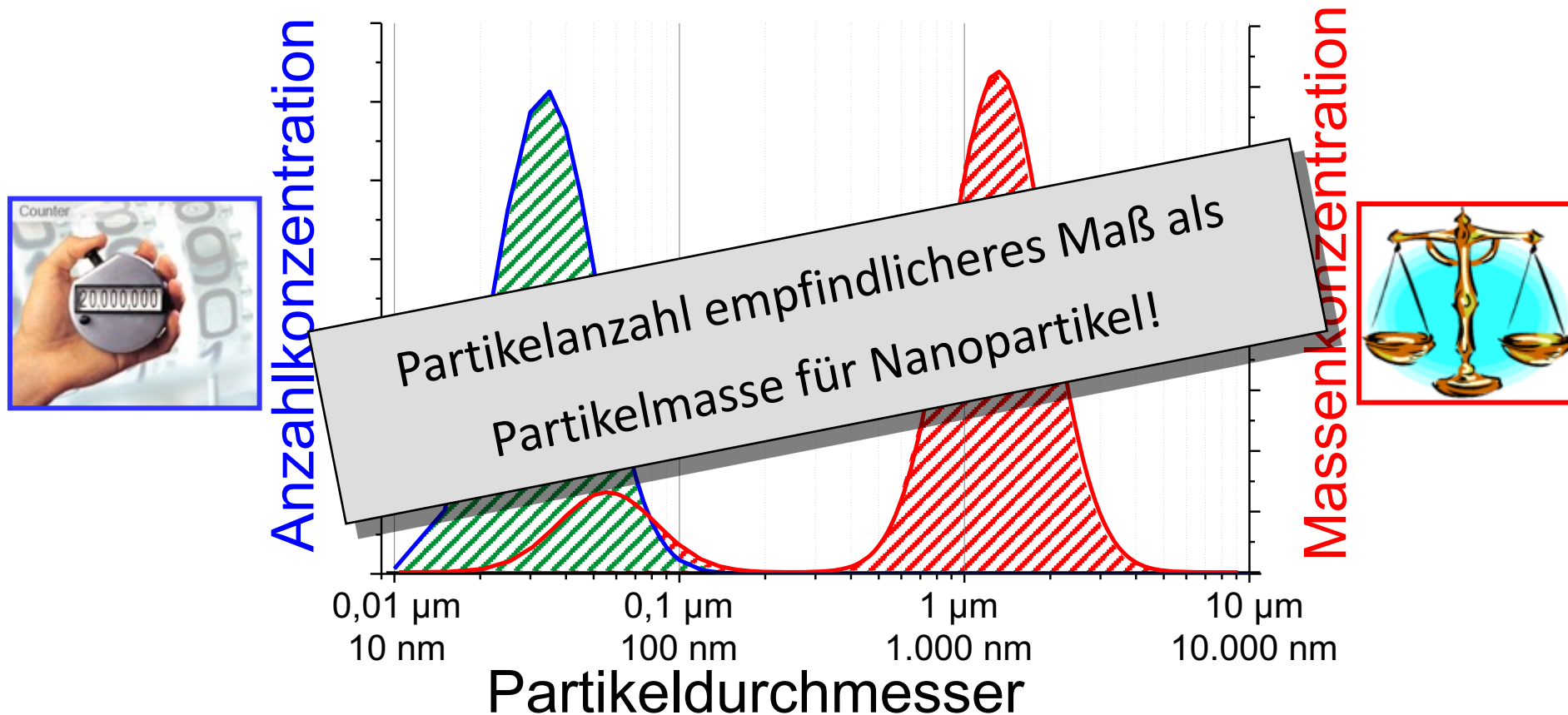


ICRP 66 (1994); MPPDep (2000)



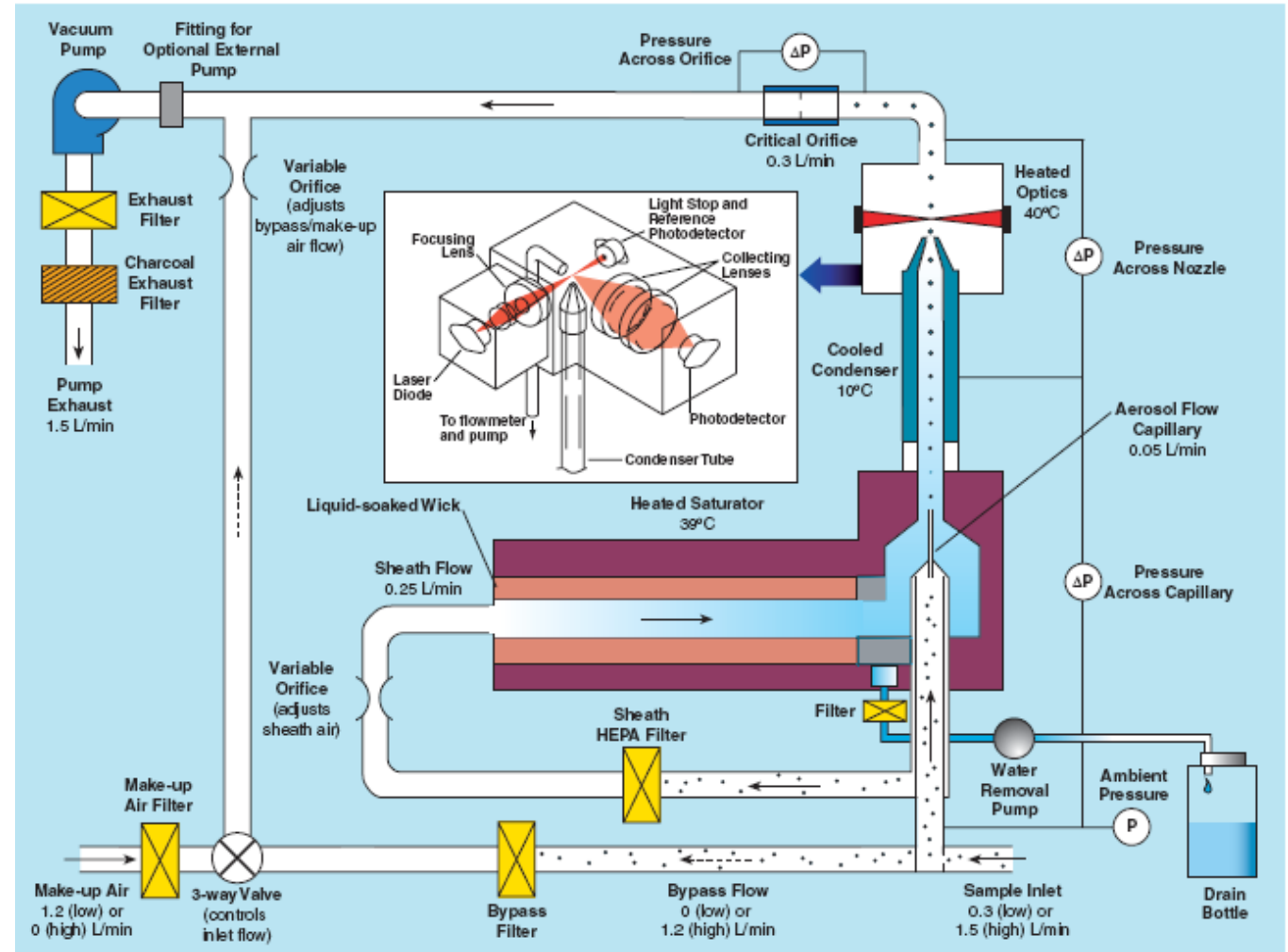
Particle density: 1 g cm^{-3}
breath flowrate: $300\text{ cm}^3\text{ s}^{-1}$
rest period between breath: 5 s

Courtesy W. Kreyling

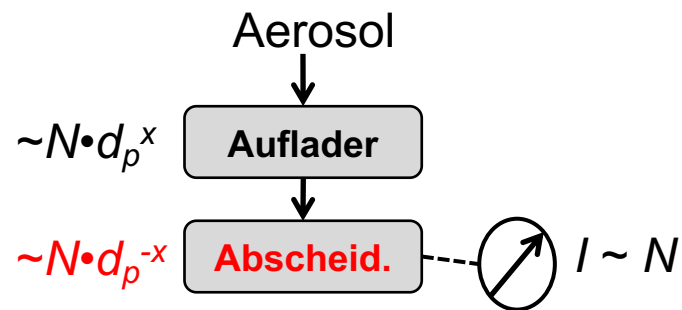


- Gesamtmassenkonzentration dominiert von großen Partikeln
- Beispiel: Ein 10 µm Partikel besitzt die gleiche Masse wie eine Million (10^6) 100 nm oder eine Milliarde (10^9) 10 nm Partikel
- Gesamtanzahlkonzentration dominiert von kleinen Partikeln

- Kondensationskernzähler (CPC)
- Bestimmt Partikelanzahlkonzentration (übliche Einheit $\#/cm^3$)
- Partikelgrößen $>2,5$ nm (je nach Modell)
- Partikel werden durch Kondensation auf optische detektierbare Größen aufgewachsen
- Konzentrationen: <1 $\#/cm^3$ bis 107 $\#/cm^3$ (je nach Modell)
- Zeitauflösung: üblicherweise 1 s
- Flüssigkeiten: Wasser, Butanol oder Isopropanol



- Basierend auf elektrischer Diffusionsaufladung der Partikel
- Gezielte Abscheidung und Messung des resultierenden Stromes
- Aus Strom: Berechnung der Anzahlkonzentration und des mittleren Durchmessers der Partikel
- Geringerer Wartungsaufwand als CPC
- Niedrigere Genauigkeit als CPC ($\pm 30\%$)
- Größenbereich: ca. 20 – 400 nm
- Konzentrationen: ca. 10^3 – 10^7 #/cm³



Philips Aerasense NanoTracer



Marra et al.
J. Nanopart. Res. 12:21-37, 2010

Grimm Aerosol NanoCheck



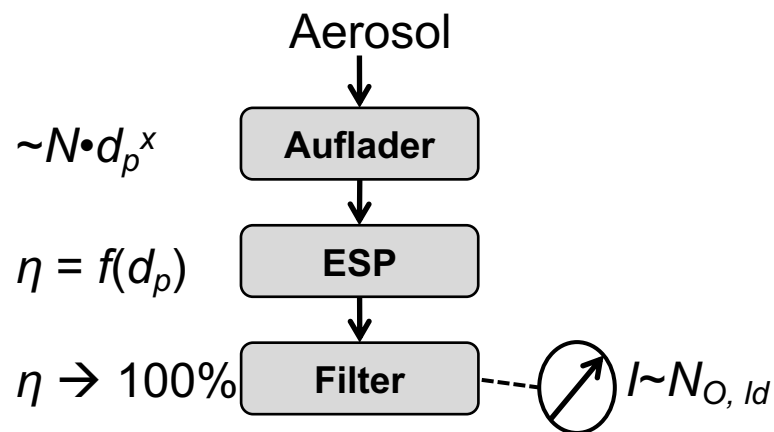
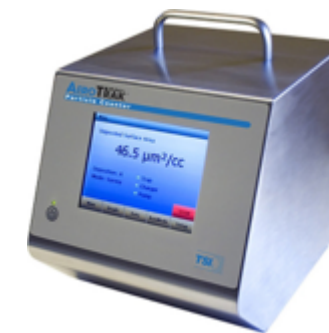
<http://www.grimm-aerosol.de/>

- Basierend auf elektrischer Diffusionsaufladung der Partikel
- Elektrische Manipulation der Größenverteilung
- Deposition auf Filter; aus Strom: Berechnung des Anteils der Oberflächenkonzentration, der in der menschlichen Lunge deponiert
- Partikeloberfläche scheint ein gesundheitsrelevantes Maß zu sein

TSI NSAM, Modell 3550



TSI Aerotrak 9000



Fissan et al., *J. Nanopart. Res.* 9:53-59, 2007

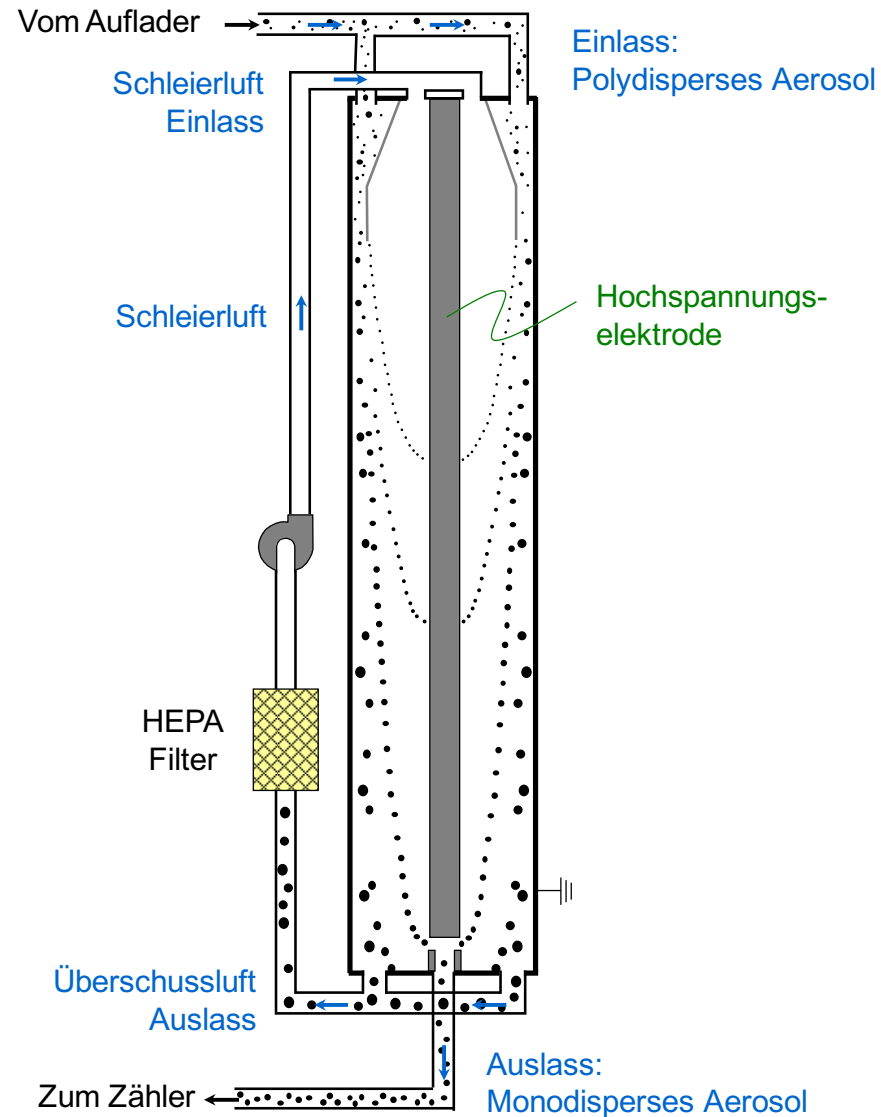
Shin et al., *J. Nanopart. Res.* 9:61-69, 2007

Asbach et al., *J. Nanopart. Res.* 11:101-109, 2009

Differenzieller Mobilitätsanalysator (DMA)

Spannung:
0 – 10.000 V

Partikelgrößen:
ca. 10 nm – 1 µm

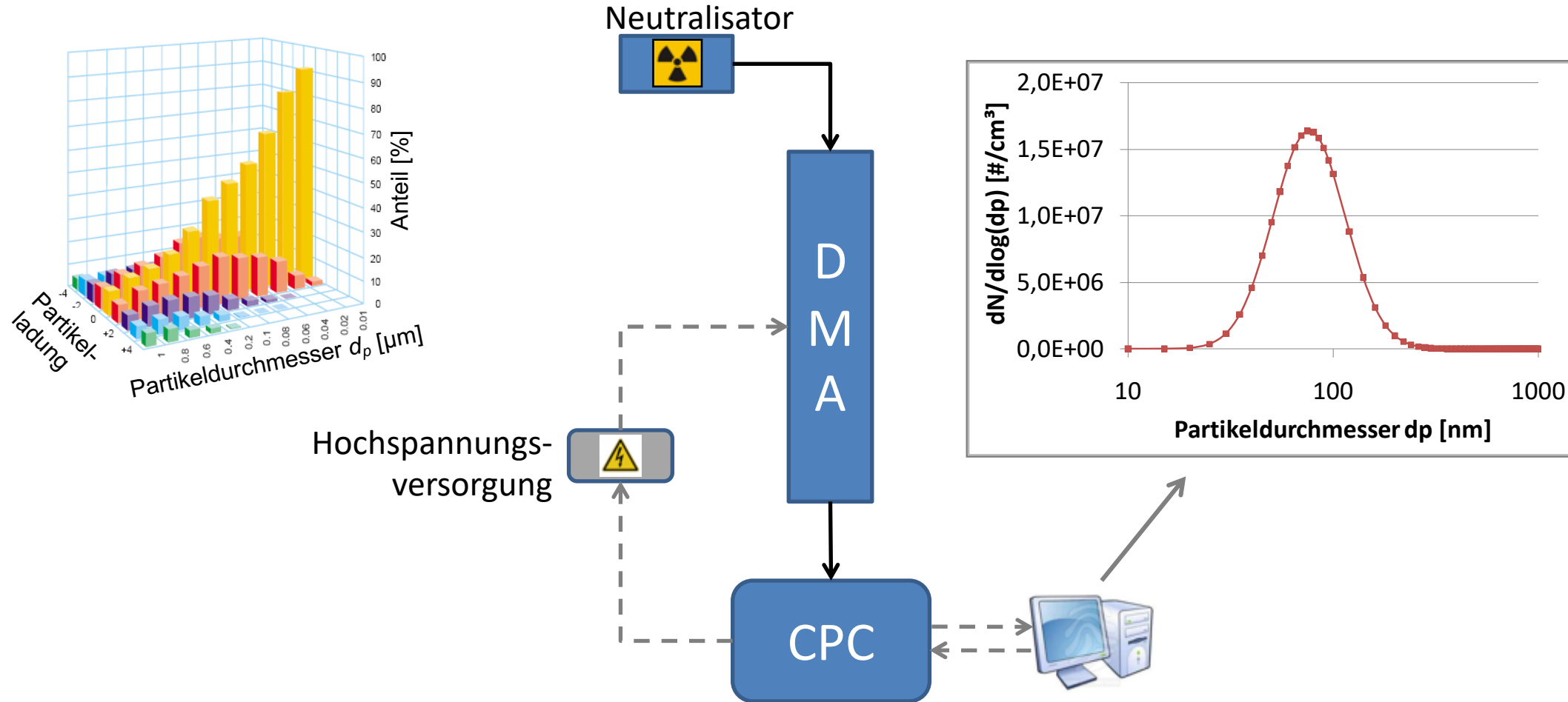


Elektrische Mobilität

$$Z_p = \frac{n \cdot e \cdot C_c(d_p)}{3\pi \cdot \eta \cdot d_p}$$

Knutson and Whitby
J. Aerosol Sci. 6: 443-451, 1975

Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)



S.C. Wang, R.C. Flagan, *Aerosol Sci. Technol.* 13: 230-240 (1990)



Keine Unterscheidung von Produkt-NM
von anderen nanoskaligen Partikeln
möglich!

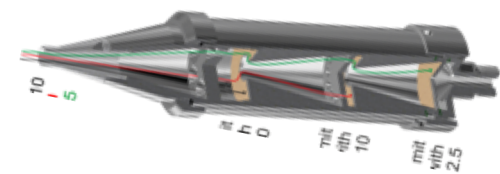
größen

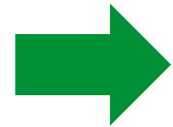
zeitintegriert
größenintegriert

Nur die Partikelsammlung ermöglicht
definitiven Nachweis von Produkt-
Nanomaterialien!

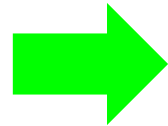
zeitaufgelöst
größenintegriert

zeitintegriert
größenaufgelöst

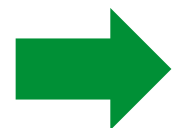
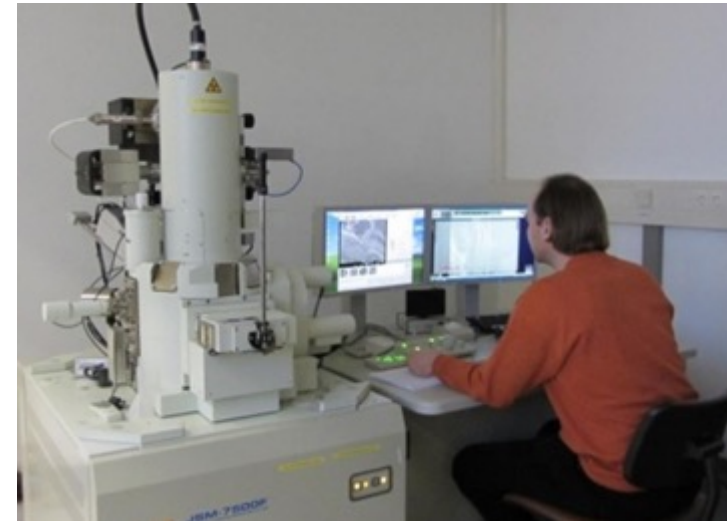
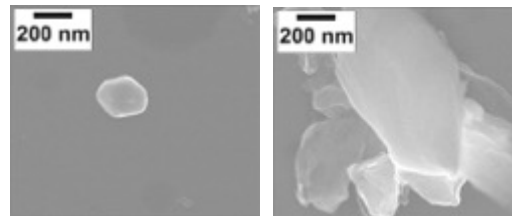




Emissionen über geführte Abgasströme (z. B. Verbrennungsprozesse oder Absaugungen)



direkte Messung möglich, Identifizierung der Produkt-Nanomaterialien notwendig!



Diffuse Emissionen (z. B. Freisetzung innerhalb der Anlage, diffuser Abtransport über Dachreiter auf Produktionshallen, offener Materialumschlag)



Spezifische Messstrategien notwendig!

Wirtschaftliches Interesse an gezielt hergestellten Produktpartikeln!



Untersuchungen zur Freisetzung von Nanomaterialien:
Arbeitsschutz

Produktion(Synthese)/Verarbeitung: Leckage, Störfall
-> Freisetzung von Primärpartikeln oder Agglomeraten

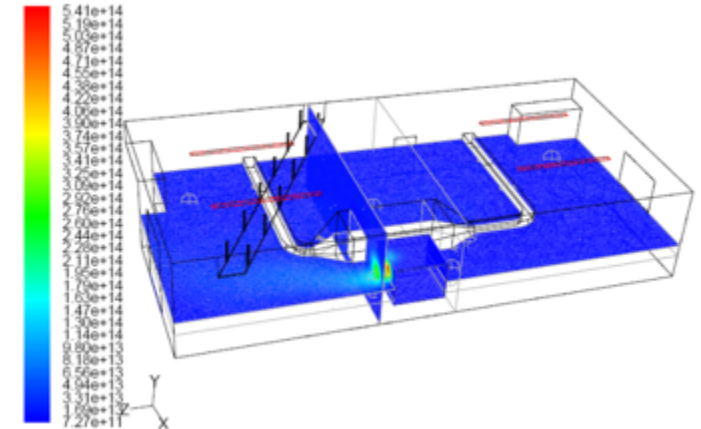
Handhabung von Pulvern, niedriger Energieeintrag:
Ab-/Umfüllen, wiegen
-> Freisetzung von Agglomeraten

Verarbeiten, hoher Energieeintrag: Mischen, Auftrag von Beschichtungen
-> Freisetzung von Primärpartikeln oder Agglomeraten

Bearbeiten des Endproduktes: Schleifen, Bohren, Schneiden
-> Freisetzung von Agglomeraten, i.d.R. eingebunden in eine Matrix

Entsorgung: Freisetzung beim Schreddern, Verbrennen, etc.

Zusammenfassung aktueller Messergebnisse in: Brouwer, D., Kuijpers, E., Bekker, C., Asbach, C., Kuhlbusch, T.; *Field and Laboratory Measurements Related to Occupational and Consumer Exposures*, in: Wohlleben, W., Kuhlbusch, T., Schnekenburger, J., Lehr, C.-M., *Safety of Nanomaterials along their Lifecycle*, Taylor&Francis Group 2015.

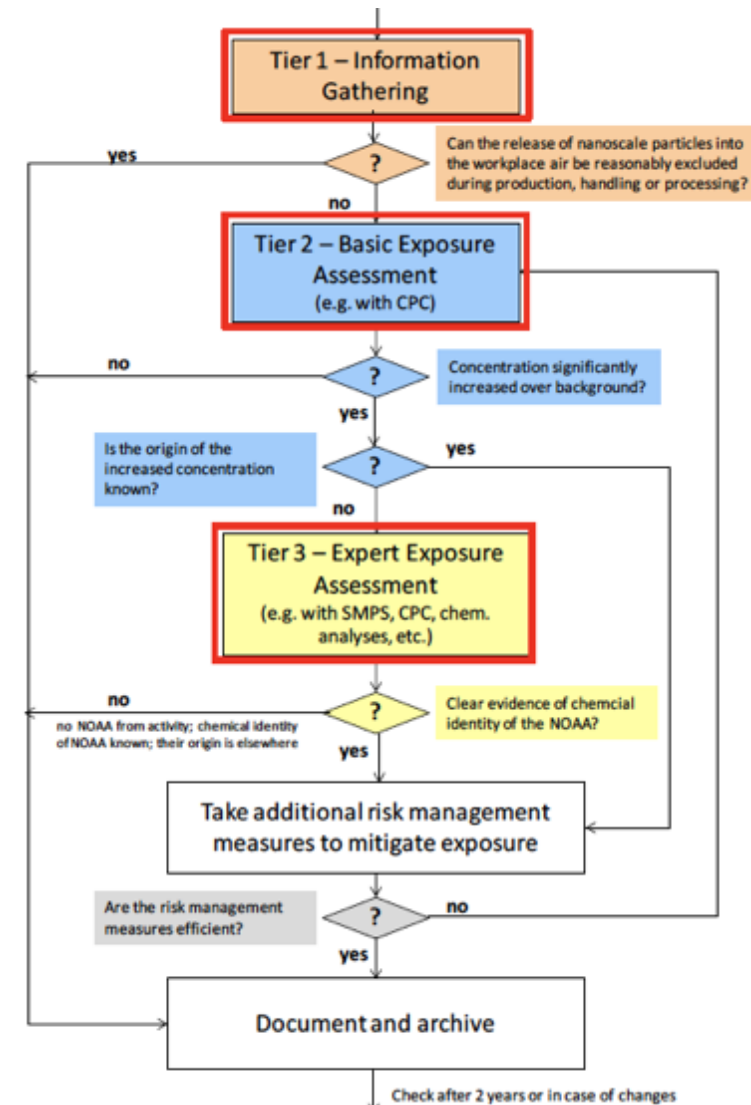


OECD Guidance Document

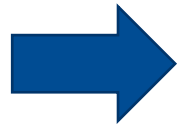
Stufe 1:
Sammlung von Informationen zum Arbeitsplatz und zum Nanomaterial

Stufe 2:
Vereinfachte Messung der Partikelkonzentration(en), Entweder kurzfristig (Screening) oder lang- bzw. längerfristig (Monitoring)

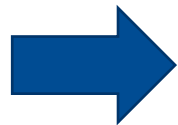
Stufe 3:
Umfangreiche physikalische/chemische Analyse der luftgetragenen Exposition zur abschließenden Beurteilung, ob eine Freisetzung stattgefunden hat.



Michele L. Ostraat, Thomas A.J. Kuhlbusch, Christof Asbach



Nur in Einzelfällen Emission vereinzelter primärer Nanoobjekte an Arbeitsplätzen bei sachgemäßer Handhabung während Herstellung und Verarbeitung, ggf. signifikante Emissionen in Störfällen



Freisetzung von agglomerierten Nanoobjekten (<300 nm) häufig beobachtet, v.a. beim offenen Umgang mit Pulverförmigen Nanomaterialien

Kuhlbusch, T., Asbach, C., Fissan, H., Göhler, D., Stintz, M., (2011) *Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review*, Particle and Fibre Toxicology 8, 22-40.

Kuhlbusch, T.A.J., Neumann, S., Fissan, H. (2004) *Number size distribution, mass concentration, and particle composition of PM1, PM2.5 and PM10 in Bag filling Areas of Carbon Black Production*, Journal of Occupational and Environmental Hygiene 1: 660 - 671.

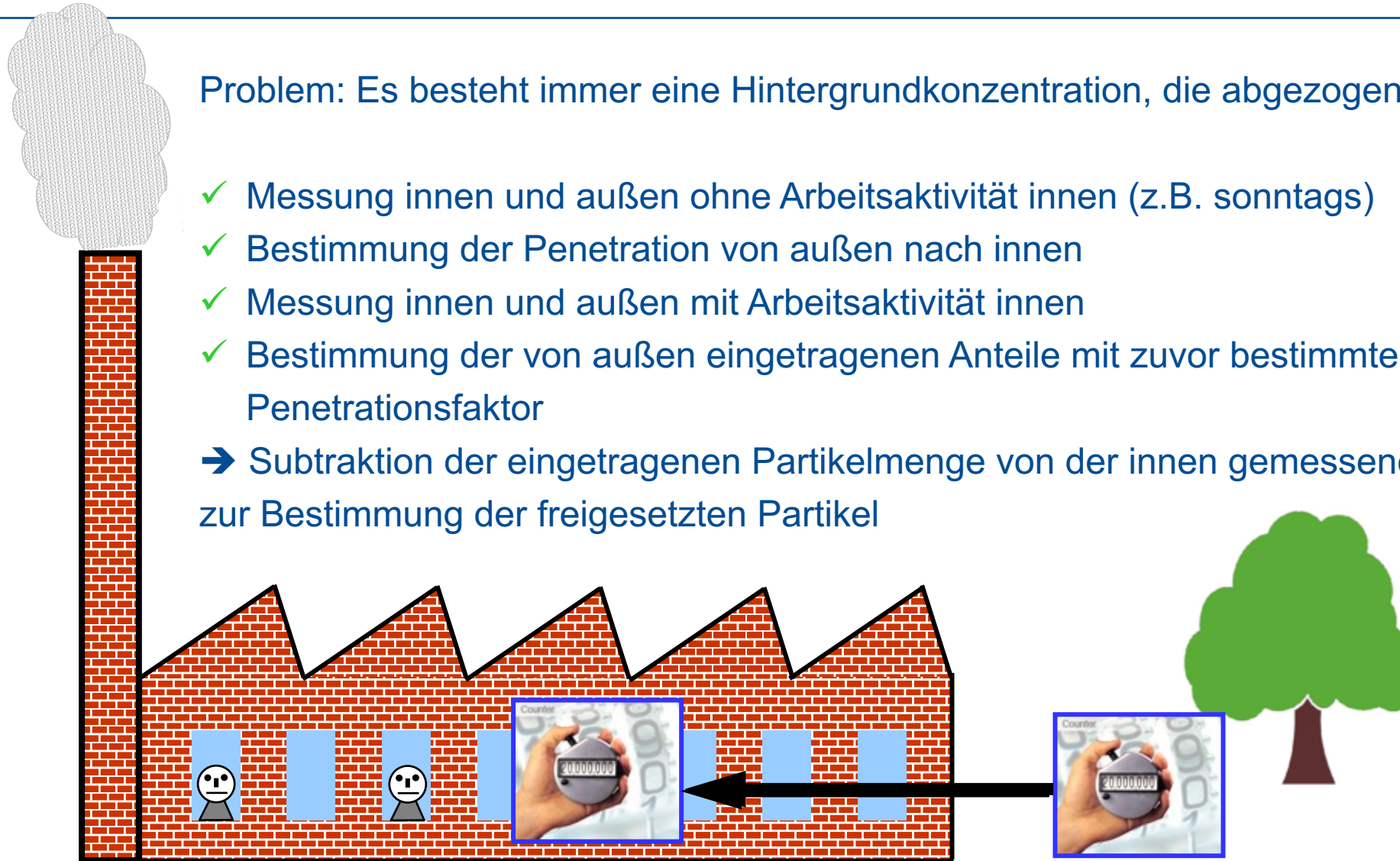
Kuhlbusch, T.A.J., Fissan, H. (2006) *Particle Characteristics in the Reactor and Pelletizing Areas of Carbon Black Production*, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 3(10): 558 - 567.

Kaminski, H., Beyer, M., Fissan, H., Asbach, C., Kuhlbusch, T.A.J. (2015) *Measurements of Nanoscale TiO₂ and Al₂O₃ in Industrial Workplace Environments – Methodology and Results*, Aerosol and Air Quality Research 15, 129-141.

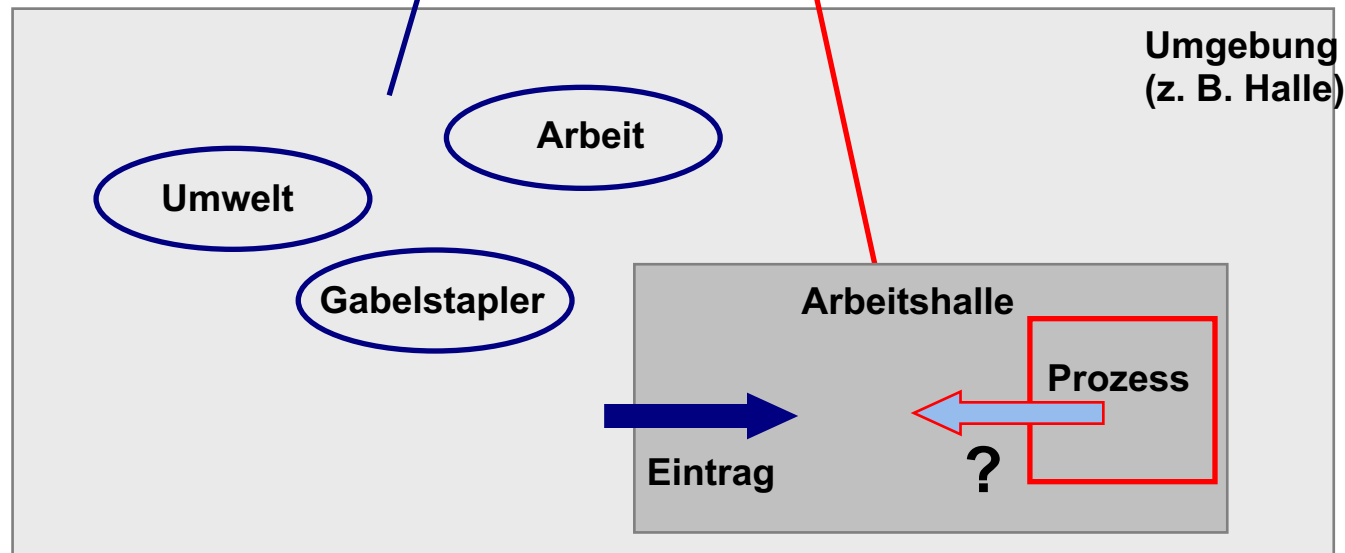
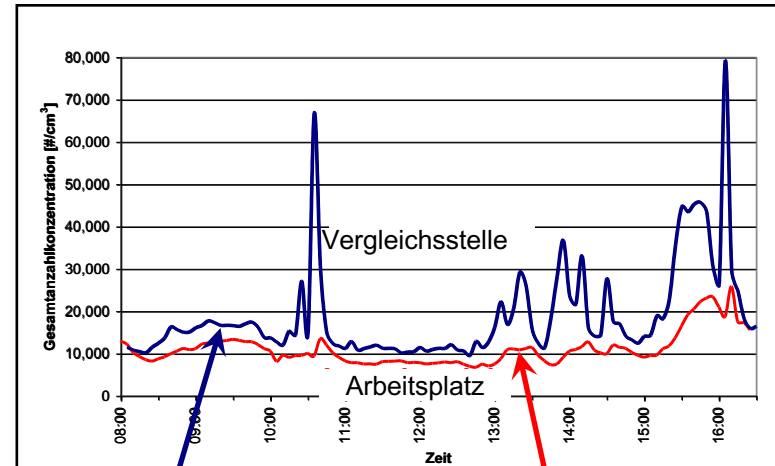
Beispiel 1 Freisetzung bei der Produktion

Problem: Es besteht immer eine Hintergrundkonzentration, die abgezogen werden muss!

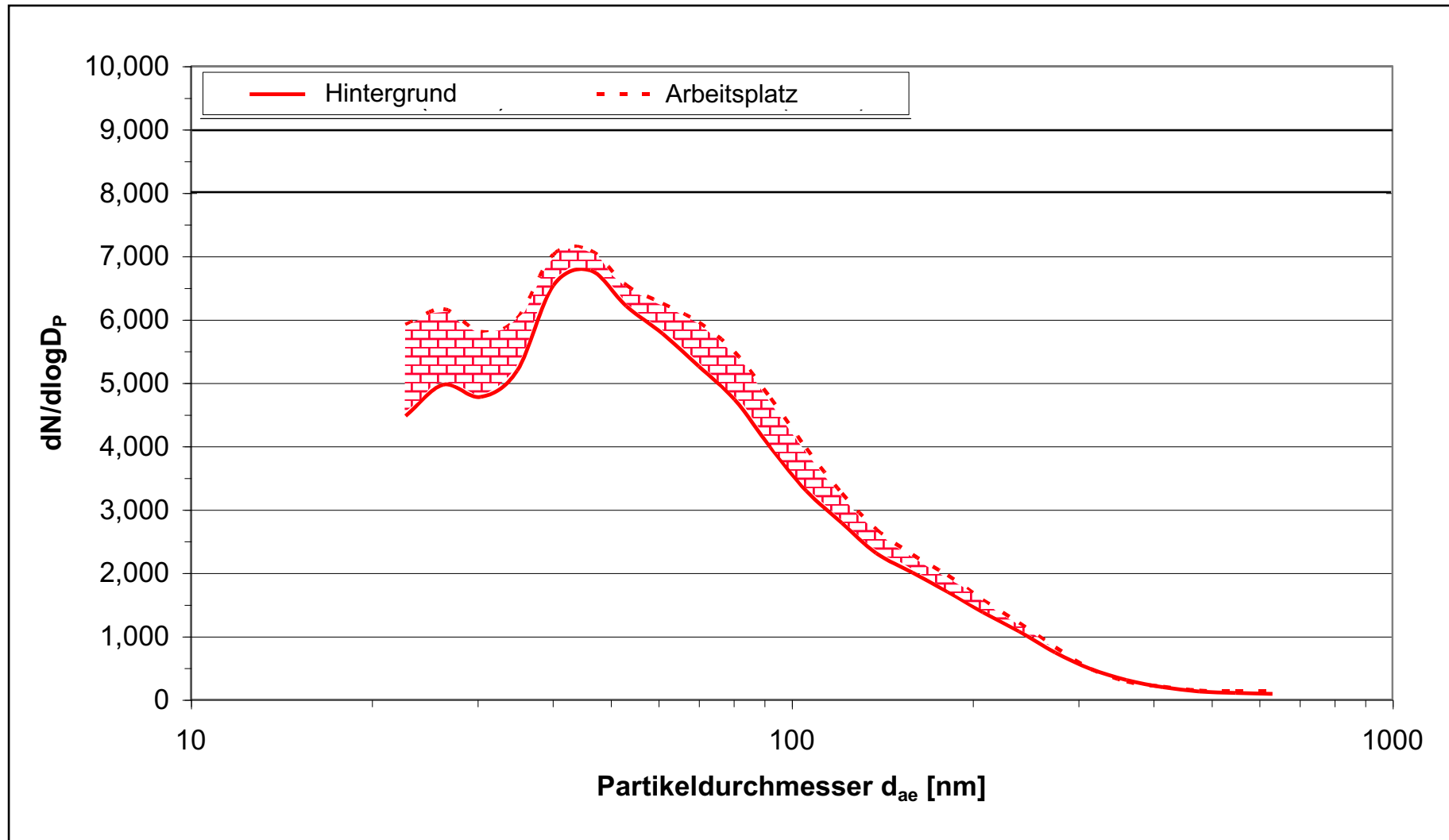
- ✓ Messung innen und außen ohne Arbeitsaktivität innen (z.B. sonntags)
 - ✓ Bestimmung der Penetration von außen nach innen
 - ✓ Messung innen und außen mit Arbeitsaktivität innen
 - ✓ Bestimmung der von außen eingetragenen Anteile mit zuvor bestimmtem Penetrationsfaktor
- Subtraktion der eingetragenen Partikelmenge von der innen gemessenen Partikelmenge zur Bestimmung der freigesetzten Partikel



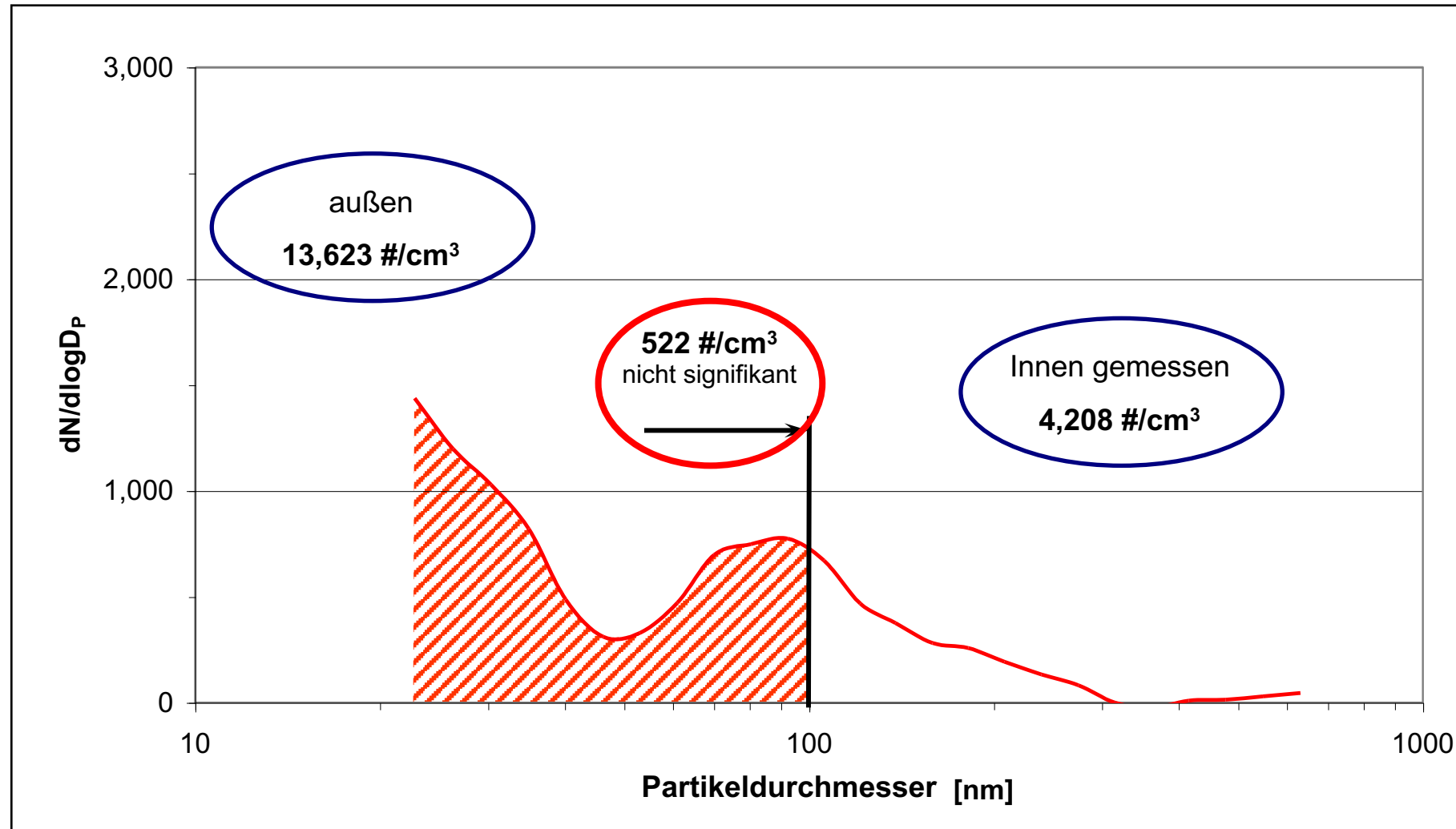
Beispiel 1 Messstrategie Expositionsbestimmung der Produktion



Beispiel 1 Unterscheidung Hintergrund <-> freigesetzte Partikel



Beispiel 1 freigesetzte Größenverteilung



Beispiel 1 Ergebnisse Arbeitsplatzmessungen

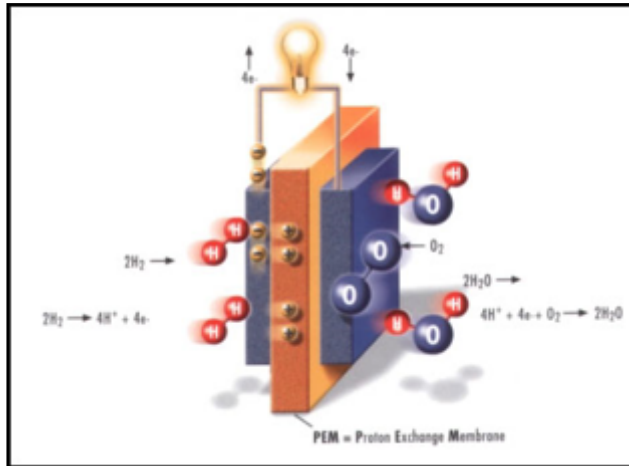


Freisetzung von Partikeln	≤ 100 nm	100-450 nm	≥ 450 nm	Messgeräte
Arbeitsplätze in Werk 1				
Reaktor- und Abfüllbereich Ceroxid	nicht signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	SMPS-T1, SMPS*, FMPS, NAS
Reaktor- und Abfüllbereich Titan-Silizium Mischoxide	nicht signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	SMPS-T1, SMPS*, FMPS, NAS
Arbeitsplätze in Werk 2				
Trocknerbereich Barium	nicht signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	SMPS-T1, SMPS*, FMPS, NAS
Mischen von AIOOH mit Polymer	nicht signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	SMPS-G1, CPC, NAS
Kompoundierung von AIOOH Mischung	nicht signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	SMPS-G1, CPC, NAS
Granulierung von AIOOH Kompound	nicht signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	SMPS-G1, CPC, NAS
Spritzguss AIOOH	nicht signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	SMPS-G1, CPC, NAS

Keine signifikante Freisetzung von Partikeln ≤ 450 nm gemessen an gut gewarteten Anlagen



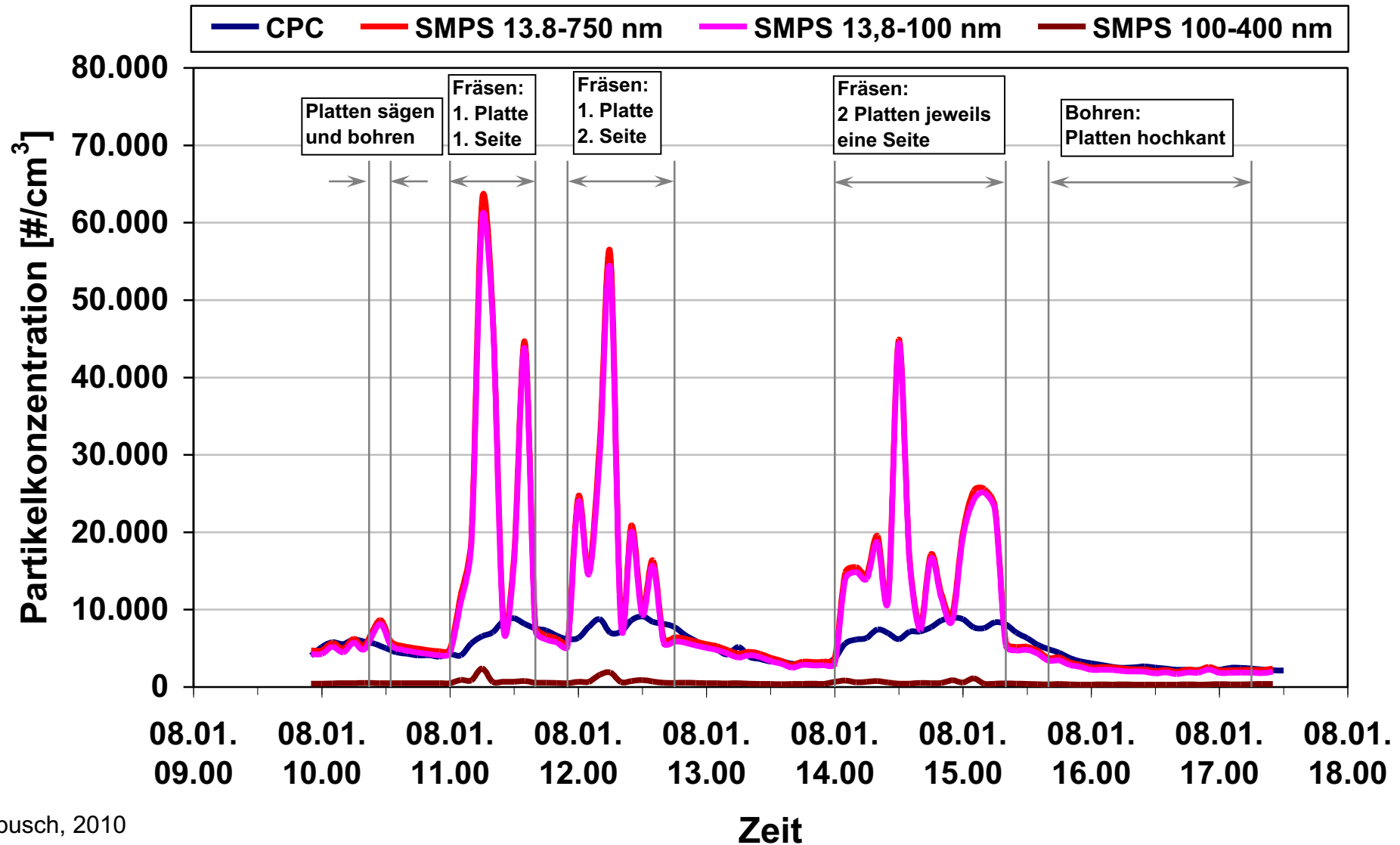
PEM Brennstoffzelle



Bipolarplatten mit CNT



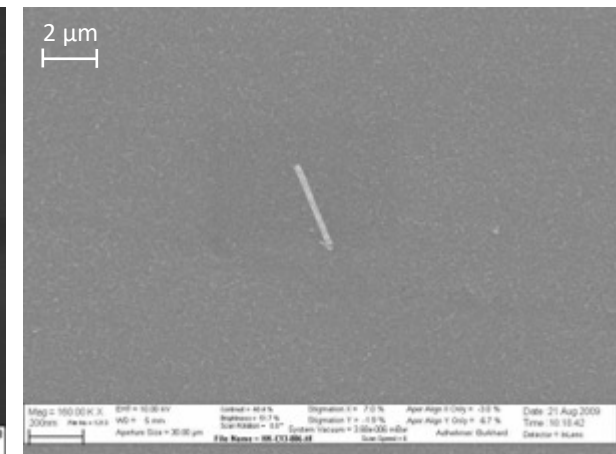
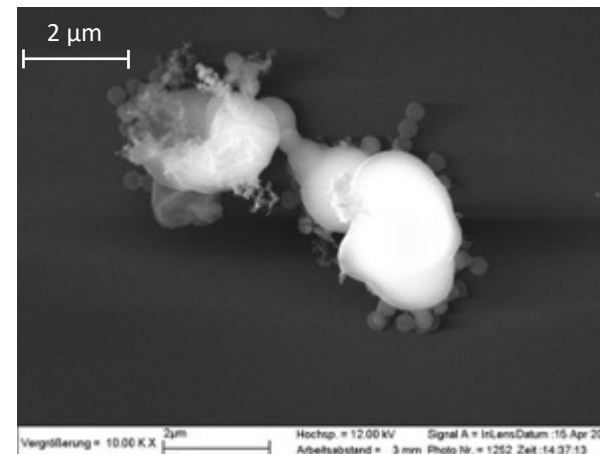
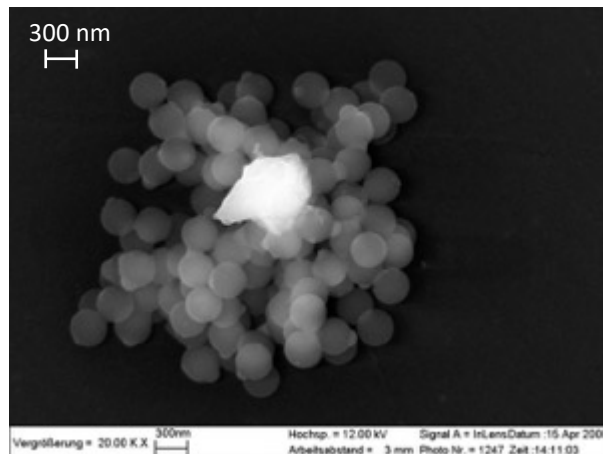
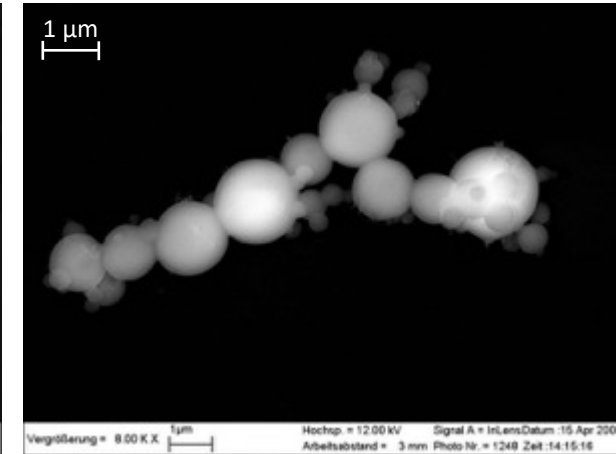
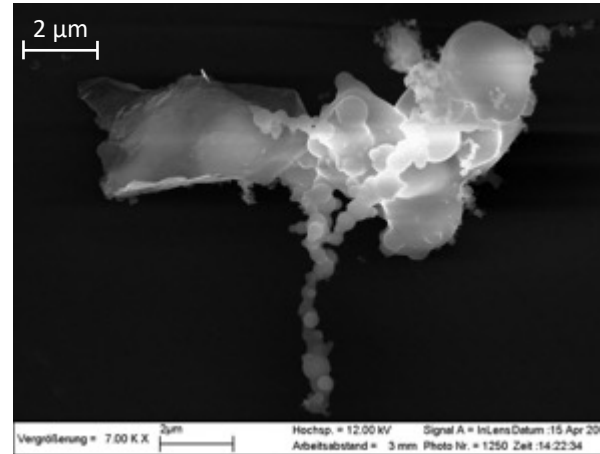
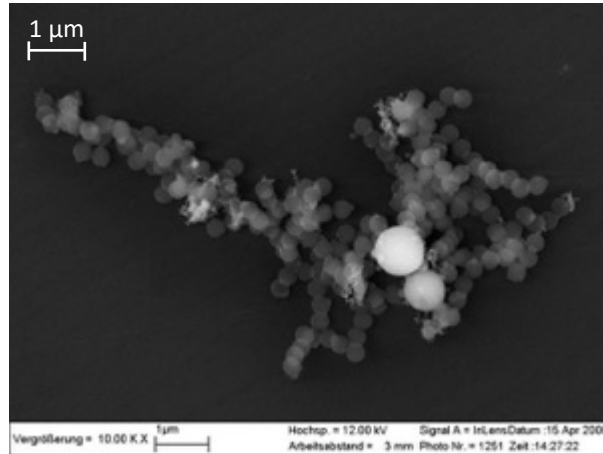
Beispiel 2 Partikelanzahlkonzentrationen – Fräsen und Bohren



Kaminski & Kuhlbusch, 2010

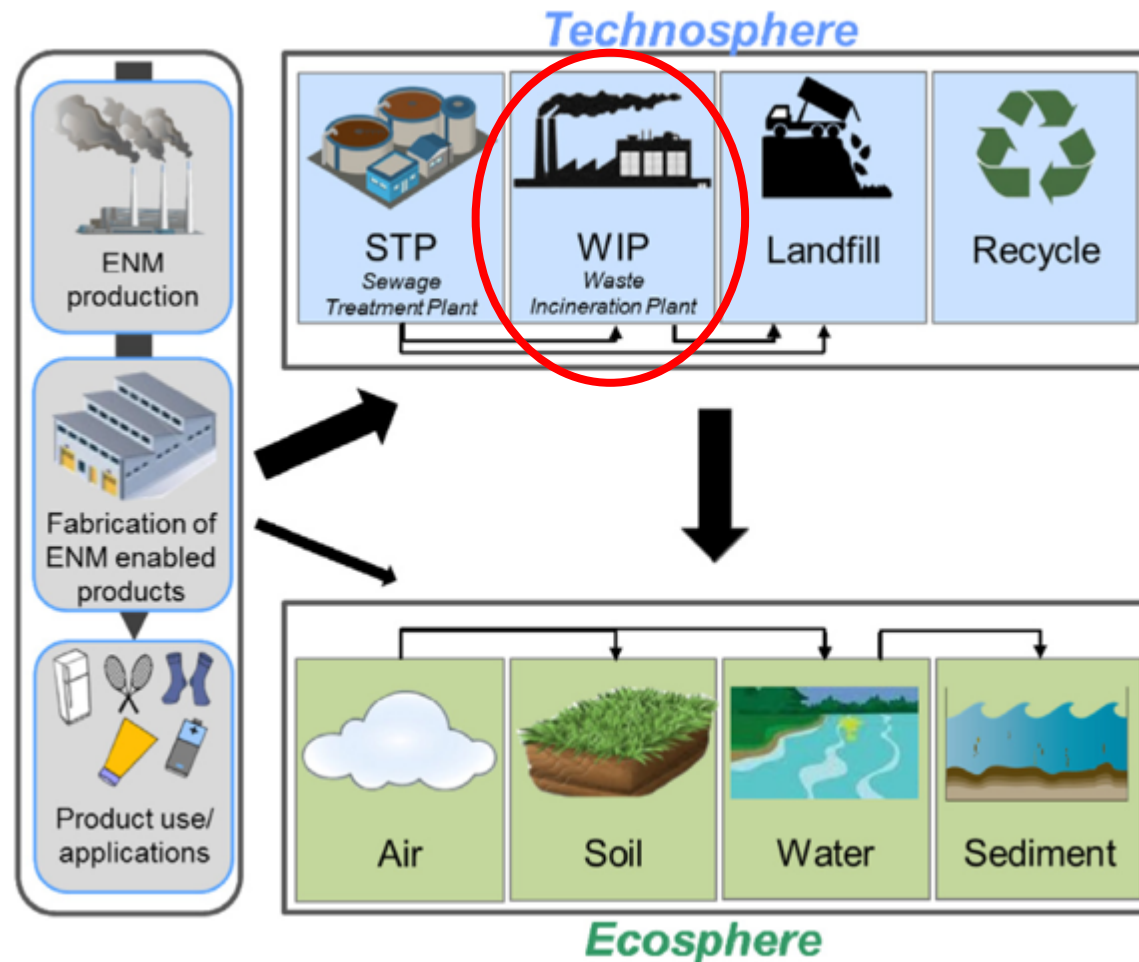


Beispiel 2 Freisetzung während des Fräsens und Bohrens



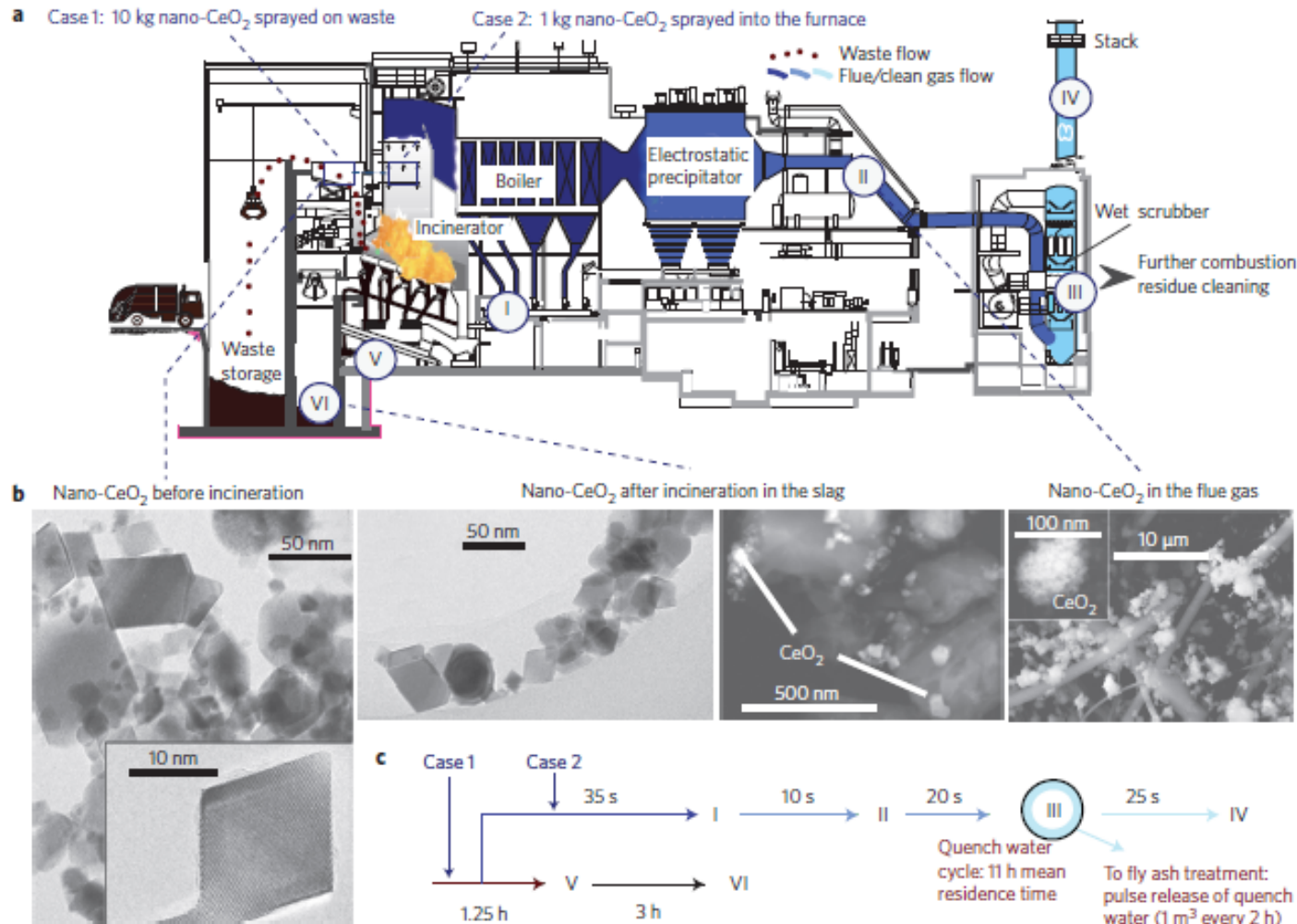
Eine einzelne freie Faser detektiert

Beispiel 3 am Ende der Nutzung



Sun, T.Y., Gottschalk, F., Hungerbühler, K., Nowack, B., *Comprehensive probabilistic modelling of environmental emissions of engineered nanomaterials*, 2014, *Environmental Pollution* 185 (2014) 69-76.
Walser, T., Limbach, L., Brogioli, R., Erismann, E., Flamigni, L., Hattendorf, B., Juchli, M., Krumeich, F., Ludwig, C., Prikopsky, K., Rossier, M., Saner, D., Sigg, A., Hellweg, S., Günther, D., Stark, W., (2012) *Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant*, *NATURE NANOTECHNOLOGY* (7) 520-524.

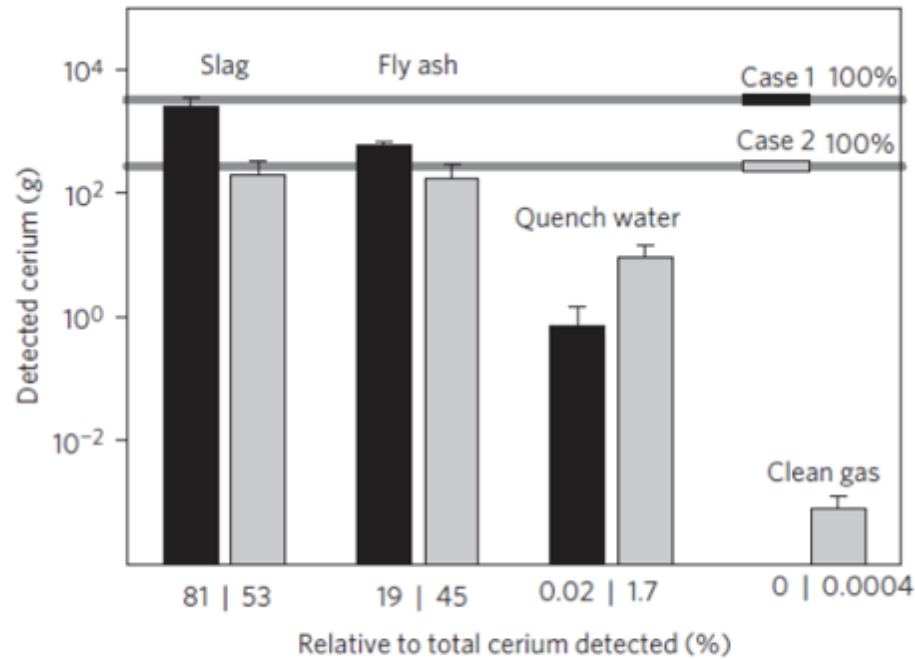
Beispiel 3 am Ende der Nutzung



Fall a)
10 kg Nano-CeO₂ wurde auf Abfall aufgesprüht (Anlagendurchsatz 7 t/h)

Fall b)
1 kg Nano-CeO₂ wurde in Brennkammer vor Verdampfer ins Rauchgas gesprüht

Walser, T., Limbach, L., Brogioli, R., Erismann, E., Flamigni, L., Hattendorf, B., Juchli, M., Krumeich, F., Ludwig, C., Prikopsky, K., Rossier, M., Saner, D., Sigg, A., Hellweg, S., Günther, D., Stark, W., (2012) Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant, NATURE NANOTECHNOLOGY (7) 520-524.



Messung
+
Modellierung



**Typische MVA (Tagesdurchsatz 100 Tonnen):
Emission ca. 0,1 kg – 1,5 kg NM/a
≅ 0,02 % - 0,25 % des aufgegebenen NM**

Figure 3 | Relative and absolute recovered mass of cerium in the combustion residues. The added 10 kg nano-CeO₂ (case 1) and 1 kg nano-CeO₂ (case 2) are mainly transferred to the slag, fly ash and the quench water. Along the cleaning steps, cerium mass decreased by orders of magnitude. Error bars include measurement uncertainty, heterogeneity of the samples and residue flow variability.

Walser, T., Limbach, L., Brogioli, R., Erismann, E., Flamigni, L. Hattendorf, B., Juchli, M., Krumeich, F., Ludwig, C., Prikopsky, K., Rossier, M., Saner, D., Sigg, A., Hellweg, S., Günther, D., Stark, W., (2012) *Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant*, NATURE NANOTECHNOLOGY (7) 520-524.

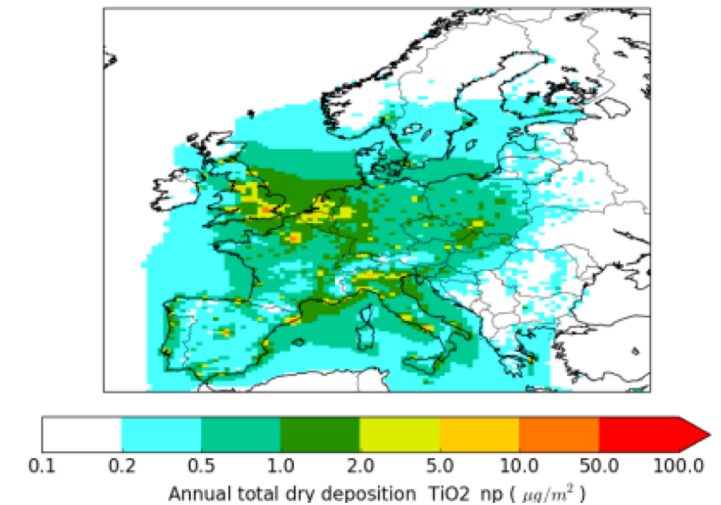
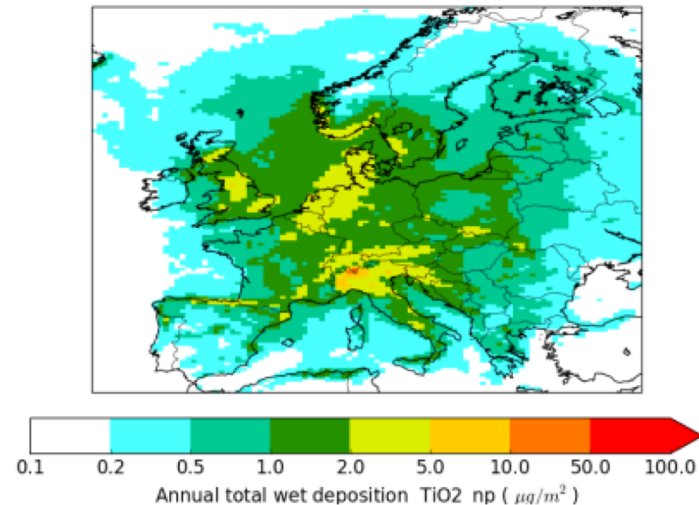
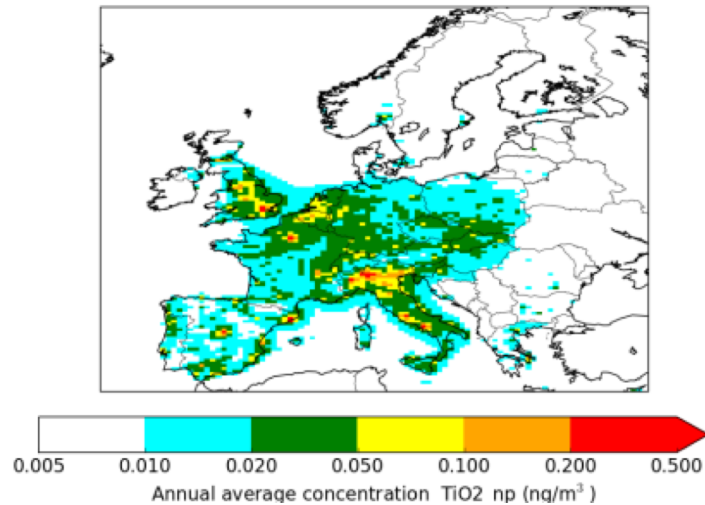
Vejerano, E., Leon, E., Holder, A., Marr, L. (2014) *Characterization of particle emissions and fate of nanomaterials during incineration*, Environ. Sci.: Nano, 1, 133-143

Beispiel 4: Verhalten von TiO₂-ENM in der Umwelt

Airborne concentration

Wet deposition

Dry deposition



- **Nanomaterialien werden mittlerweile in großen Mengen hergestellt und genutzt, Tendenz steigend**
- **Freisetzung von Nanomaterialien in die Umwelt ist generell während des gesamten Lebenszyklus möglich**
- **Erfahrungen aus dem Arbeitsschutz können für Fragestellungen hinsichtlich Umweltemissionen übertragen werden**
- **Nachweis der Freisetzung aus Anlagen (gefasst und diffus) ist generell möglich**
- **Aufwendiges Verfahren zur Unterscheidung von Produkt-Nanomaterialien von Hintergrundbelastung bzw. unbeabsichtigt entstandenen nanoskaligen Partikeln**
- **Entwicklung eines gestuften Ansatzes zur Bestimmung der Emissionsbeiträge in der Umgebung einer Produktionsanlage**
- **Informationen zur Modellierung der Emissionen über den gesamten Lebenszyklus noch zu gering**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. Stefan Haep

IUTA - Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.

haep@iuta.de

www.iuta.de

Stefan Haep, Wenden, 29.01.2020