



Die Zukunft der Nanotechnologie

Symposium
anlässlich des 70. Geburtstages von
Prof. Dr.-Ing. Heinz Fissan
am 5. September 2008



Vorwort:

„Nanotechnologie“ ist ein Begriff, der in den letzten 20 Jahren eine gewaltige Verbreitung, nicht nur in der wissenschaftlichen Literatur, sondern auch im gesellschaftlichen Leben erfahren hat. In Bezug auf die Universität Duisburg-Essen kommt Herrn Prof. Heinz Fissan dabei eine führende Rolle zu. Aus Anlass seines 70-igsten Geburtstages haben wir dieses Festkolloquium organisiert.

Nun wäre Herr Fissan nicht Ingenieur geworden, wenn ihn der Blick in die Zukunft nicht mehr fasziniert hätte als der Blick zurück in die Vergangenheit. Letzteres hätte ihn wohl eher zu einem Historiker gemacht. Daher lautet das Motto dieses Kolloquiums auch „Die Zukunft der Nanotechnologie“.

Ob eine Technologie aber überhaupt eine Zukunft hat, hängt stark von Ihrer Nachhaltigkeit ab. Weil dies Herrn Fissan sehr bewusst ist, hat er sich in den letzten 4 Jahren vorrangig mit Fragen zur *Nachhaltigkeit* der Nanotechnologie befasst und sie spielt daher in diesem Kolloquium keine ausschließliche, aber doch eine zentrale Rolle.

Wir bedanken uns noch einmal bei allen Gästen, Rednern und Sponsoren, die zum Gelingen dieser Veranstaltung beigetragen haben und hoffen, dass wir mit dieser Zusammenstellung aller Kolloquiumsbeiträge zumindest eine kleine bleibende Erinnerung geschaffen haben.

Roland Schmechel
Lehrstuhl für Nanostrukturtechnik

Duisburg, den 13.10.2008

Programm

„Die Zukunft der Nanotechnologie“

- 13:00 Begrüßung durch Prof. Dr. Roland Schmechel (NST) und Prof. Dr. Dieter Bathen (IUTA)
- 13:15 Prof. Dr. Roland Schmechel
„Möglichkeiten der Nanotechnologie:
Forschungsschwerpunkte an der Universität Duisburg-Essen“
- 13:45 Prof. Dr. Dave Pui
„EUVL and its Contamination Problems“
- 14:15 Kaffeepause

Programm

„Die Zukunft der Nanotechnologie“

14:15 Kaffeepause

14:45 Dr. Wolfgang Kreyling

„Vor- und Nachteile von Nanopartikeln auf die Gesundheit des Menschen“

15:15 Dr. Thomas Kuhlbusch

„Nanopartikel-Exposition in der Umwelt“

15:45 Prof. Dr. Heinz Fissan

„Visionen eines Ingenieurs zur Zukunft der Nanotechnologie“

Empfang aus Anlass des 70. Geburtstages von Herrn Prof. Fissan

Danach Möglichkeit zur Besichtigung der renovierten Labore der NST

Das Symposium wird
unterstützt durch:



BLÜCHER



SFB 445



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

.....
CeNiDE
CENTER FOR NANOTECHNOLOGY
DUISBURG-ESSEN



Begrüßung

BESTIMMUNG DER TEMPERATUR- UND KONZENTRATIONSVERTEILUNG IN EINER OFFENEN METHAN-SAUERSTOFF-FLAMME AUS STRAHLDICHEMESSUNGEN

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. **Heinz FiBan**
aus Ahlen/Westfalen

Referent: **Professor Dr.-Ing. K. F. Knoche**
Korreferent: **Privatdozent Dr.-Ing. H. May**
Tag der mündlichen Prüfung: **29. Juni 1970**

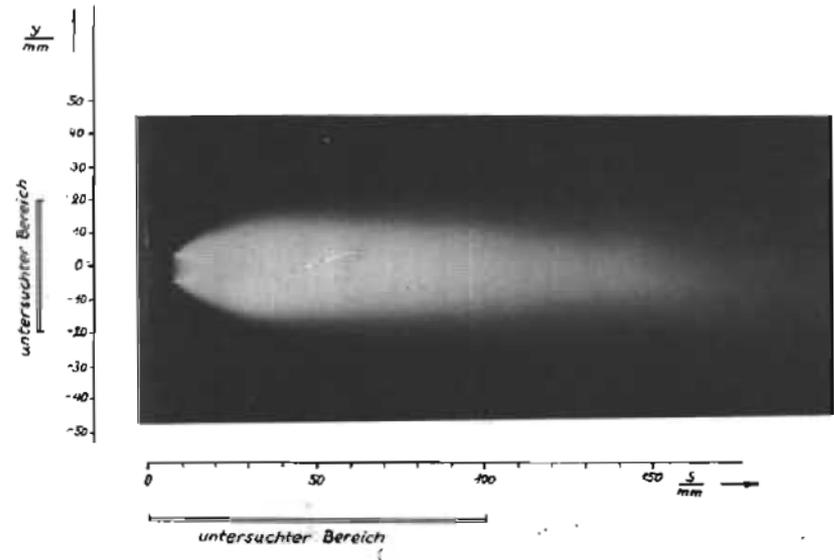


Abb. 1: Offene Methan-Sauerstoff-Flamme

$$(\dot{V}_N = 7 \text{ Nm}^3/\text{h}; \lambda = 1,0; \text{Umgebungsdruck})$$

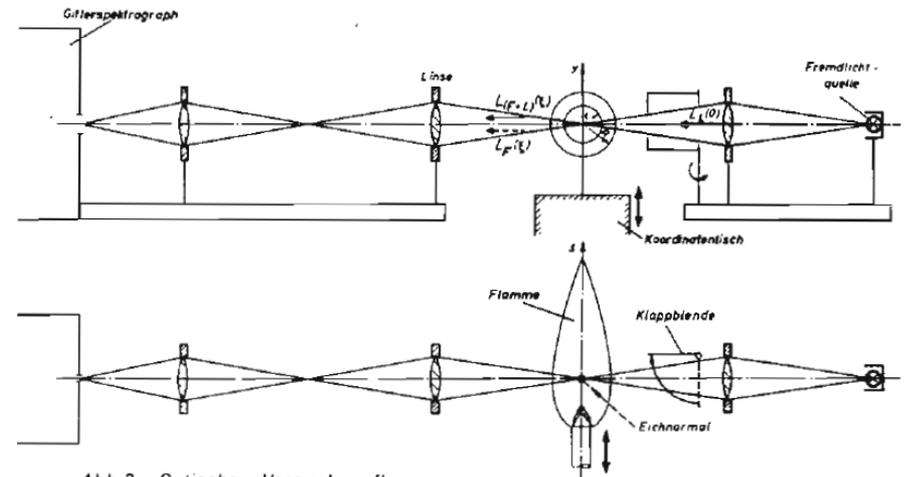


Abb 2: Optischer Versuchsaufbau

mit Darstellung der benutzten Koordinaten in der Flamme

RUSSKONZENTRATIONS- UND -TEMPERATURVERTEILUNGEN IN EINER

METHAN-LUFT-DIFFUSIONSFLAMME

Der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung der *venia legendi*
vorgelegte Habilitation

von

Dr.-Ing. Heinrich J. Fißan

aus Ahlen/Westfalen

1974

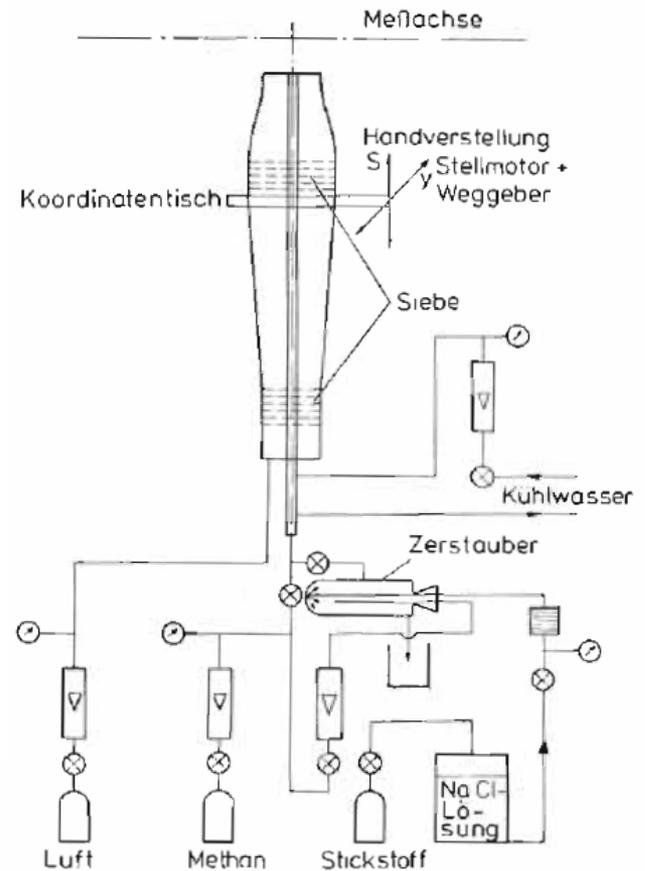


Abb. 1.: Brennsystem mit Versorgungseinrichtungen

2004

Nachhaltige
Nanotechnologie

1968

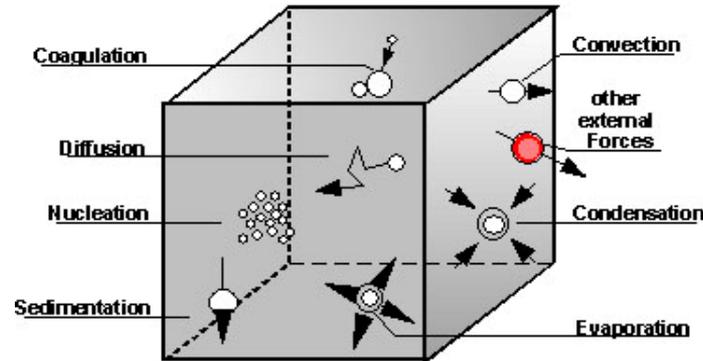
Verbrennungs-
prozesse und
Abgasaerosole

1974

Brand-
entdeckung
Atmosphärische
Aerosole

2003

EUVL
Kontaminations-
probleme



1985

Gasfiltration

1997

Nano-
strukturierte
Gassensoren

1996

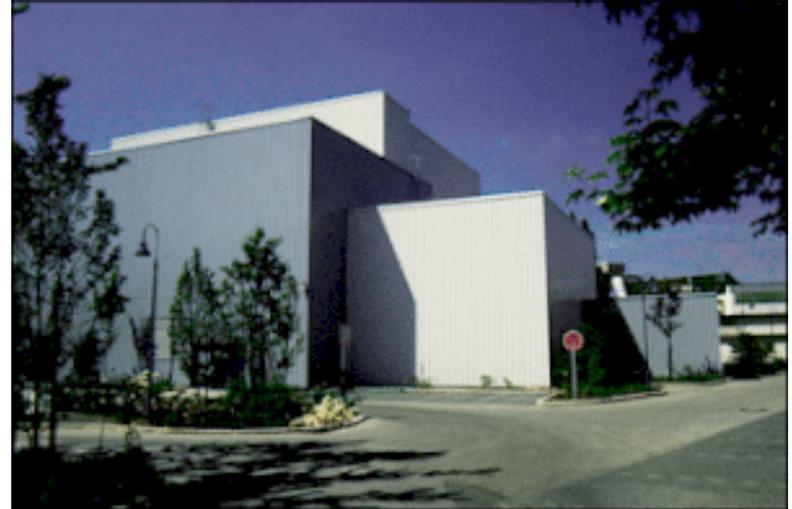
Nanopartikel-
synthese und
ihre Messtechnik

1988

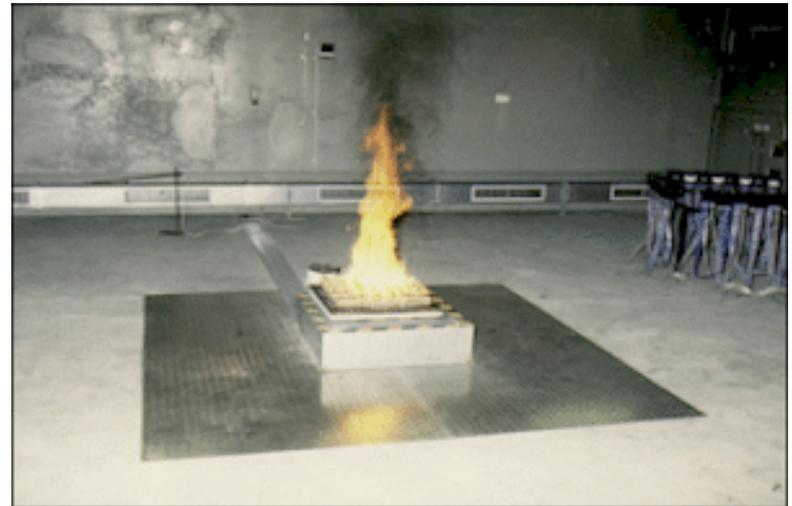
Reinraumtechnik

Brandentdeckung

Brandentdeckungslabor
der UDE
(Prof. Luck/ Prof. Willms)



VDS Rauchmelder



Atmosphärische Aerosole



- Entstehungsprozesse
- Messtechnik



Mount St. Helen (1980)

2004

Nachhaltige
Nanotechnologie

1968

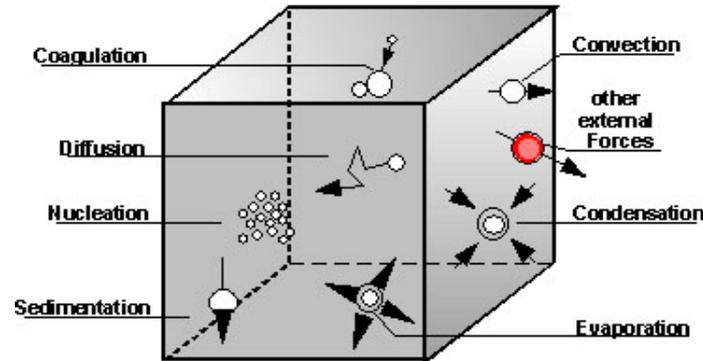
Verbrennungs-
prozesse und
Abgasaerosole

1974

Brand-
entdeckung
Atmosphärische
Aerosole

2003

EUVL
Kontaminations-
probleme



1985

Gasfiltration

1997

Nano-
strukturierte
Gassensoren

1996

Nanopartikel-
synthese und
ihre Messtechnik

1988

Reinraumtechnik

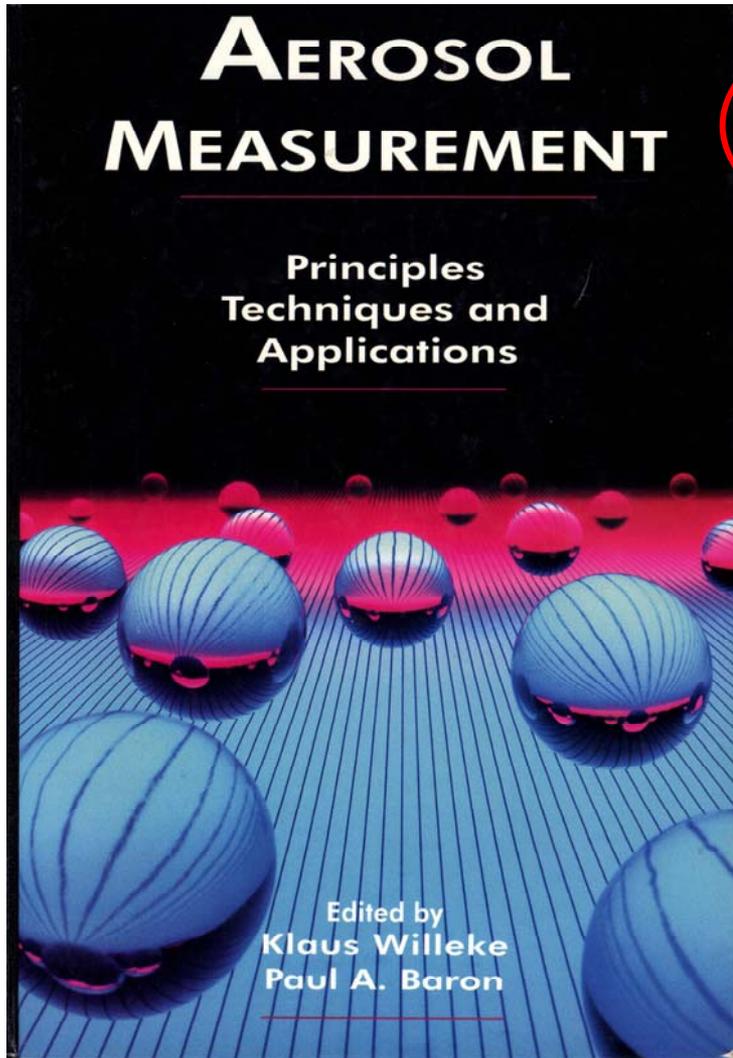
Reinraumtechnik / Filter



- Entwicklung staubfreier Arbeitsplätze



Reinraumtechnik / Filter



34 Clean-Room Measurements / 747

Heinz Fissan, Wolfgang Schmitz, and Andreas Trampe

Introduction / 747

Measurement Tasks / 747

Available Measuring Techniques / 757

Problems / 763

35 Radioactive Aerosols / 768

Mark D. Hoover and George J. Newton

Introduction / 768

Radiation and Radioactive Decay / 769

Radiation Detection / 771

Sources of Radioactive Aerosols / 774

Safe Handling of Radioactive Aerosols / 778

Objectives for Measuring Radioactive Aerosols / 780

Application of Standard Measuring Techniques / 782

Special Techniques for Radioactive Aerosols / 787

Practical Options for Data Transmission and Networking / 794

Adequacy of the Existing Aerosol Science Data Base / 794

Conclusions / 795

36 Radon and Its Short-Lived Decay Product Aerosols / 799

Beverly S. Cohen

Introduction / 799

Reinraumtechnik / Filter



3	Physikalische Grundlagen gasgetragener partikulärer Kontaminationen	35
	<u>HEINZ FIBAN, ANDREAS TRAMPE</u>	
3.1	Problemstellung	35
3.2	Partikelquellen	36
3.2.1	Dispergierung	36
3.2.2	Zerkleinerung	36
3.2.3	Nukleation (Gasquellen, Gas/Partikelumwandlung)	37
3.2.4	Kondensation (Partikelwachstum)	37
3.2.5	Koagulation (Partikel/Partikelumwandlung)	38
3.3	Partikeleigenschaften	39
3.3.1	Partikelgröße und Form	39
3.3.2	Verteilungen	42
3.3.3	Bewegung von Partikeln in Gasen	46
3.3.4	Partikelbewegung aufgrund der Gravitation	51
3.3.5	Partikelbewegung im elektrischen Feld	52
3.3.6	Partikelbewegung im thermischen Feld	54
3.4	Anwendungen	54
	Literatur	55

2002

2004

Nachhaltige
Nanotechnologie

1968

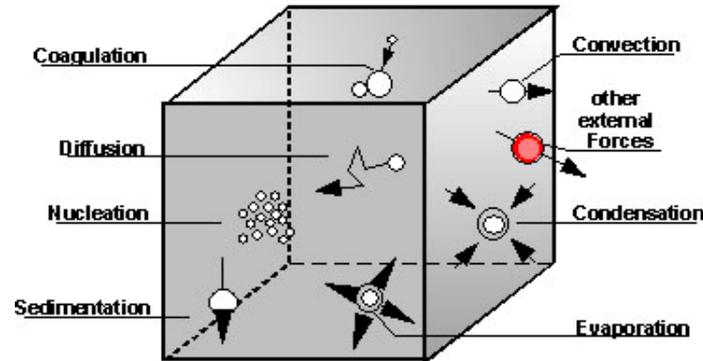
Verbrennungs-
prozesse und
Abgasaerosole

1974

Brand-
entdeckung
Atmosphärische
Aerosole

2003

EUVL
Kontaminations-
probleme



1985

Gasfiltration

1997

Nano-
strukturierte
Gassensoren

1996

Nanopartikel-
synthese und
ihre Messtechnik

1988

Reinraumtechnik

Nanopartikel



Pergamon

PII: S0021-8502(96)00141-3

J. Aerosol Sci., Vol. 27, Suppl. 1, pp. S137-S138, 1996

Copyright © 1996 Elsevier Science Ltd

Printed in Great Britain. All rights reserved

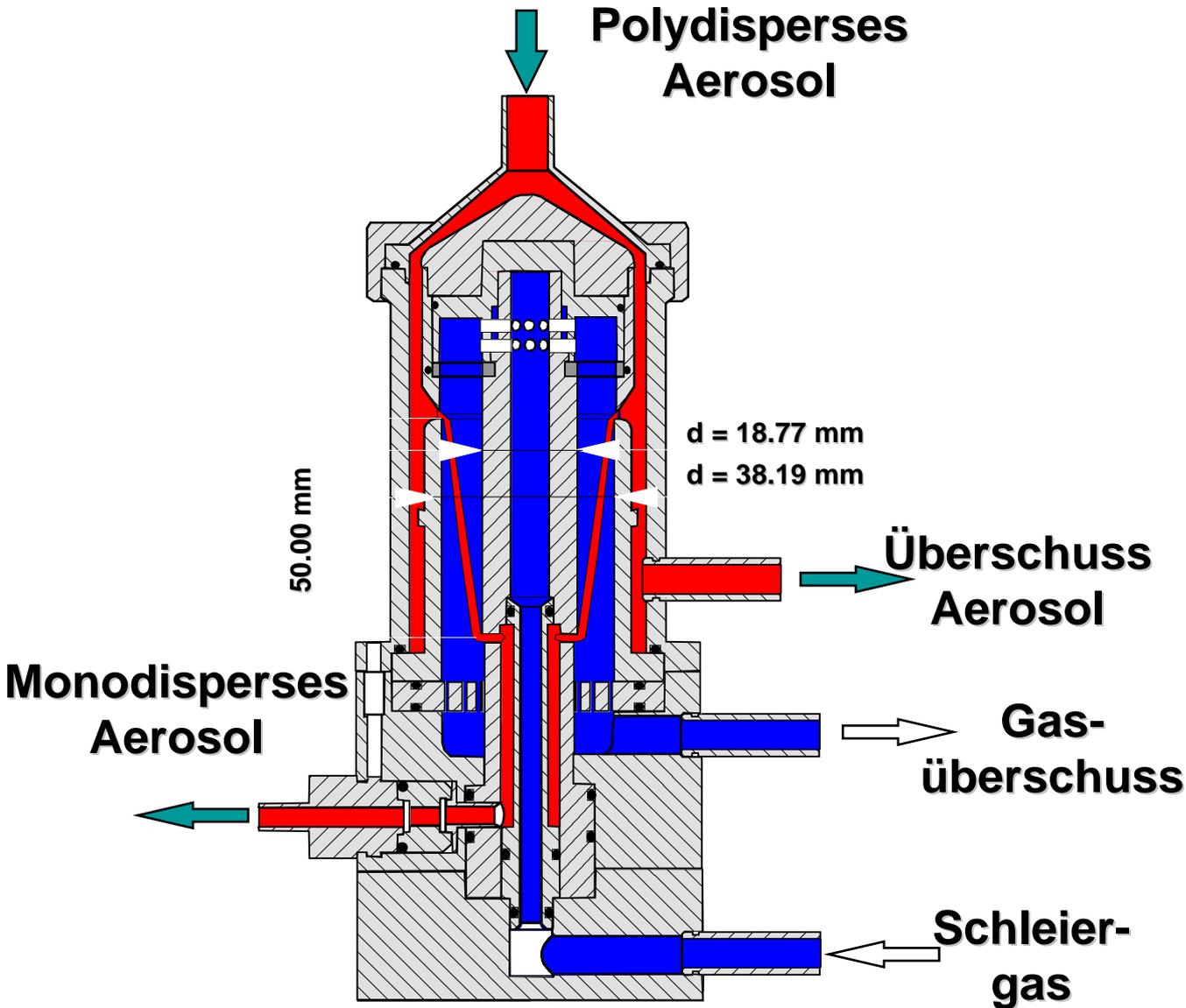
0021-8502/96 \$15.00 + 0.00

Nanometer Differential Mobility Analyzer (Nano-DMA): Design and Numerical Modeling

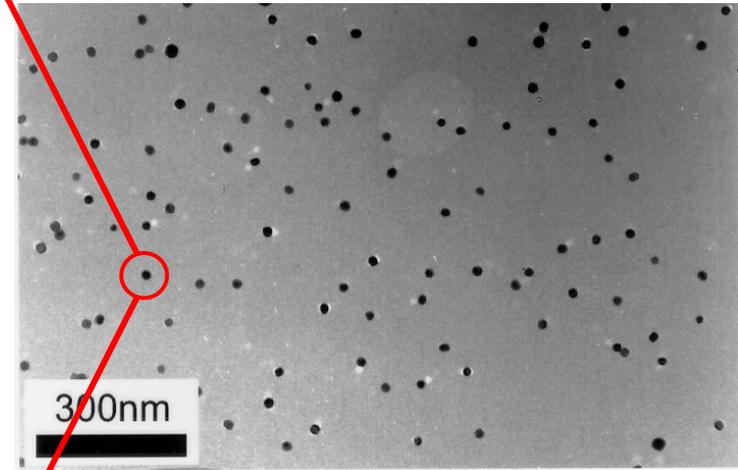
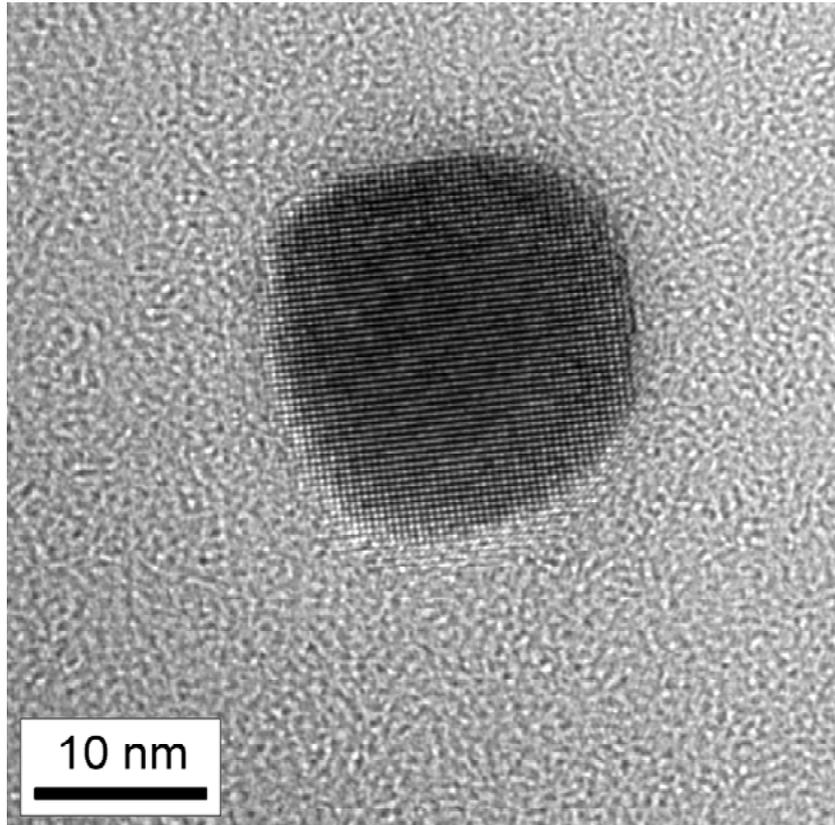
Daren Chen¹, David Y.H. Pui¹, D. Hummes², H. Fissan²,
F.R. Quant³, G.J. Sem³

¹Particle Technology Laboratory, Mechanical Engineering Department, University of Minnesota, Minneapolis, MN55455, U.S.A.; ²Prozess- und Aerosolmesstechnik, Gerhard Mercator Universitaet, Bismarckstr. 81, D-47048 Duisburg, Germany; ³TSI Inc., P.O. Box 64394, St Paul, MN 55164, U.S.A.

Nanopartikel: Der Nano-DMA



Nanopartikel: Der Nano-DMA



PbS

Nanopartikel: Der Nano-DMA



US006230572B1

(12) **United States Patent**
Pui et al.

(10) **Patent No.:** **US 6,230,572 B1**
(45) **Date of Patent:** **May 15, 2001**

(54) **INSTRUMENT FOR MEASURING AND CLASSIFYING NANOMETER AEROSOLS**

(75) Inventors: **David Y. H. Fu**, Plymouth; **Da-Ren Chen**, Roseville; **Frederick R. Quant**, Shoreview; **Giuseppe J. Sem**, Lauderdale, all of MN (US); **Heinz Fissan**, Kerker; **Detlef Hummes**, Duisburg, both of DE; **Frank Dorman**, Minneapolis, MN (US)

(73) Assignee: **TSI Incorporated**, St. Paul, MN (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) for 0 days.

OTHER PUBLICATIONS

"Model 3934 Scanning Mobility Particle Sizer" Product Information, TSI Incorporated, No Date.

"Model 3071A Electrostatic Classifier" Product Information, TSI Incorporated, No Date.

Model 3940 Submicrometer Monodisperse Aerosol Generation System, Product Information TSI Incorporated, No Date.

"Aerosol Classification by Electric Mobility: Apparatus, Theory, and Applications." *Journal Aerosol Science*, 1975 pp. 443-451. W.O. Knutson and K.T. Whitby.

(List continued on next page.)

2004

Nachhaltige
Nanotechnologie

1968

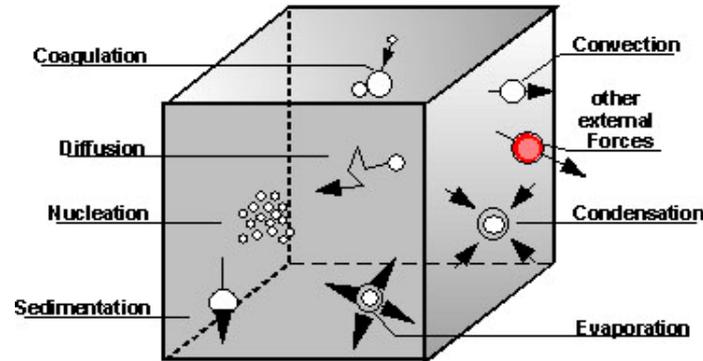
Verbrennungs-
prozesse und
Abgasaerosole

1974

Brand-
entdeckung
Atmosphärische
Aerosole

2003

EUVL
Kontaminations-
probleme



1985

Gasfiltration

1997

Nano-
strukturierte
Gassensoren

1996

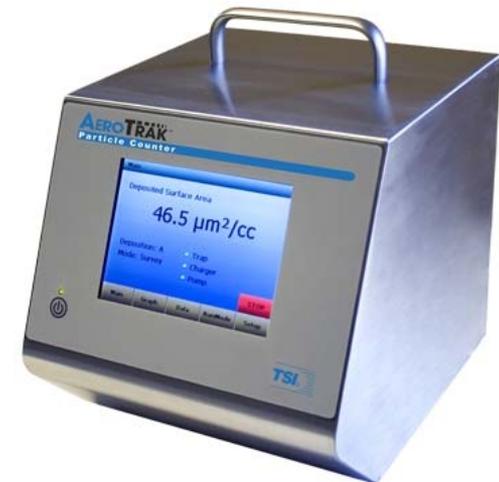
Nanopartikel-
synthese und
ihre Messtechnik

1988

Reinraumtechnik

Nanoparticle Surface Area Monitor (NSAM)

Messung der Lungenbelastung durch Stäube an Arbeitsplatzen



Dose = Lung Deposited Surface Area per unit mass or SA of lung
($\mu\text{m}^2/\text{g}$ Lung or $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$ Lung)

2004

Nachhaltige
Nanotechnologie

1968

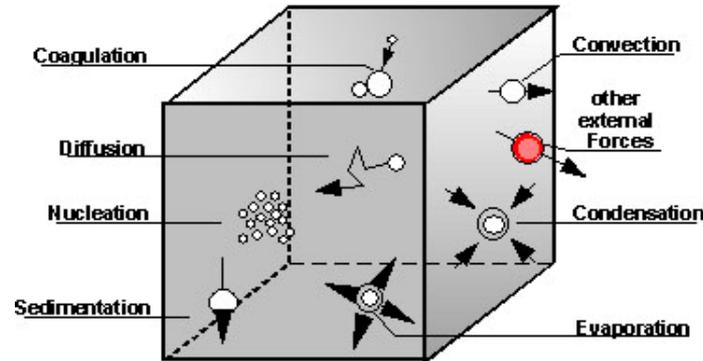
Verbrennungs-
prozesse und
Abgasaerosole

1974

Brand-
entdeckung
Atmosphärische
Aerosole

2003

EUVL
Kontaminations-
probleme



1985

Gasfiltration

1997

Nano-
strukturierte
Gassensoren

1996

Nanopartikel-
synthese und
ihre Messtechnik

1988

Reinraumtechnik

Ehrungen

1990	International Aerosol Fellow Award
1993	Max Planck Forschungspreis – Dave Pui
1998	David Sinclair Award
2000	Ehrenmitglied der Gesellschaft für Aerosolforschung (GAeF)
2001	Preis im Rahmen des Innovationsprogramms Forschung „Modellbildung und Simulation in der Produktionslinie chemischer Produkte“ vom Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen – Einar Kruis
2003	Ehrenmedaille in Gold des VDI
2003	Junge-Award
2005	David L. Swift Memorial Award – Best paper award- First Carbon Black exposure measurements - Thomas Kuhlbusch
2006	Fissan-Pui-TSI-Preis – Messgeräteentwicklungspreis, gestiftet von der Fa. TSI

Max Planck Research Award (1993) conferred to Fissan-Pui for Collaboration in Aerosol Technology



Ehrungen

1990	International Aerosol Fellow Award
1993	Max Planck Forschungspreis – Dave Pui
1998	David Sinclair Award
2000	Ehrenmitglied der Gesellschaft für Aerosolforschung (GAeF)
2001	Preis im Rahmen des Innovationsprogramms Forschung „Modellbildung und Simulation in der Produktionslinie chemischer Produkte“ vom Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen – Einar Kruis
2003	Ehrenmedaille in Gold des VDI
2003	Junge-Award
2005	David L. Swift Memorial Award – Best paper award- First Carbon Black exposure measurements - Thomas Kuhlbusch
2006	Fissan-Pui-TSI-Preis – Messgeräteentwicklungspreis, gestiftet von der Fa. TSI

Der Junge- Gedenkpreis

„Ehrung einer Person, die durch ihre wissenschaftliche Leistung ein neues Gebiet der Aerosolwissenschaft/-technologie geschaffen hat.“ (Europäische Aerosolgesellschaft)

Bisherige Preisträger:

2000 Sheldon Friedlander

2003 Heinz Fissan

2005 Othmar Preining

2007 Alex Lushnikov

Ehrungen

1990	International Aerosol Fellow Award
1993	Max Planck Forschungspreis – Dave Pui
1998	David Sinclair Award
2000	Ehrenmitglied der Gesellschaft für Aerosolforschung (GAeF)
2001	Preis im Rahmen des Innovationsprogramms Forschung „Modellbildung und Simulation in der Produktionslinie chemischer Produkte“ vom Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen – Einar Kruis
2003	Ehrenmedaille in Gold des VDI
2003	Junge-Award
2005	David L. Swift Memorial Award – Best paper award- First Carbon Black exposure measurements - Thomas Kuhlbusch
2006	Fissan-Pui-TSI-Preis – Messgeräteentwicklungspreis, gestiftet von der Fa. TSI

2004

Nachhaltige
Nanotechnologie

1968

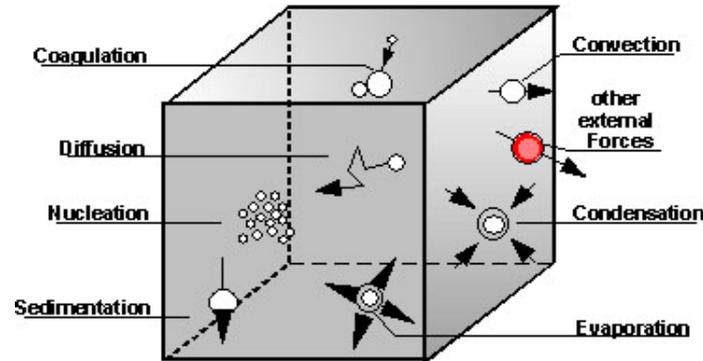
Verbrennungs-
prozesse und
Abgasaerosole

1974

Brand-
entdeckung
Atmosphärische
Aerosole

2003

EUVL
Kontaminations-
probleme



1985

Gasfiltration

1997

Nano-
strukturierte
Gassensoren

1996

Nanopartikel-
synthese und
ihre Messtechnik

1988

Reinraumtechnik

Fissan@IUTA

oder

**Nanotechnologie –
auch kleine Dinge können
eine große Wirkung haben**



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

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



**Institut für Energie- und
Umwelttechnik IUTA e.V.
Bliersheimer Str. 60
47229 Duisburg**

Internet: www.iuta.de

Geschichte

- 1989 gegründet als Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik IUTA e.V.
- 1991 An-Institut der Universität Duisburg-Essen
- 1998 umbenannt in Institut für Energie- und Umwelttechnik IUTA e.V.

Zahlen & Fakten (2007):

Mitarbeiter(innen)	ca. 145
Büro-/Laborfläche	2.400 m ²
Technikumsfläche	4.000 m ²
Industriekooperationen	350 (laufend)
Umsatz	7 - 8 Mio €/a



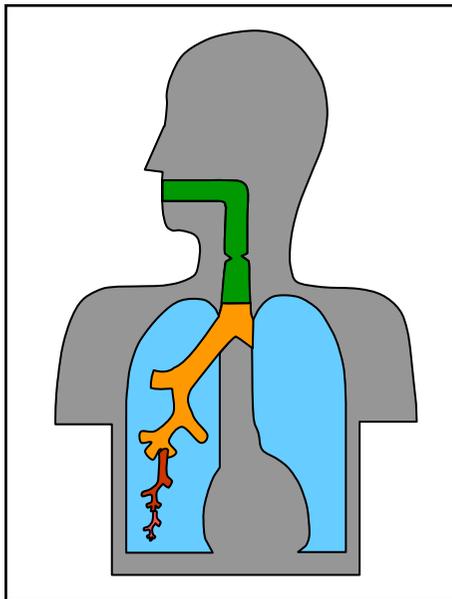
Aktivitäten

1989 Gründungsmitglied des IUTA e.V.
bis 1993 wiss. Direktor und Abteilungsleiter
seit 2003 wiss. Direktor

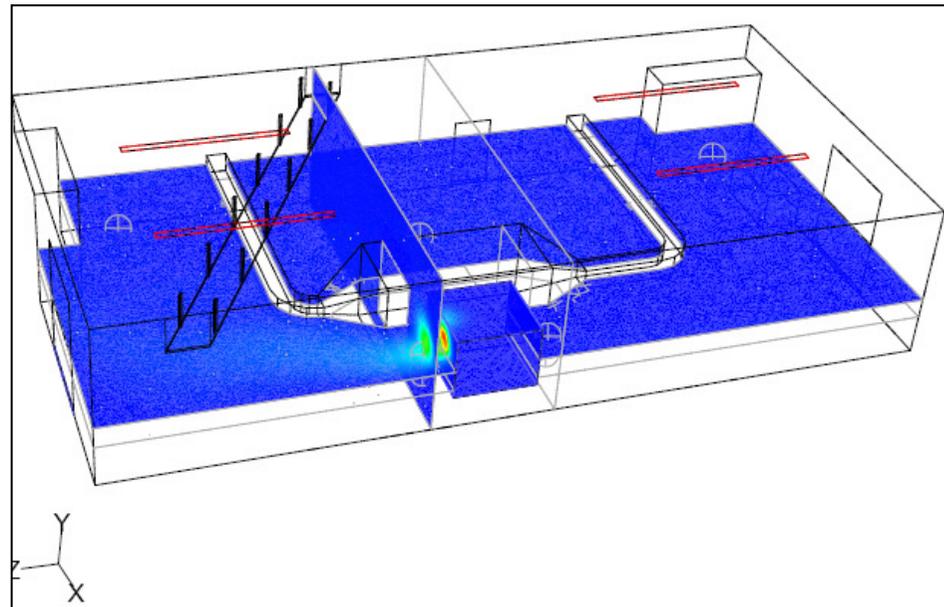
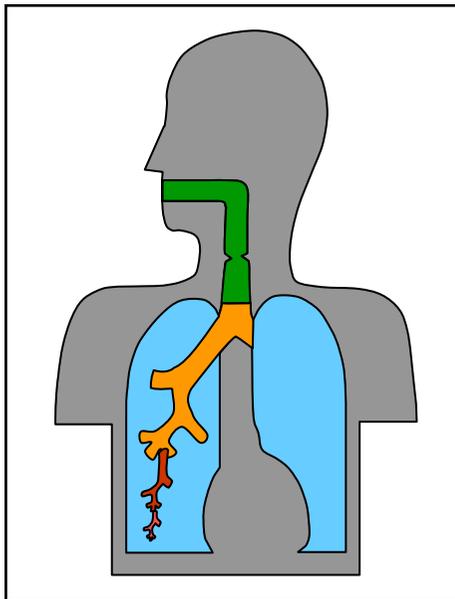
Arbeitsgebiete

- Aerosol-Messgeräte-Entwicklung
- Gasfiltration
- Nanopartikel-Freisetzung aus technischen Prozessen
- Nanopartikel-Exposition am Arbeitsplatz und in der Umwelt
- Nanopartikel-Messtechnik

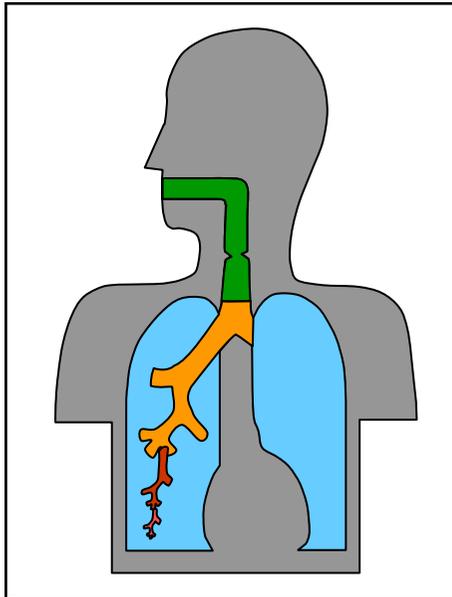
- **Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)**
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF³)
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes



- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- **Nanopartikeldynamik nach einer Leckage**
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF³)
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes

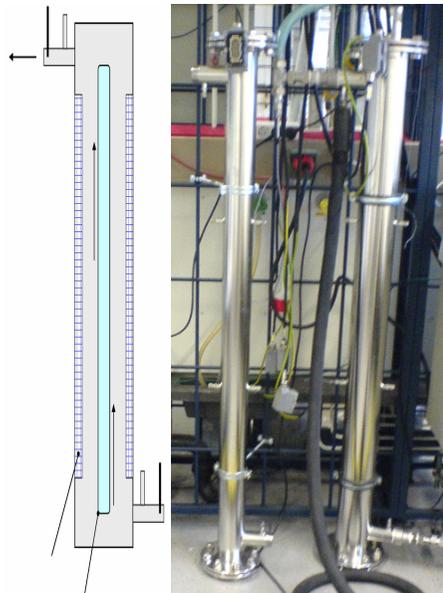


- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- **Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen**
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF³)
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes



Aktuelle Forschungsaktivitäten Prof. Fissan

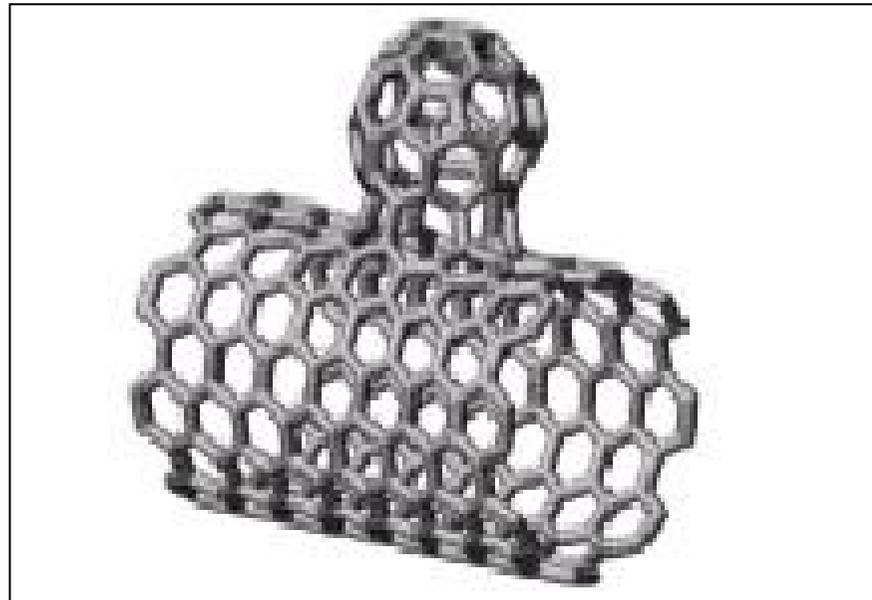
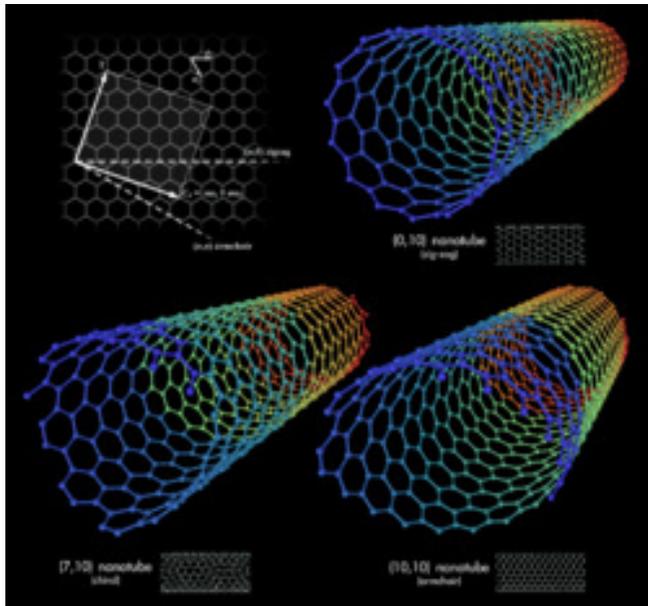
- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- **Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF³)**
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes



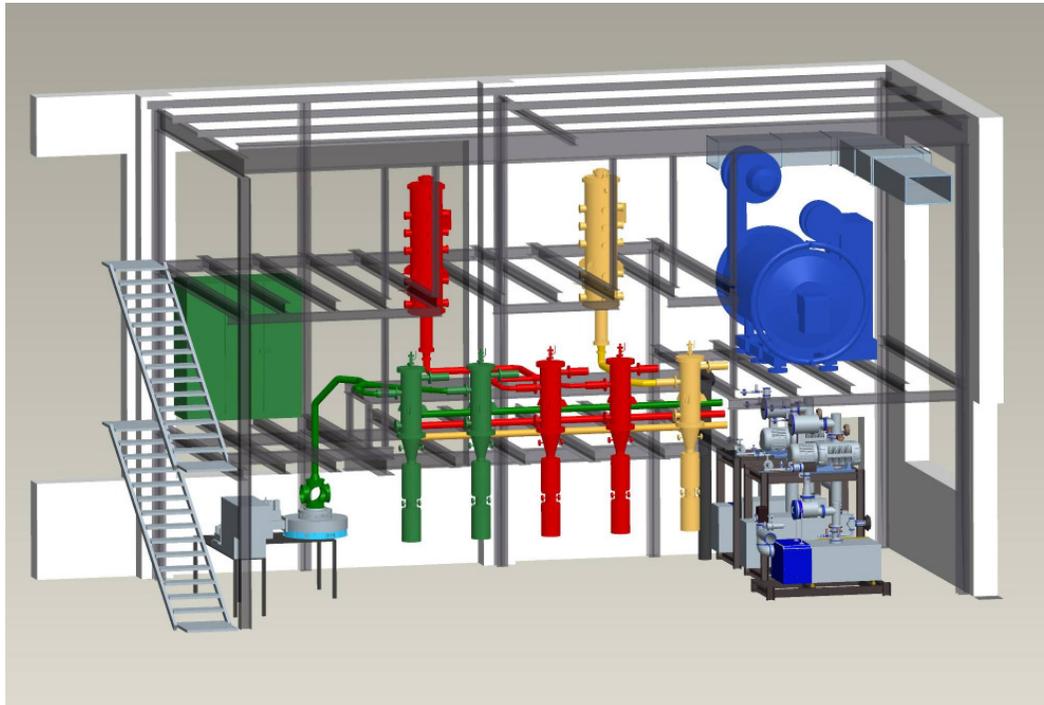
UV-Niederdruckstrahler
Katalysator-Verbundmaterial



- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF³)
- **Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes**



- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF³)
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes
- **Nachhaltige Produktion synthetischer Nanopartikel (Kooperation mit Prof. Schulz, IVG)**



Möglichkeiten der Nanotechnologie: Forschungsschwerpunkte an der Universität Duisburg-Essen

Roland Schmechel

Fakultät für Ingenieurwissenschaften, *CeNIDE*
Universität Duisburg-Essen

Was heißt „Nano-“ ?

Nános (altgr.)= „Zerg“

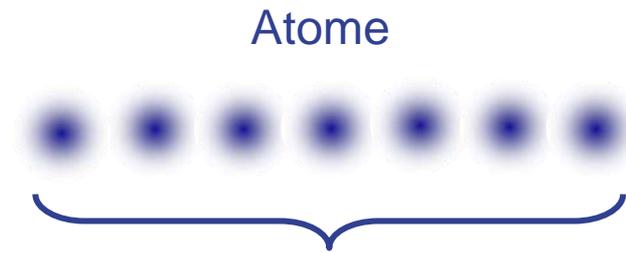


Vorsatz bei Größenangaben:

1 **Nanometer**
= 1 Milliardstel (10^{-9}) Meter



~ 1m



~ 1nm

Ein Größenvergleich

Erde

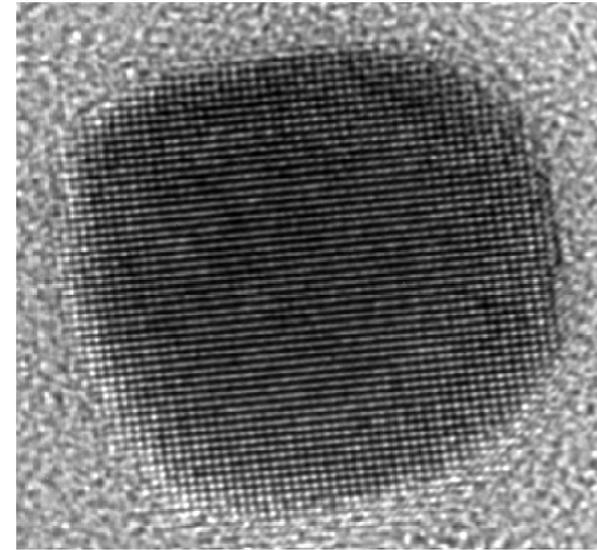


$\sim 10^8$ mal größer

Fußball



Nanopartikel



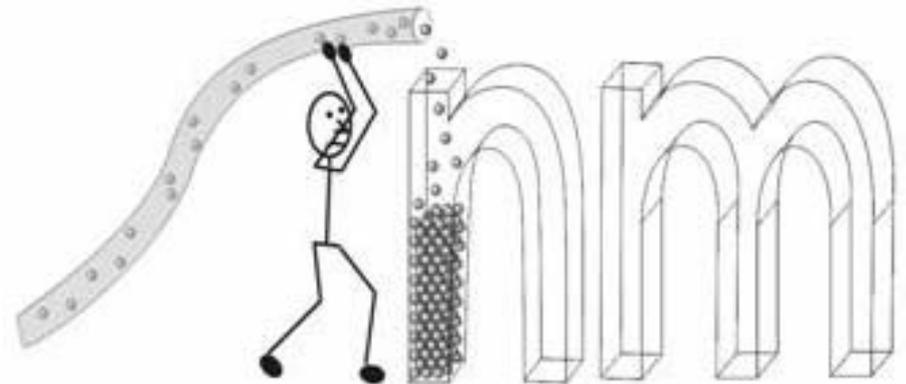
$\sim 10^8$ mal kleiner

Wie erzeugt man Nano...?



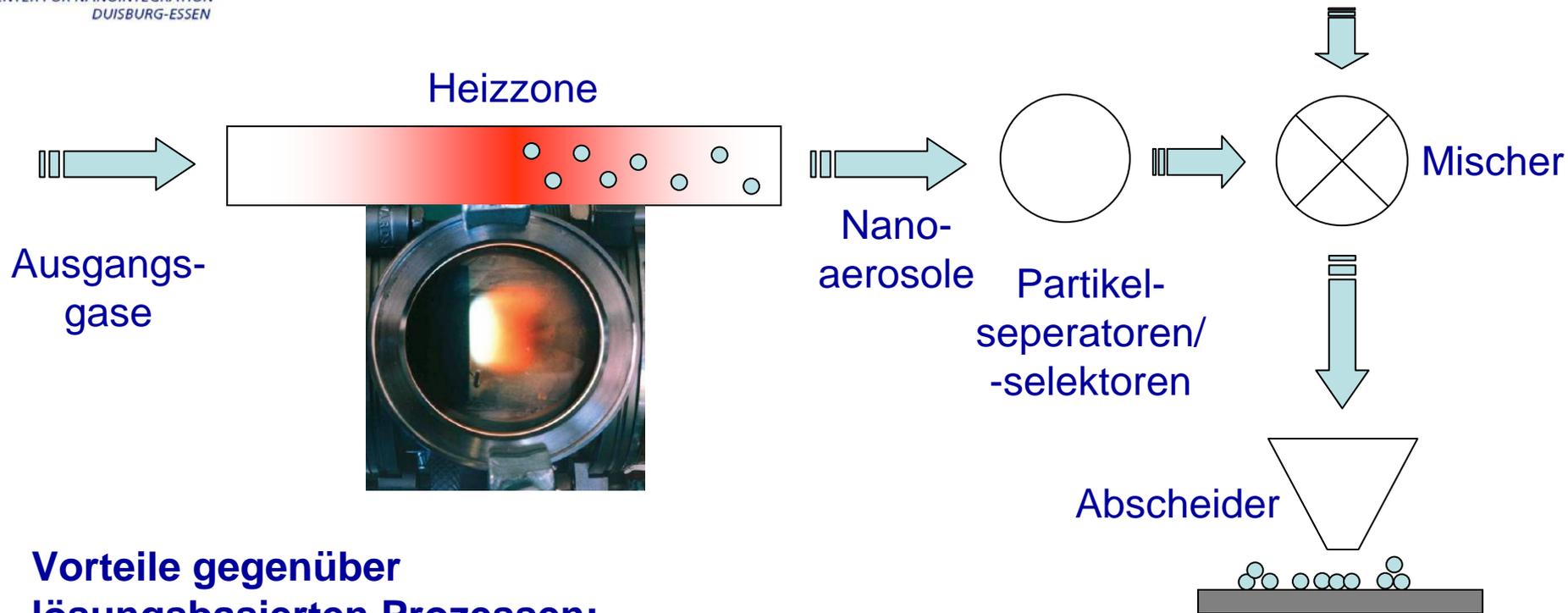
Top Down

Bottom Up



(nach: G. A. Ozin)

Gasphasen basierte Herstellung von Partikeln



Vorteile gegenüber lösungsbasierten Prozessen:

- hohe Reinheit der Oberfläche (keine Tenside etc.)
- Keine Phasenseparation in Mischsystemen (Composit Systeme)
- Verfahrenstechnisch aufskalierbar

Fachgebiet für:

- Verbrennung und Gasdynamik
- Nanopartikel Prozesstechnik
- Nanostrukturtechnik

Industrielle Relevanz



Auf-
skalierung



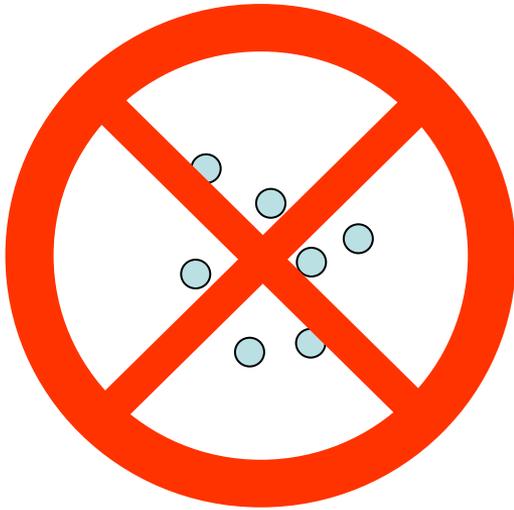
(Kruis /NST)

Industrieller Einsatz

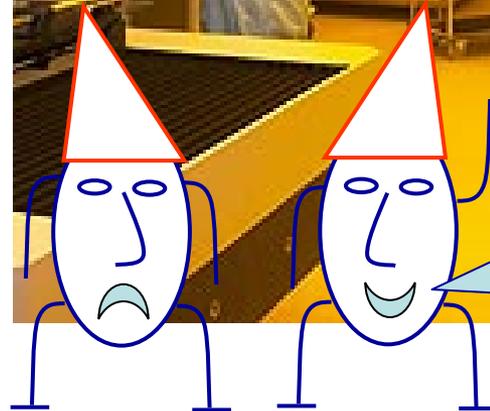


(Wiggers, Schulz /IVG)

Partikel in der Spitzentechnologie ?

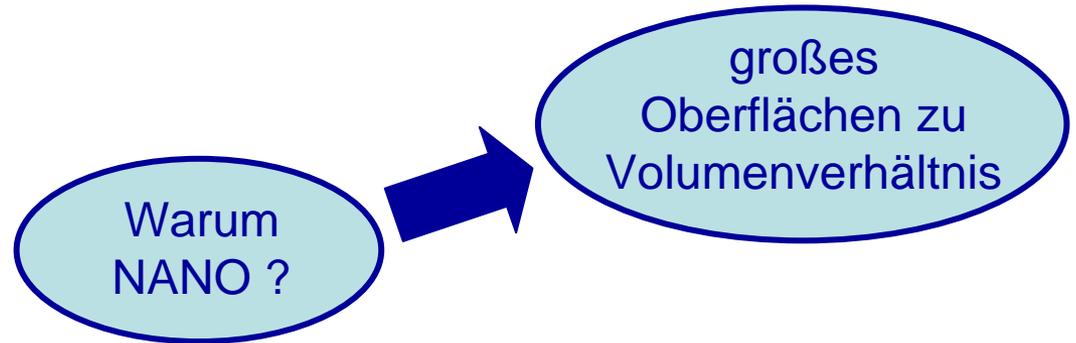


absolutes
Partikelverbot



Um da hinein zu
kommen, brauchst
Du „Funktionalität“

Motivation



Viel Oberfläche mit wenig Volumen

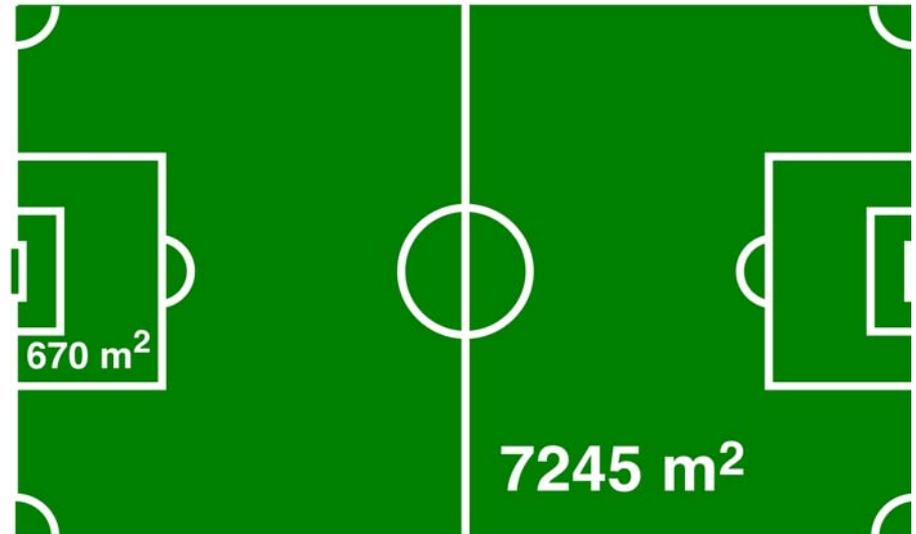
spezifische Oberfläche: 253 m²/g



1.3 g Zr(Y)O₂ / 40 cm³

(AG: Winterer)

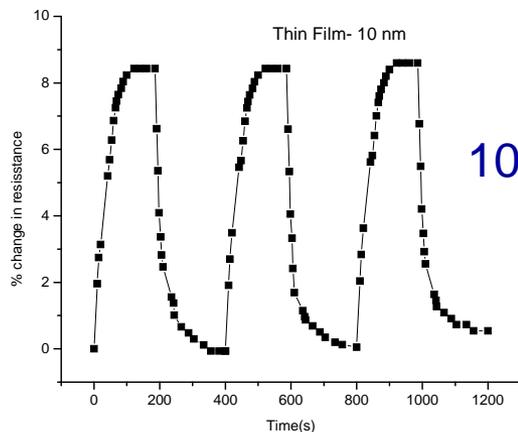
- 30g nano-Zr(Y)O₂ hat die Oberfläche eines Fußballfeldes !



- Oberflächen-/Grenzflächenphänomene werden dominant

H₂- Sensor

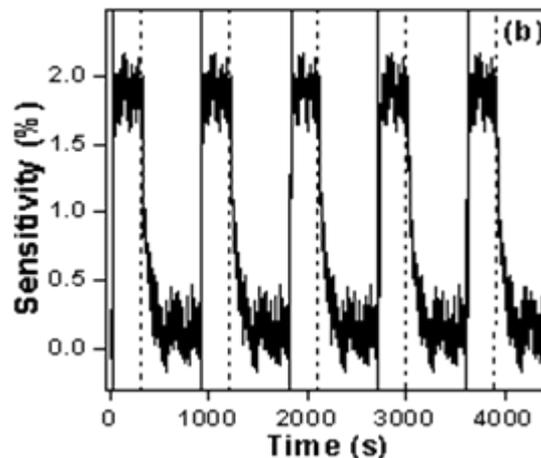
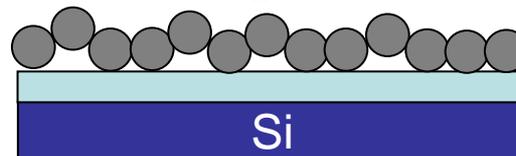
10nm Pd



Ansprechzeit ~ 100s

Ursache: Zusätzliche
Streuzentren in Pd

Pd @ 15nm

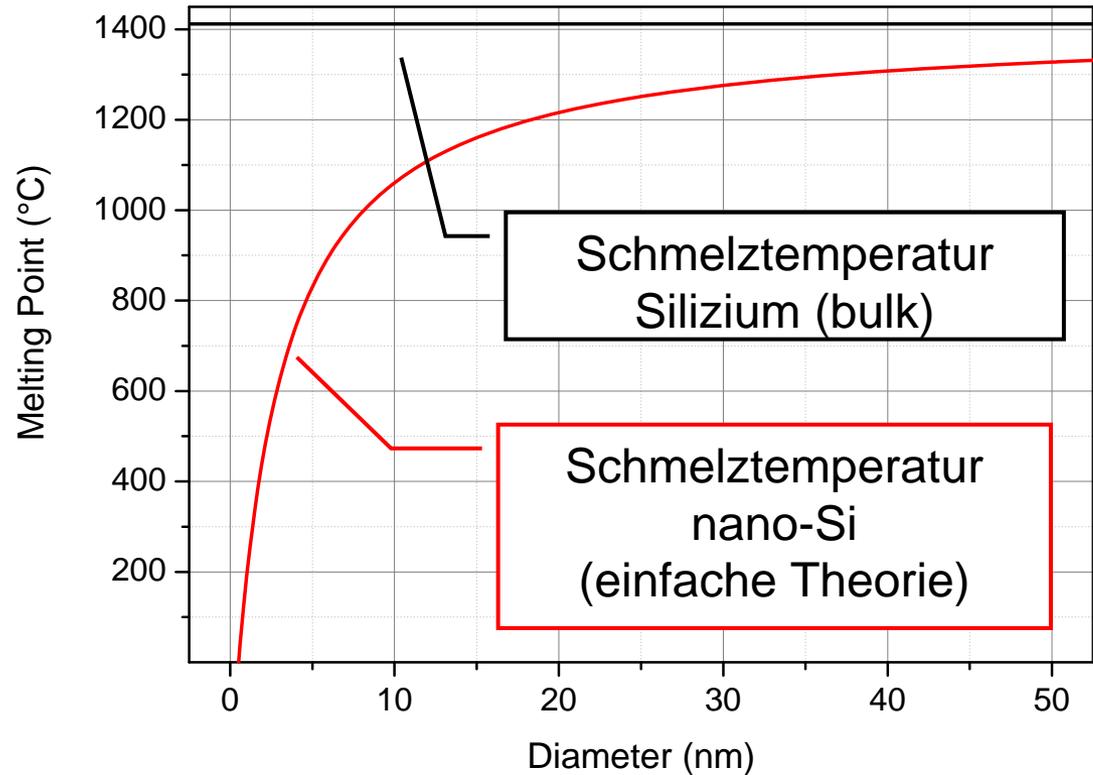


Ansprechzeit < 20s

(Kruis / NST)

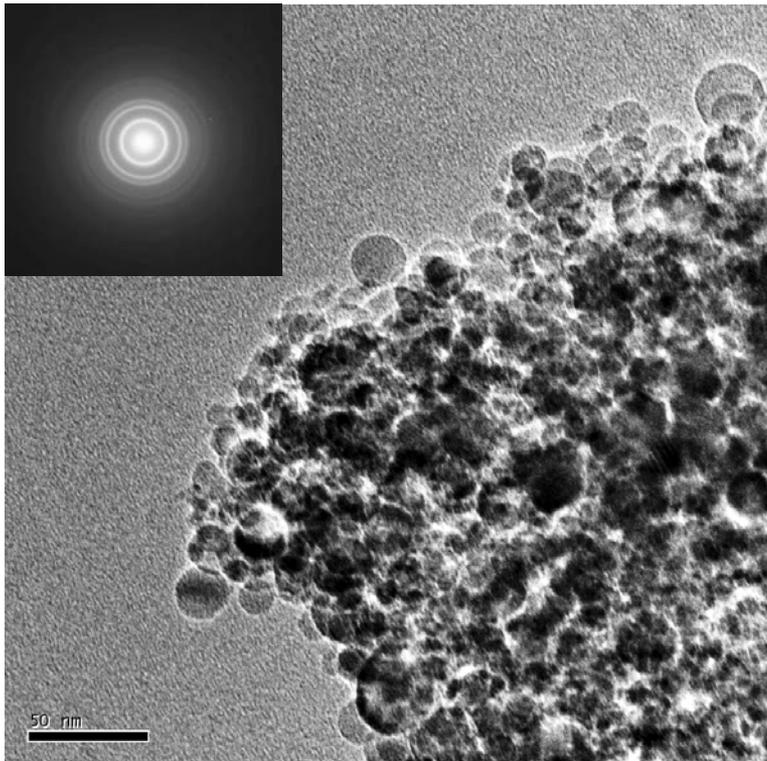
Schmelzen / Sintern

Verminderung der Schmelz- /
Sintertemperatur,
durch großes Oberflächen
zu Volumen Verhältnis

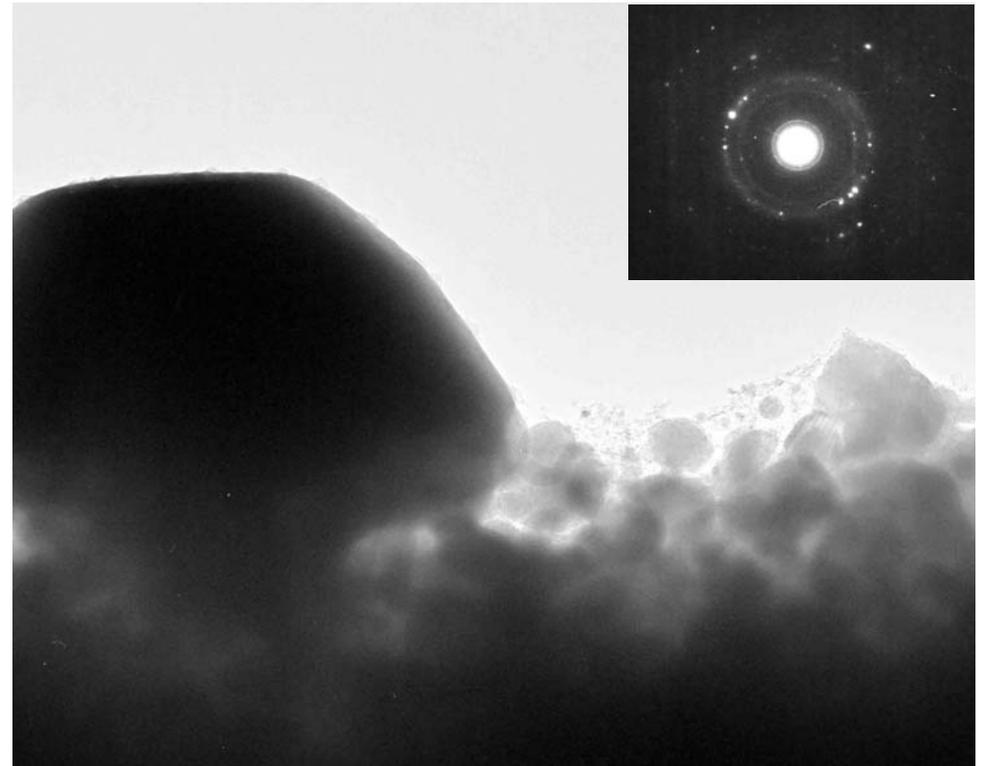


Schmelzen / Sintern

vorher



nachher



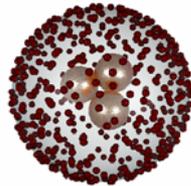
(Theissmann, Schierring /NST,
Wiggers / IVG)

Beispiel: Nano-Si bei 700°C
(Schmelztemperatur bulk: 1410°C)

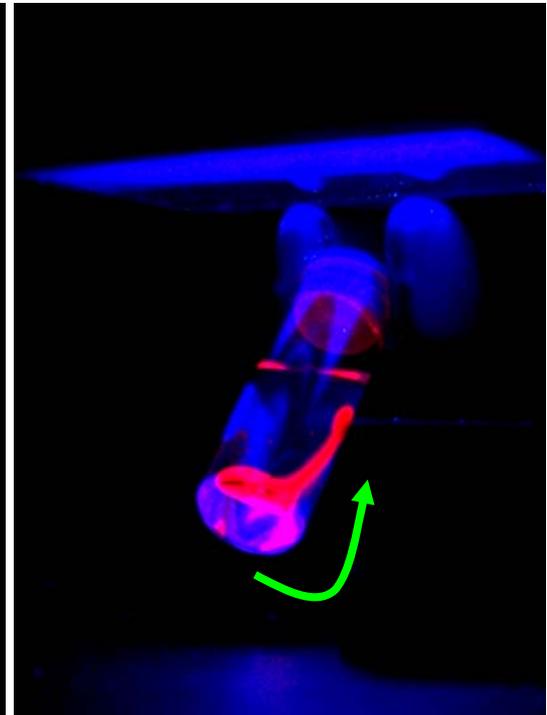
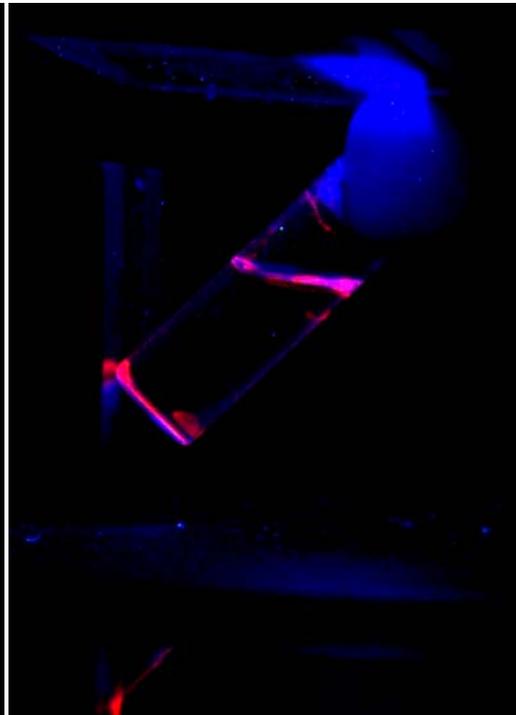
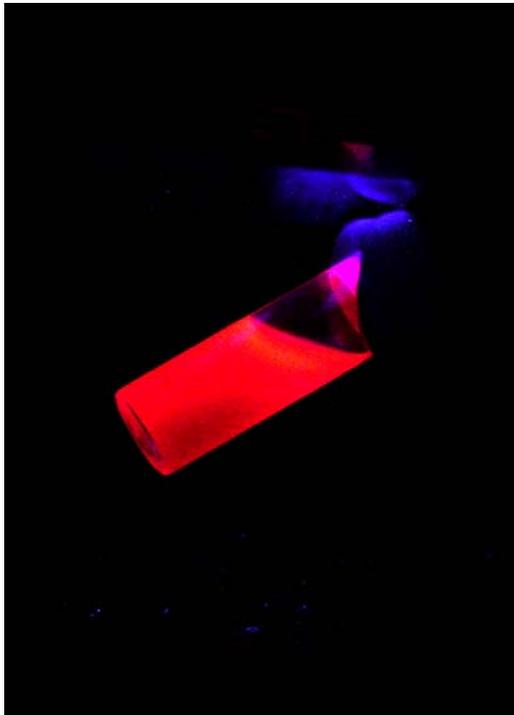
Motivation



Ferromagnetische Leuchtstoffe

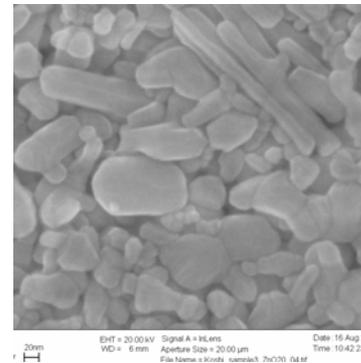
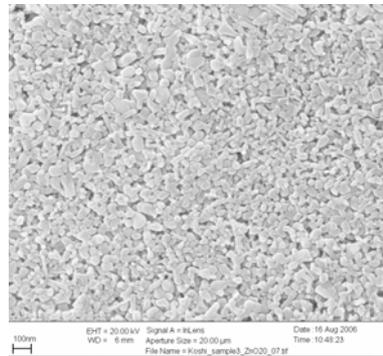
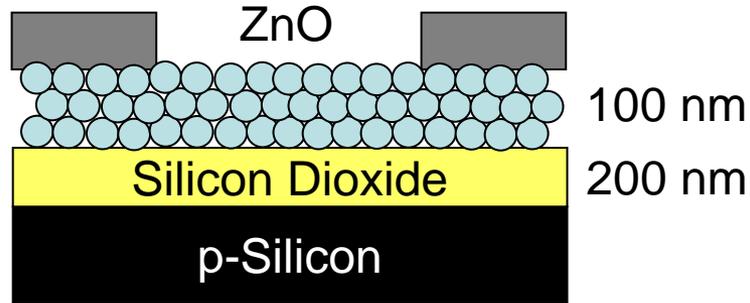


In SiO_2 eingebetteter magnetischer Kern,
benetzt mit CdTe Nanopartikeln
passiviert durch SiO_2 Hülle

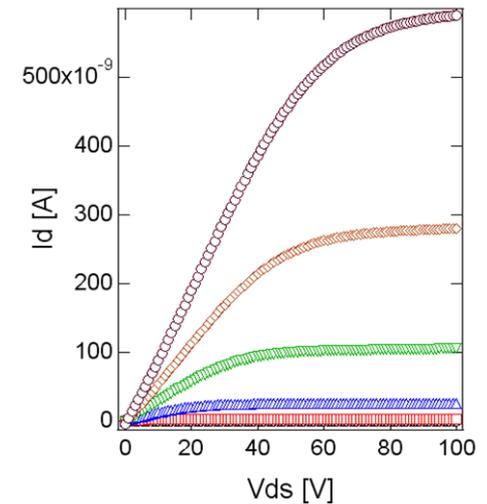


ZnO-Transistor

Druckbare Elektronik:

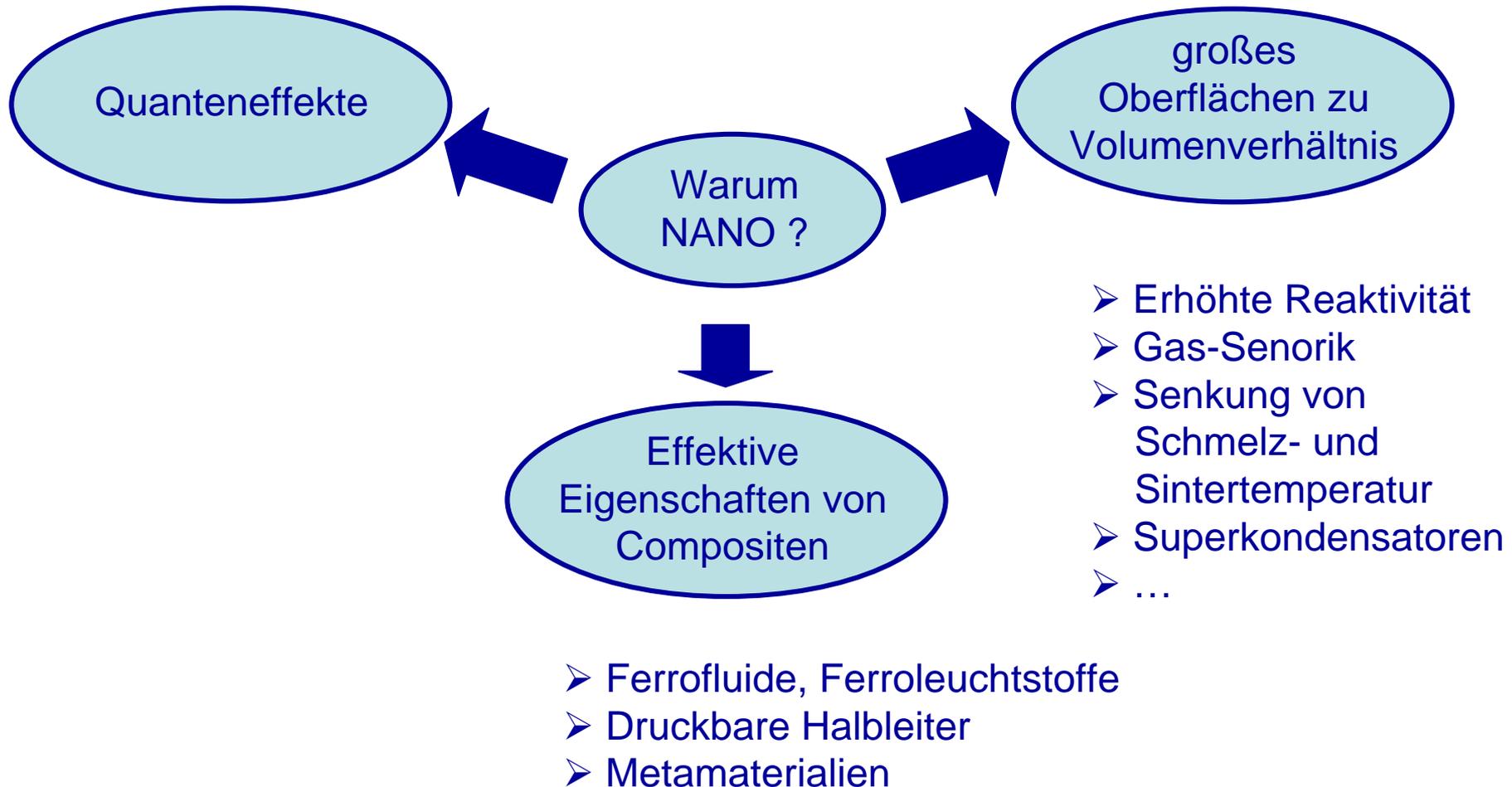


- hergestellt an Luft
- betrieben an Luft
- Prozesstemperatur <math><90^{\circ}\text{C}</math>
- n-Kanal



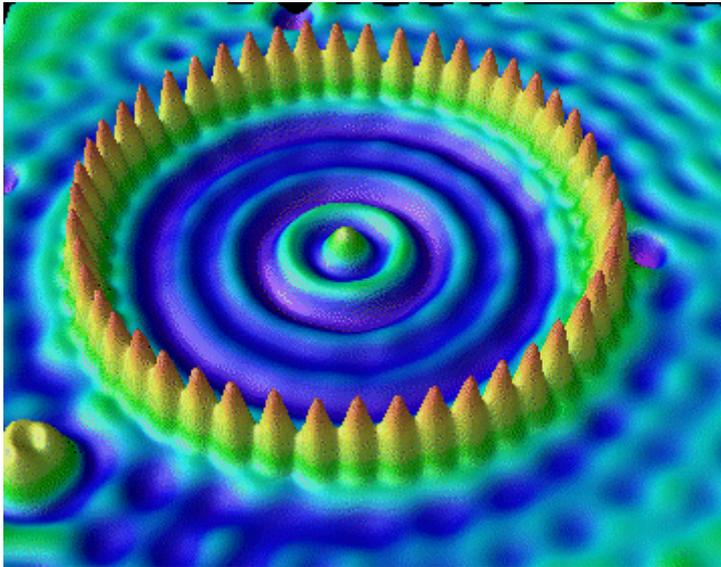
(Okamura / Schmechel/ NST)

Motivation



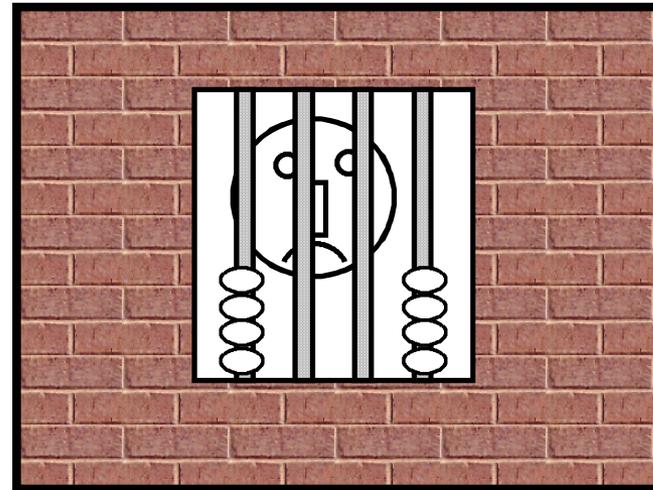
Quantenphänomene

Elektronendichte in
einer „Quantenburg“



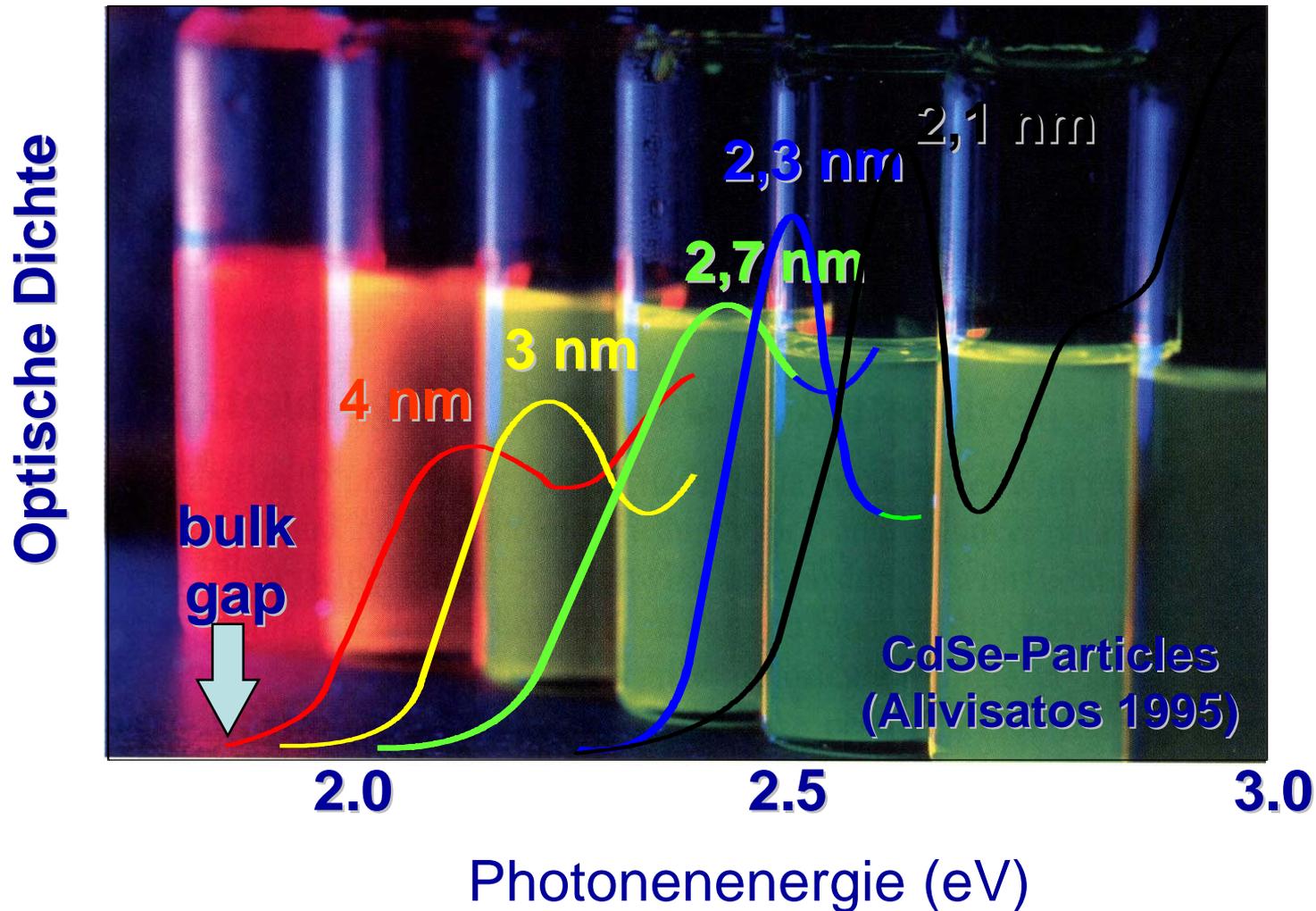
(Courtesy, IBM)

„eingesperrte Teilchen“



- Eigenschaften werden
größenabhängig !

Quantenphänomenen



Quantenphänomene

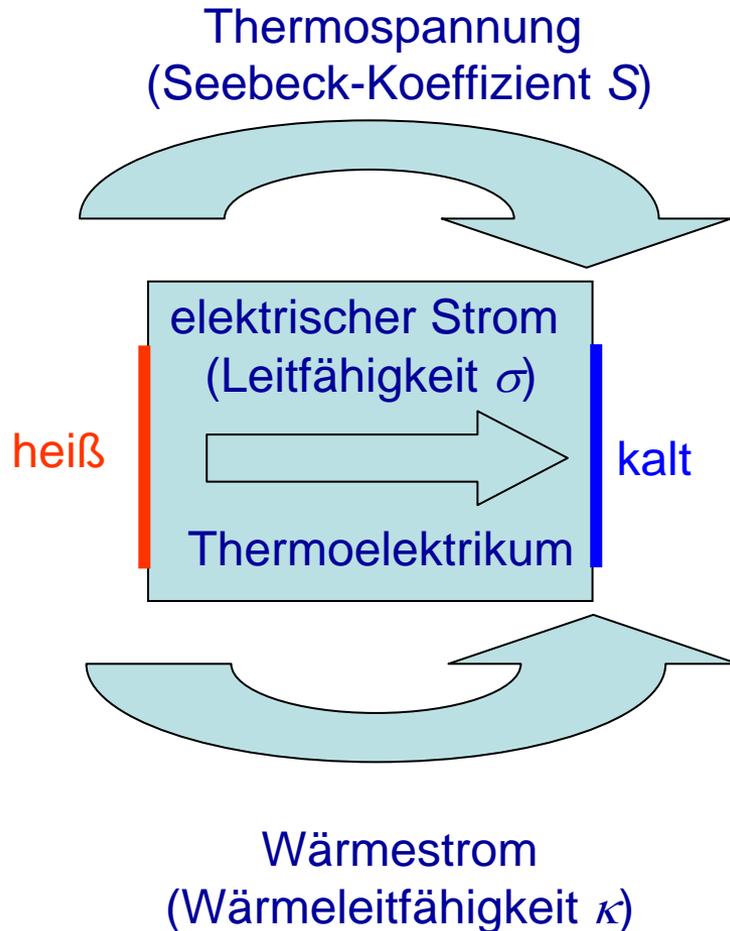


Siliziumpulver (mikrokristallin)

Siliziumpulver
(nanokristallin)



Thermoelektrika



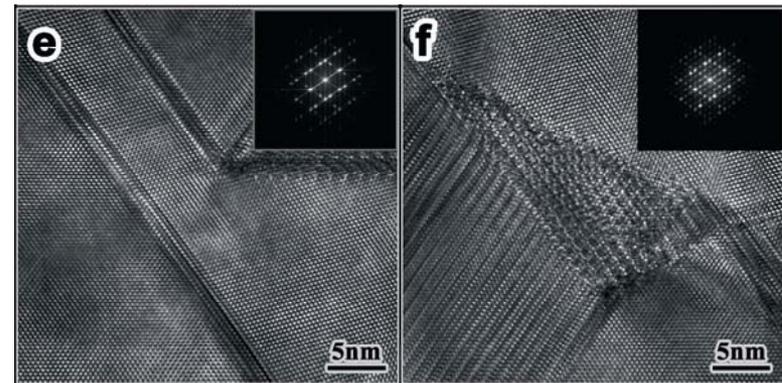
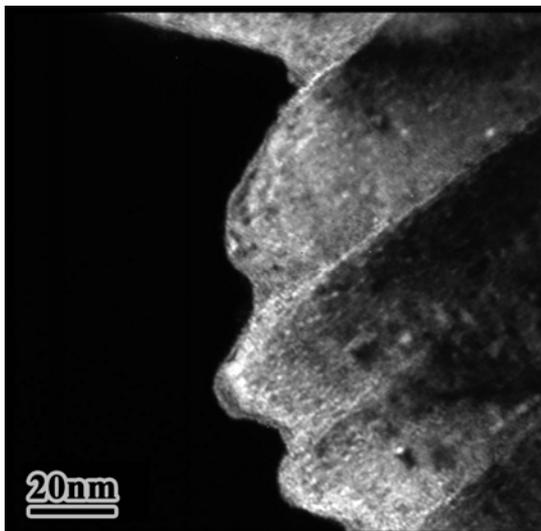
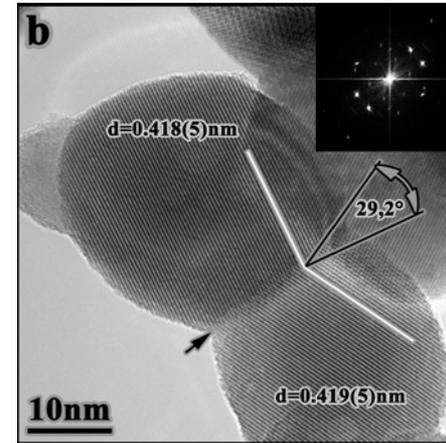
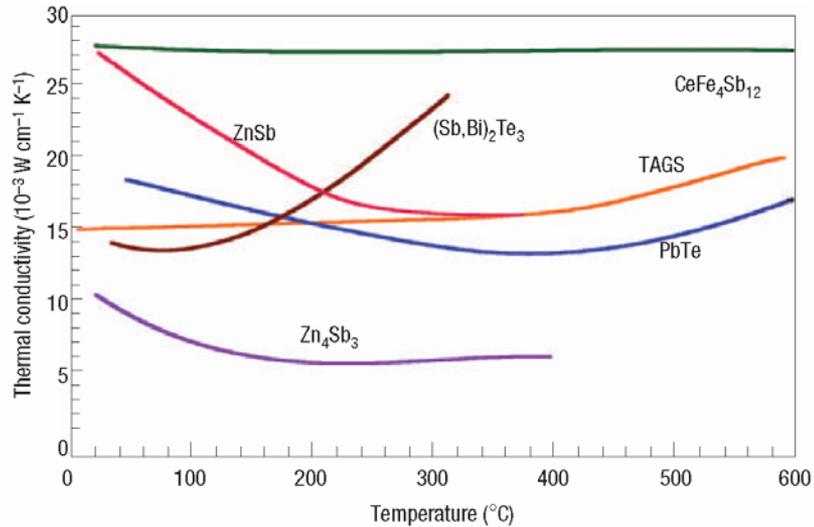
Gütezahl:

$$Z = \frac{S^2 \sigma}{\kappa}$$

- Entkopplung von Wärmeleitfähigkeit und elektrischer Leitfähigkeit

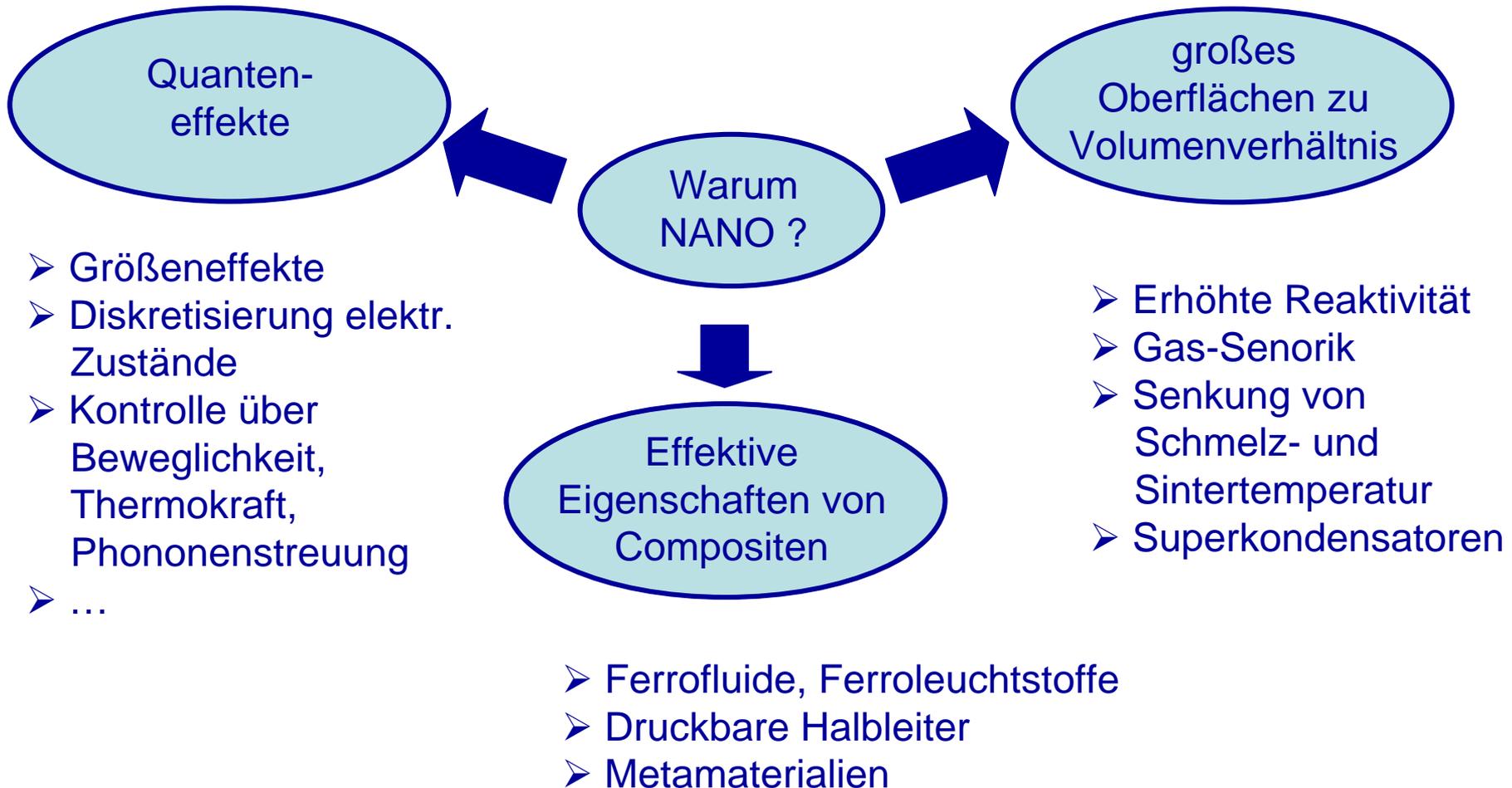
$$S \propto - \frac{d}{dE} D(E) \Big|_{E_F}$$

- Modifikation der Zustandsdichte



(Schierning, Theissmann / NST)

Motivation



Nano-Forschung an der Universität Duisburg-Essen

SFB
445



Nanopartikel aus der Gasphase



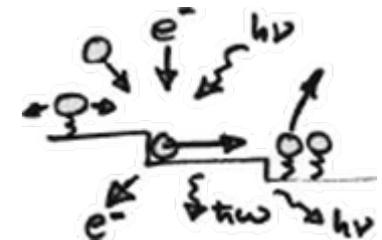
Magnetische Heterostrukturen



Graduiertenkolleg 1240 / 1
Nanotronics

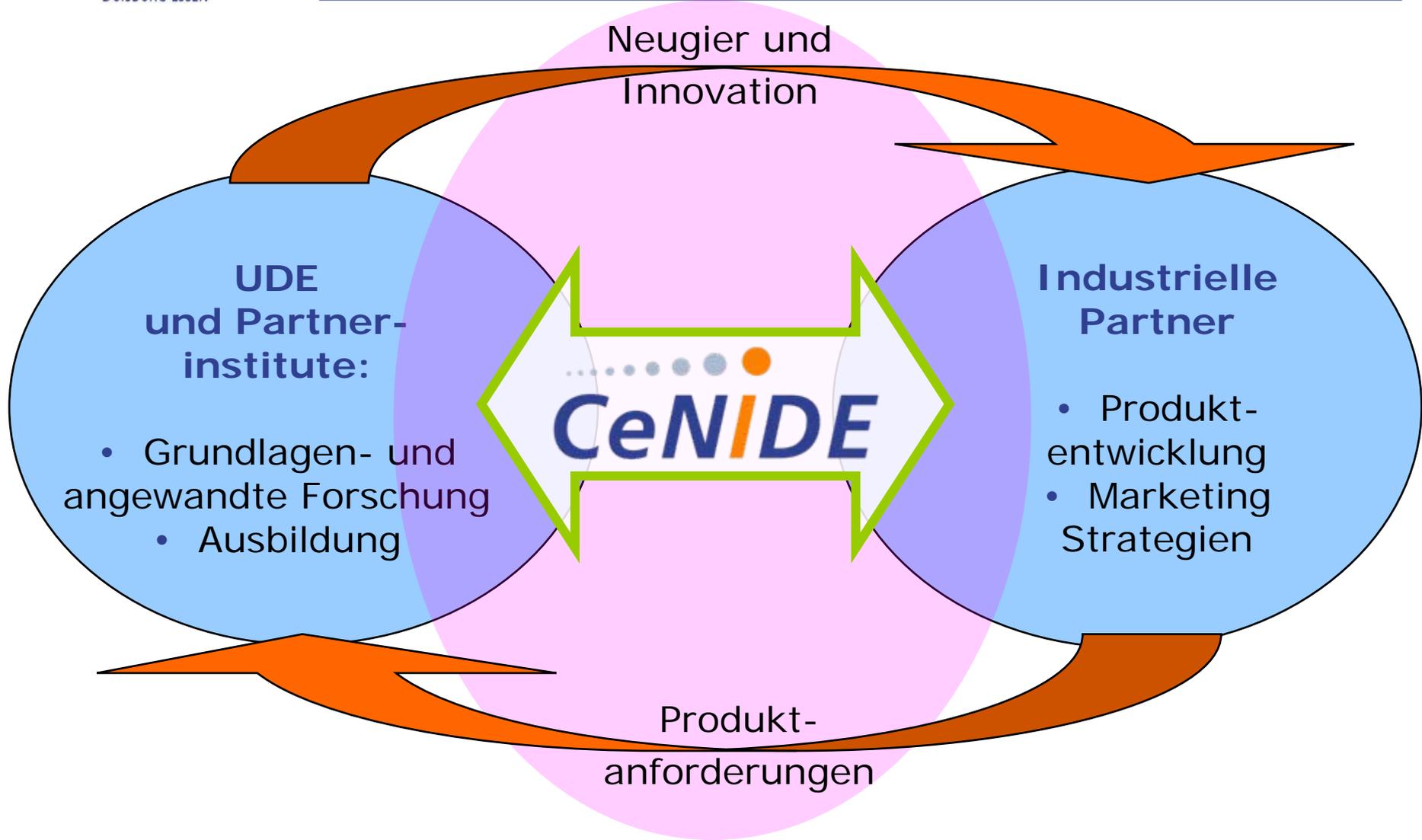
Photovoltaic und Optoelektronik
auf der Basis von Nanopartikeln

SFB
616



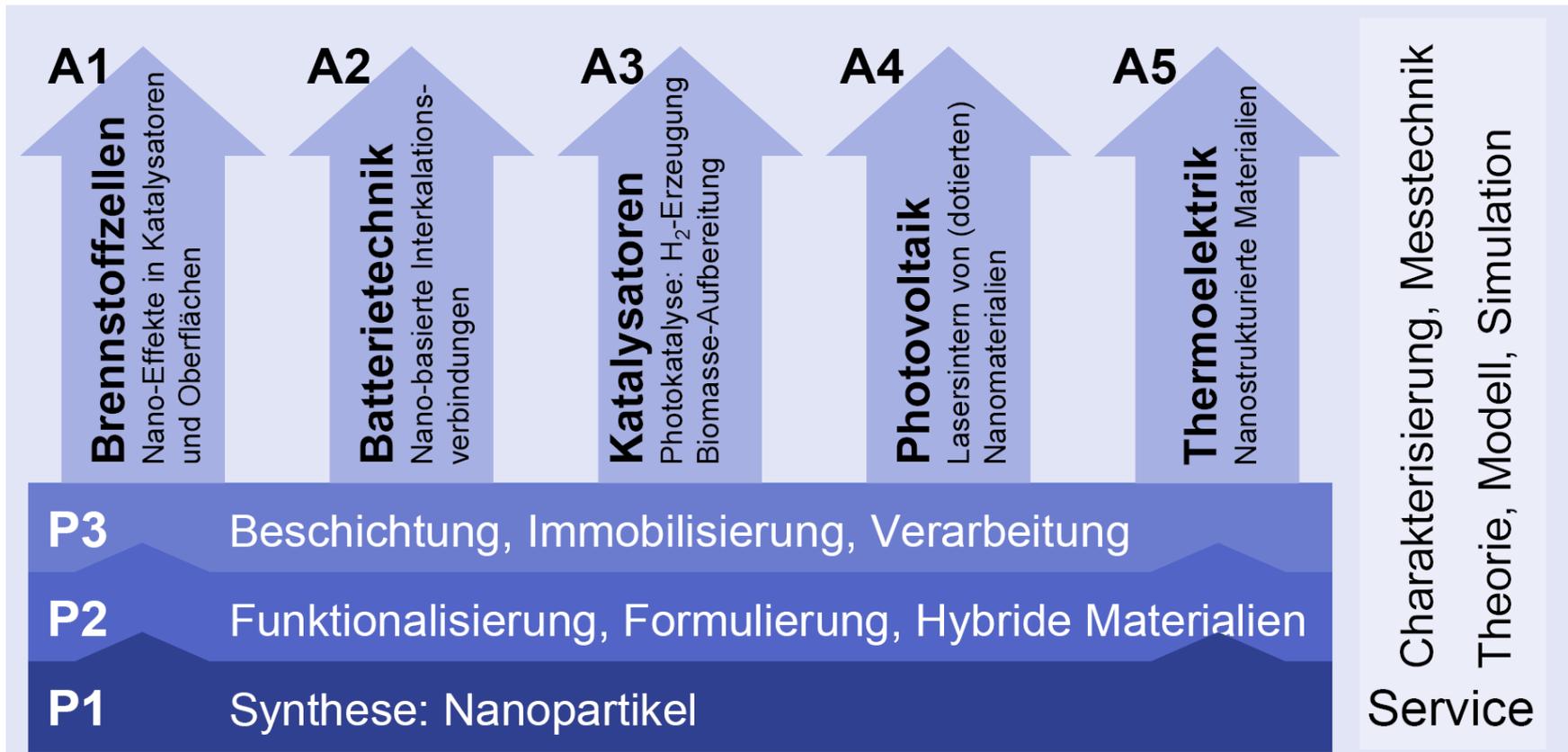
Dissipation an Oberflächen

Nano-Forschung an der Universität Duisburg-Essen



Nano-Forschung an der Universität Duisburg-Essen

Nano-Energie-Technik-Zentrum (NETZ)



Kooperationen: Nanopartikel aus dem SFB 445

Ruhr-Universität
Bochum

Universität
Erlangen-Nürnberg

Walter-Schottky-Inst.
TU-München

EADS
München

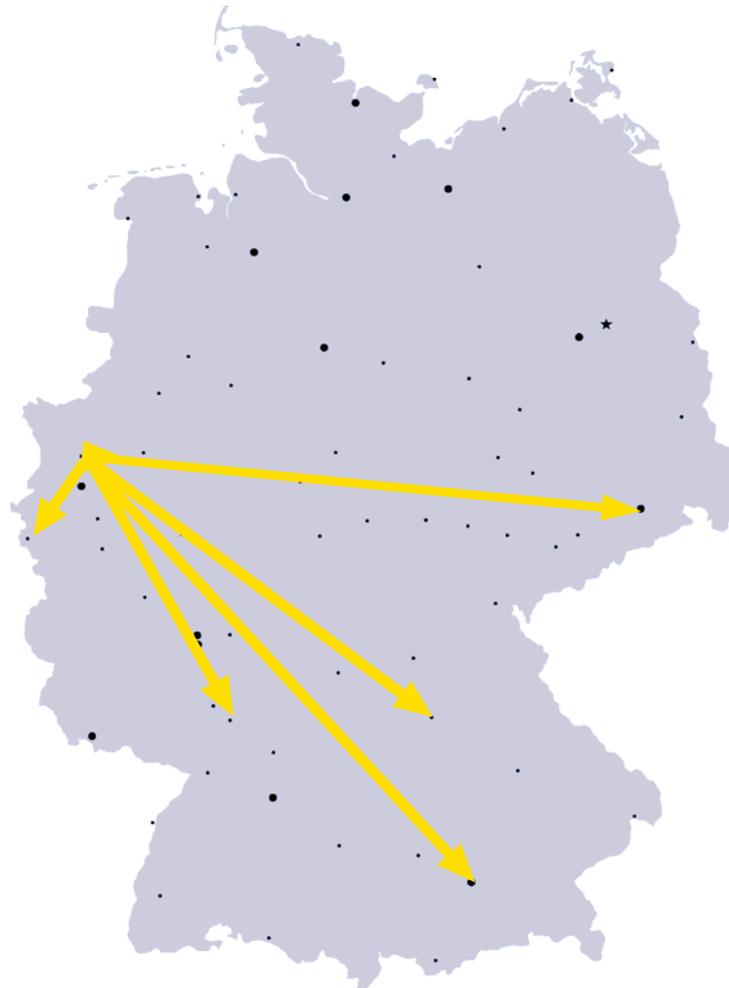
Fraunhofer IWS
Dresden

RWTH
Aachen

ACCESS
Aachen

Universität
Heidelberg

Universität
Düsseldorf



Kooperationen: Nanopartikel aus dem SFB 445

Ruhr-Universität
Bochum

Universität
Erlangen-Nürnberg

Walter-Schottky-Inst.
TU-München

EADS
München

Fraunhofer IWS
Dresden

RWTH
Aachen

ACCESS
Aachen

Universität
Heidelberg

Universität
Düsseldorf

Central Michigan
University, USA

Univ. of California
Santa Barbara, USA

ARC Center of Excellence
Victoria, AUS

University
of Bath, UK

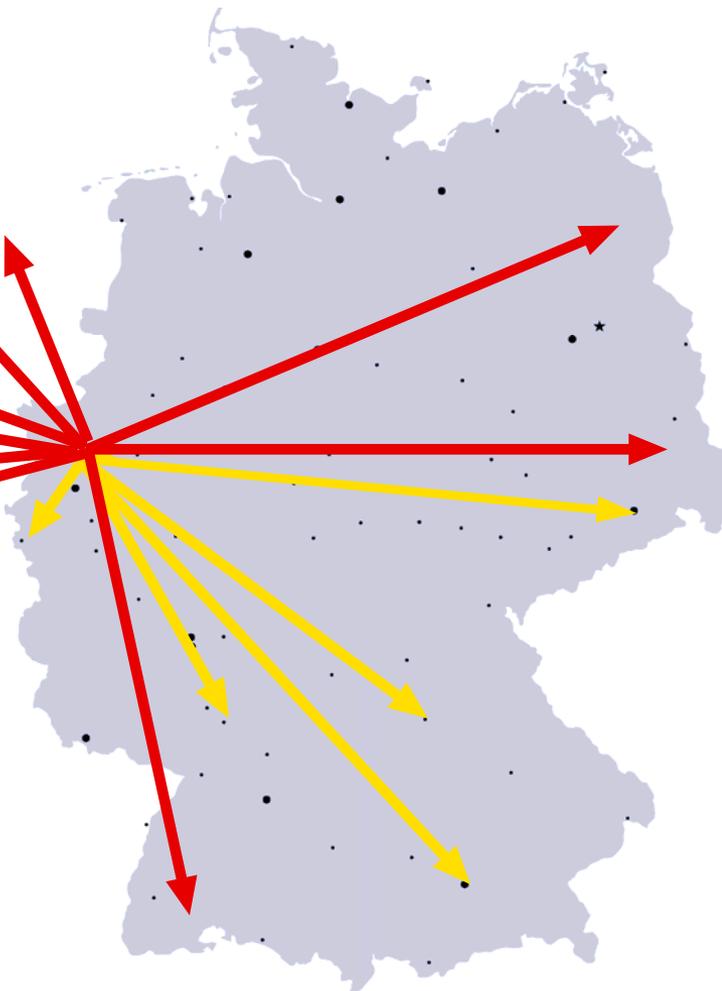
EMPA Ceramics
Dübendorf, CH

Tyndall National Inst.
Cork, IRE

Texas A&M
University, USA

IIT / NPL
New Delhi, IN

ESRF
Grenoble, FR



EUVL and Its Contamination Problems

David Y. H. Pui

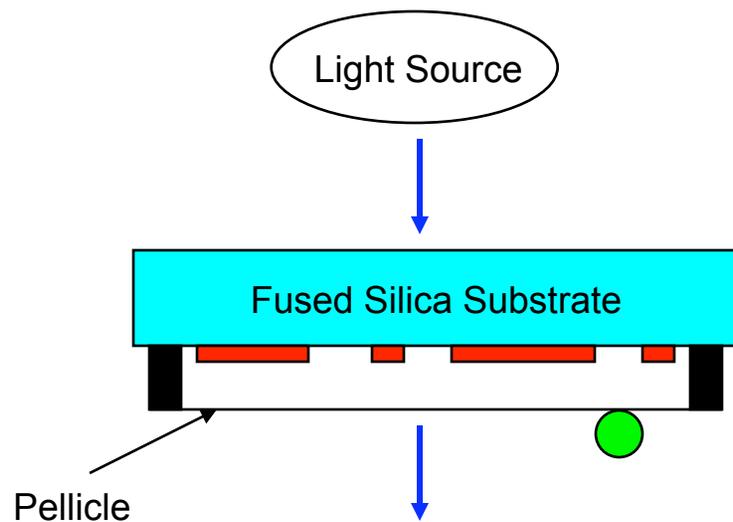
Distinguished McKnight University Professor
LM Fingerson/TSI Inc Chair in Mechanical Engineering
Director of the Particle Technology Laboratory
University of Minnesota

Outline

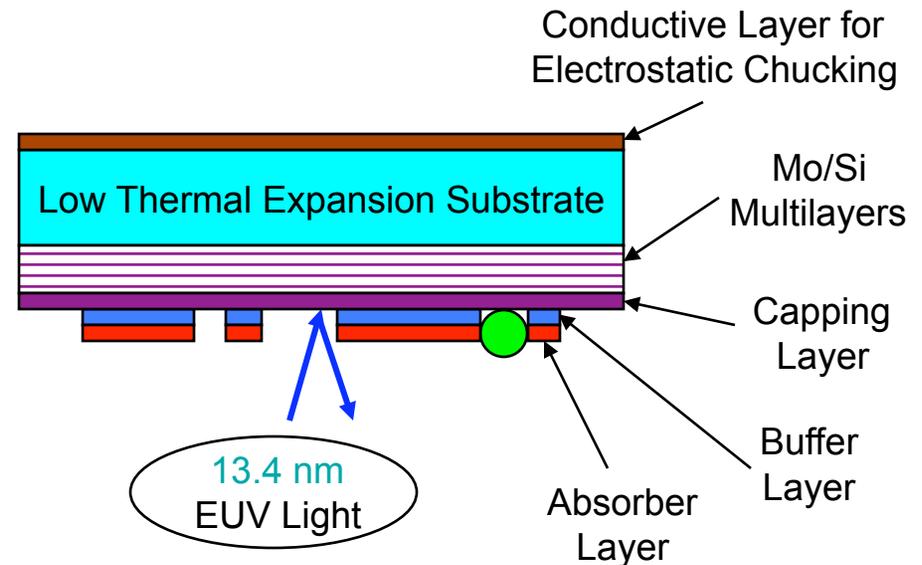
- Background and Motivation
- Protection Schemes for EUVL Masks
 - Carriers at Atmospheric Pressure
 - Scanners at below 100 mTorr
- Mask Deposition and AMC Issues – on-going investigation

Background and Motivation

Conventional Optical Lithography



Extreme Ultraviolet Lithography

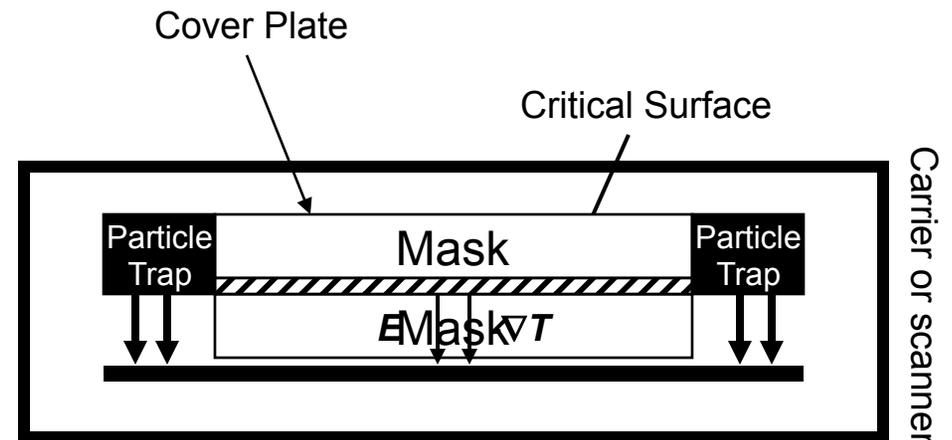


- Pellicles are unavailable for protecting the EUVL masks due to high absorption of EUV beam in most solid materials
- EUVL masks need to be protected against all particles $>$ about 20 nm

Protection Schemes

The Intel project started in 2004. Particle contamination of EUVL photomasks was unknown. It was feared that thousands of particles might deposit on the mask during each operation. We need to investigate a broad range of protection schemes.

- Mask inside a carrier or scanner
- Cover plate to reduce risk volume
- Critical surface upside down to avoid gravitational settling (Cover plate underneath mask during shipping, storage, and pump down)
- Electric field to make use of electrophoresis
- Thermal gradient to make use of thermophoresis



- Particle trap surrounding mask to avoid particle penetration from the side

Refereed Journal Papers Published under Intel Support

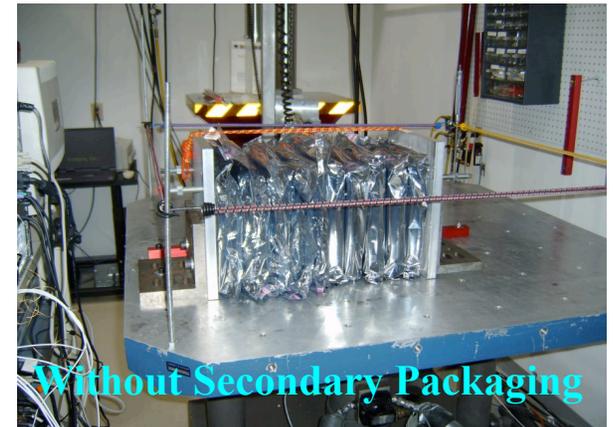
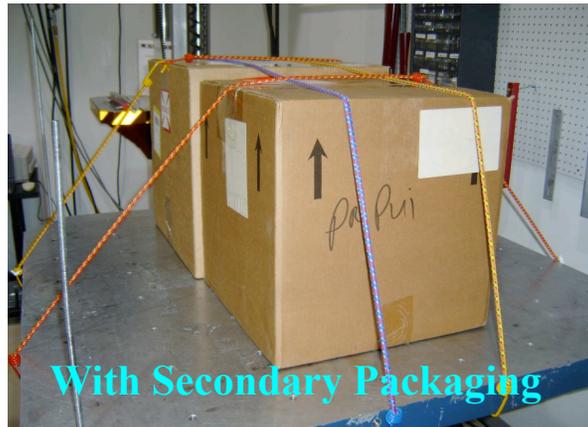
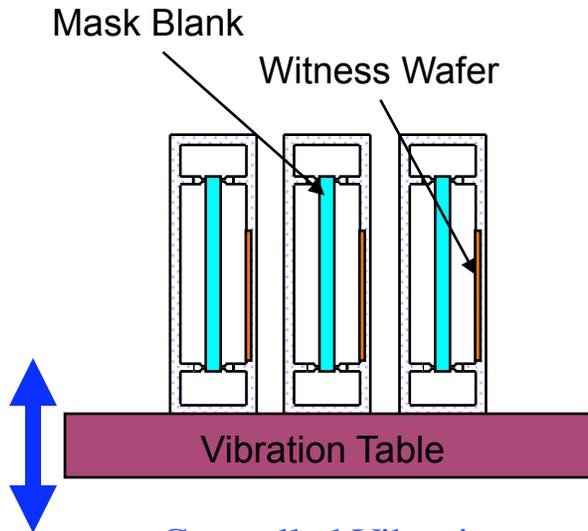
1. Asbach, C., Kim, J. H., Yook, S. J., Pui, D. Y. H., and Fissan H. (2005) Modeling of protection schemes for critical surfaces under low pressure conditions: comparison of analytical and numerical approach. *Journal of Vacuum Science & Technology B* **23(6)**: 2419-2426.
2. Asbach, C., Kim, J. H., Yook, S. J., Pui, D. Y. H., and Fissan H. (2005) Analytical modeling of particle stopping distance at low pressure to evaluate protection schemes for EUVL masks. *Applied Physics Letters* **87**: 234111.
3. Asbach, C., Fissan, H., Kim, J. H., Yook, S. J., and Pui, D. Y. H. (2006) Technical Note: Concepts for protection of EUVL masks from particle contamination and approaches for modeling and experimental verification. *J. Nanoparticle Research*, **8**, 705 – 708.
4. Kim, J. H., Asbach, C., Yook, S. J., Fissan H., Orvek, K., Ramamoorthy, A., Yan, P. Y., and Pui, D. Y. H. (2005) Protection schemes for critical surfaces in vacuum environment. *J. Vacuum Science & Technology A* **23(5)**:1319-1324.
5. Kim, J. H., Fissan, H., Asbach, C., Yook, S. J., and Pui, D. Y. H. (2006) Speed controlled particle injection under vacuum conditions. *J. Vacuum Science & Technology A*, **24(2)**: 229-234.
6. Kim, J. H., Fissan, H., Asbach, C., Yook, S. J., Orvek, K., and Pui, D. Y. H. (2006) Investigation of thermophoretic protection with speed-controlled particles at 100, 50, and 25 mTorr. *J. Vacuum Science & Technology B*, **24(3)**: 1178-1184.
7. Kim, J. H., Fissan, H., Asbach, C., Yook, S. J., Wang, J., Pui, D. Y. H., and Orvek, K. J. (2006) Effect of reverse flow by differential pressure on the protection of critical surfaces against particle contamination. *Journal of Vacuum Science & Technology B* **24(4)**:1844-1849.
8. Asbach, C., Fissan, H., Kim, J. H., Yook, S. J., and Pui, D. Y. H. (2007) A Simple theoretical approach to estimate the effect of gravity and thermophoresis on the diffusional nanoparticle contamination under low pressure conditions, *J. Vac. Sci. & Technol. B*, **25(1)**: 47 – 53.
9. Yook, S. J., H. Fissan, C. Asbach, J. H. Kim, J. Wang, P. Y. Yan, and D. Y. H. Pui, (2007) Evaluation of protection schemes for extreme ultraviolet lithography (EUVL) masks against top-down aerosol flow, *J. Aerosol Sci.* **38**, 211 – 227, Feb. 2007.

10. Engelke, T., T. van der Zwaag, C. Asbach, H. Fissan, J. H. Kim, S. J. Yook, and D. Y. H. Pui, (2007) Numerical Evaluation of Protection Schemes for EUVL Masks in Carrier Systems Against Horizontal Aerosol Flow, *J. Electrochem. Soc.* **154**, H170–H176.
11. Yook, S. J., Fissan, H., Asbach, C., Kim, J. H., van der Zwaag, T., Engelke, T., Yan, P. Y., and Pui, D. Y. H. (2007) Experimental investigations on protection schemes for extreme ultraviolet lithography (EUVL) mask carrier systems against horizontal aerosol flow, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* **20(2)**:176-186.
12. Yook, S. J., Fissan, H., Kim, J. H., van der Zwaag, T., Engelke, T., Asbach, C., Eschbach, F., Wang, J., and Pui, D. Y. H. (2008) Controlled Deposition of SiO₂ Nanoparticles of NIST-Traceable Particle Sizes for Mask Surface Inspection System Characterization, *IEEE Trans. Semiconduct. Manuf.* **21(2)**:238-243.
13. Yook, S.J., H. Fissan, C. Asbach, J. H. Kim, D. D. Dutcher, P. Y. Yan, and D. Y. H. Pui, (2007) Experimental investigations on particle contamination of masks without protective pellicles during vibration or shipping of mask carriers, *IEEE Trans. Semicond. Manuf.* **20(4)**: 578-584.
14. Yook, S. J. H. Fissan, T. Engelke, C. Asbach, T. van der Zwaag, J. H. Kim, J. Wang, and D. Y. H. Pui (2008) Methods to deposit nanoparticles of NIST-traceable sizes on a mask or a wafer surface for characterizing surface inspection tools, *J. Aerosol Sci.* (in press)
15. Asbach, C., Stahlmecke, B., Fissan, H., Kuhlbusch, T., Wang, J. and Pui, D. Y.H. (2008) Analytical-statistical model to approximate diffusional nanoparticle deposition on inverted surfaces at low pressure, *Applied Physics Letters* **92(6)**:064107.
16. Wang, J., Pui, D. Y.H., Qi, C., Yook, S.J., Fissan, H., Ultanir, E. and Liang, T. (2008) Controlled Deposition of NIST-traceable Nanoparticles as Additional Size Standards for Photomask Applications, *Proc. of SPIE* Vol. 6922:69220G.

Outline

- Background and Motivation
- **Protection Schemes for EUVL Masks**
 - Carriers at Atmospheric Pressure
 - Scanners at below 100 mTorr
- Mask Deposition and AMC Issues – on-going investigation

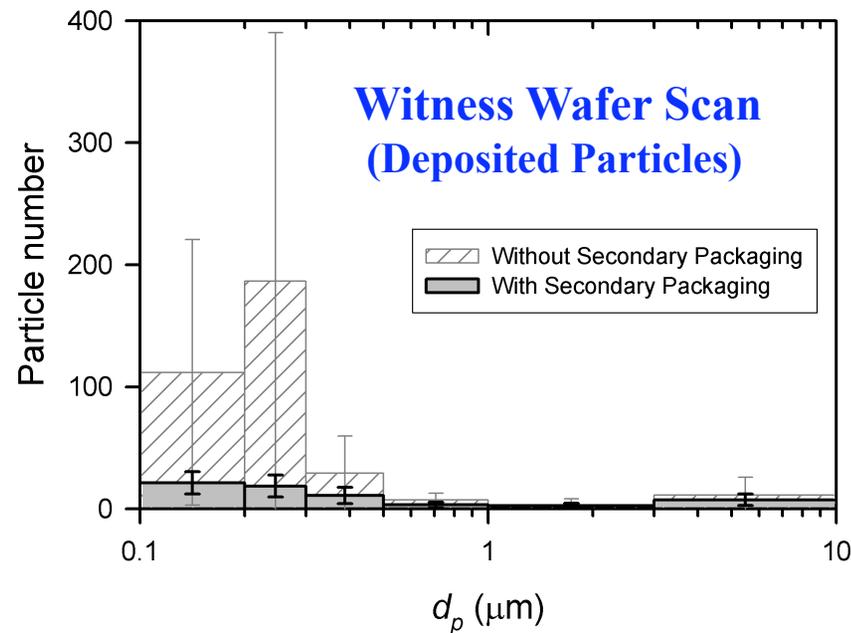
Effect of Secondary Packaging



Controlled Vibration

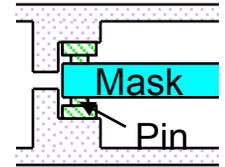
- ISTA Procedure 1G at $1.15 G_{\text{rms}}$
- Vertical position
- Particle detection on 4" wafers

• This work was done in cooperation with Entegris.



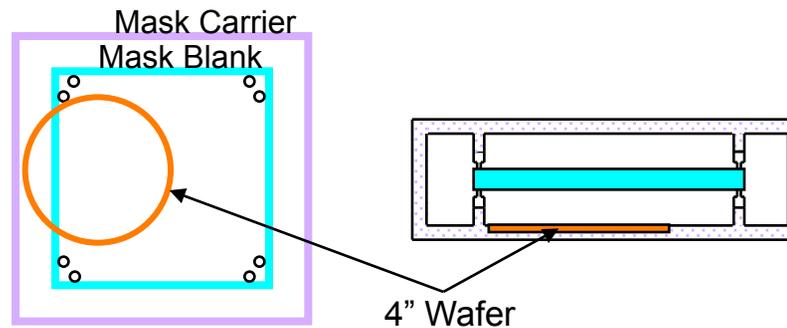
• Secondary packaging is helpful in reducing particle generation

Particle Detection Methods



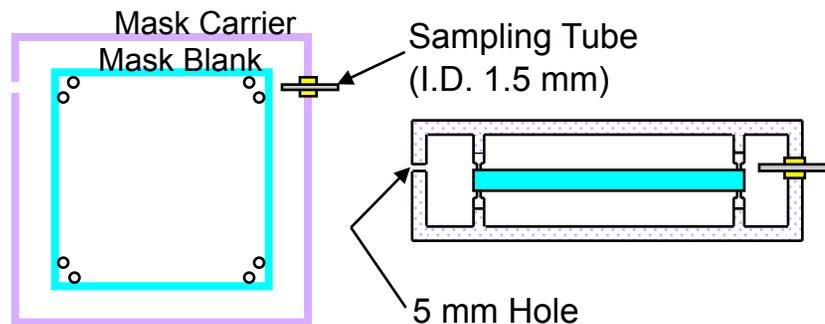
▪ Surface particle detection

- **Mask Scan:** Lasertec M1350
- **Wafer Scan:** PMS SAS 3600 XP

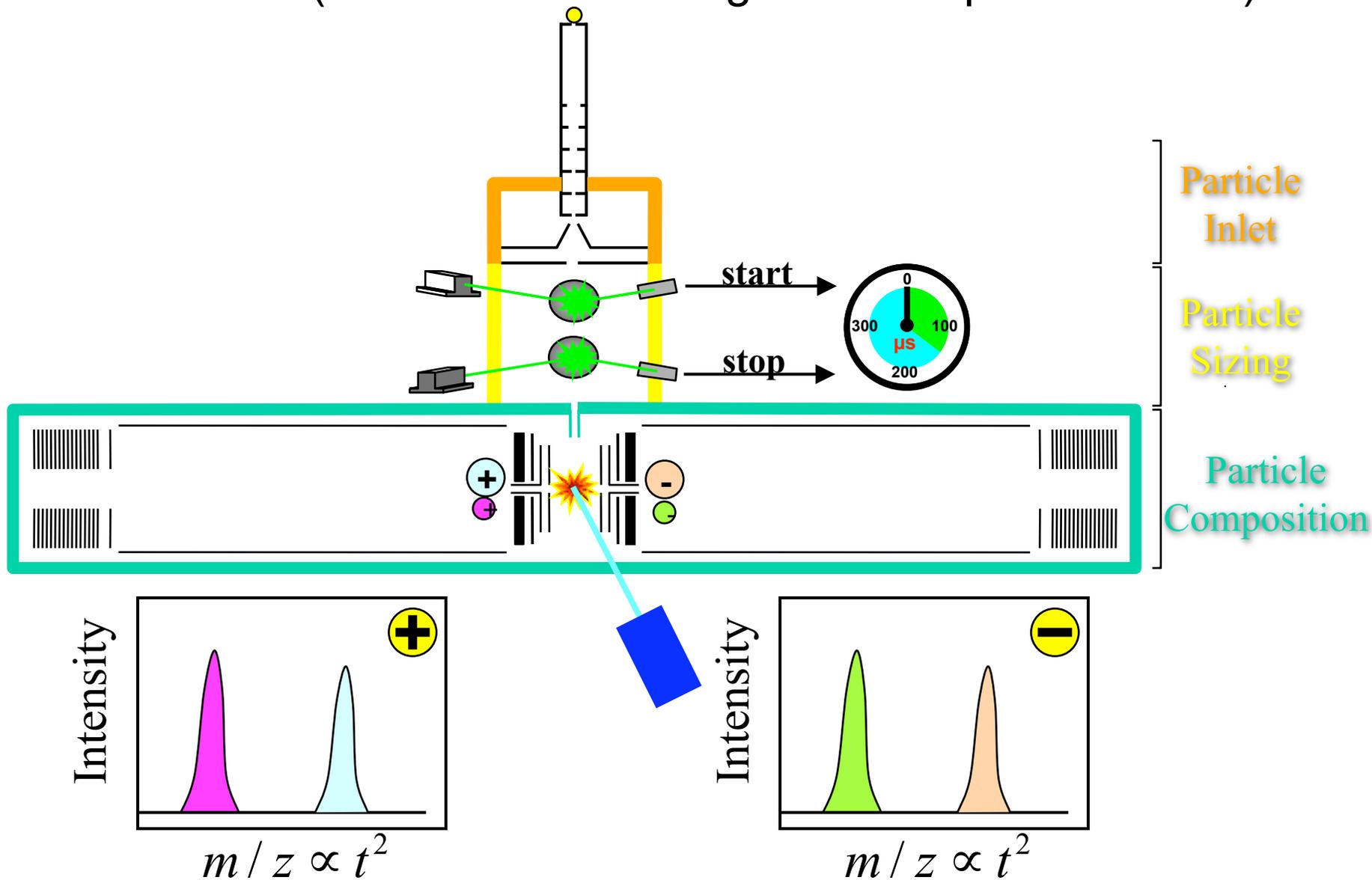


▪ Airborne particle detection

- Laser particle counter (**HS-LAS**) for size distribution
- Aerosol Time-of Flight Mass Spectrometer (**ATOFMS**) for particle chemical composition

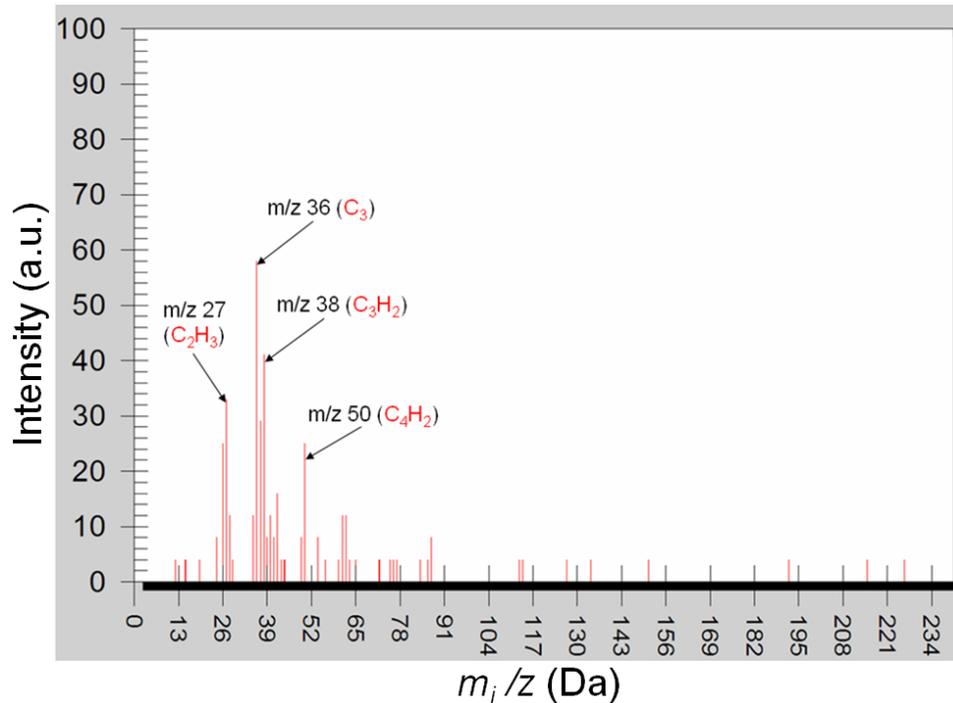


ATOFMS (Aerosol Time-of-Flight Mass Spectrometers)

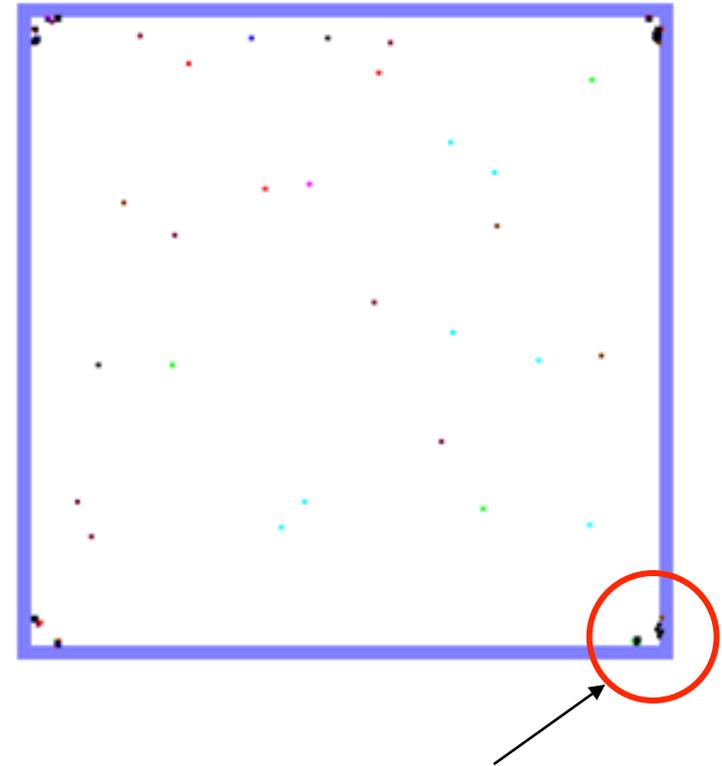


Particle Source Identification

AToFMS



Mask Scan



- Complex organic compound or mixture
- Possibly polymer

Yook et al., *IEEE Trans. Semi. Manu.* **20(2)**: 176-186 (2007).

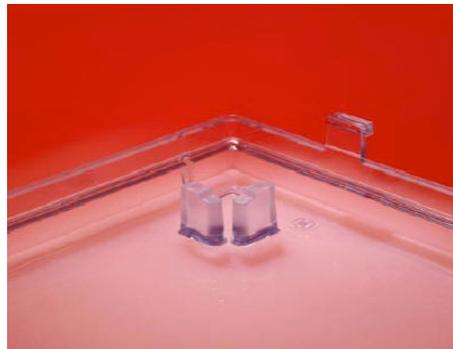
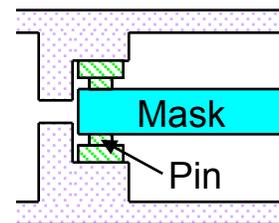
- Contact points between the mask surface and pins

• Particles come mostly from contact points between mask surface and pins

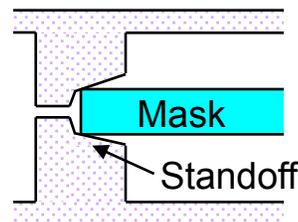
Validation of Pozzetta Carrier Design on Particle Generation during Real Shipping



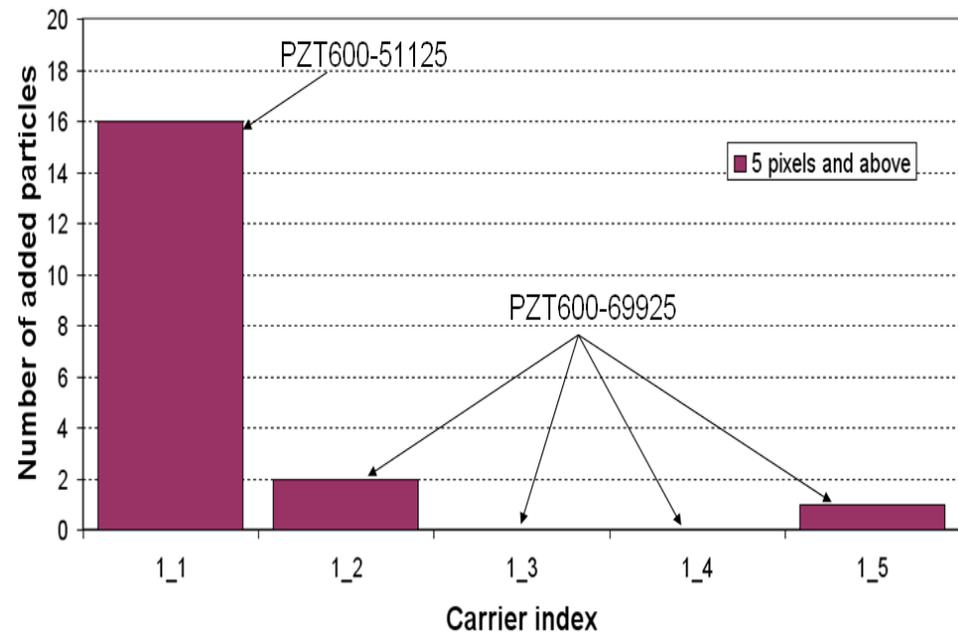
PZT600-51125



PZT600-69925



Mask Scan

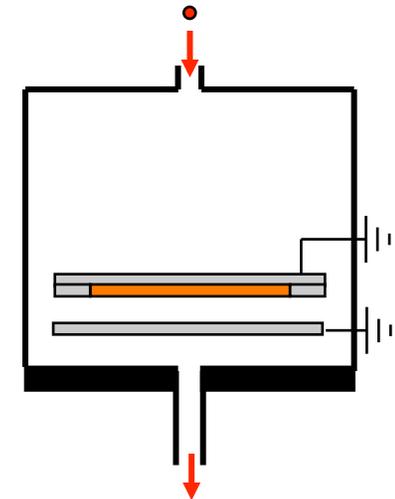
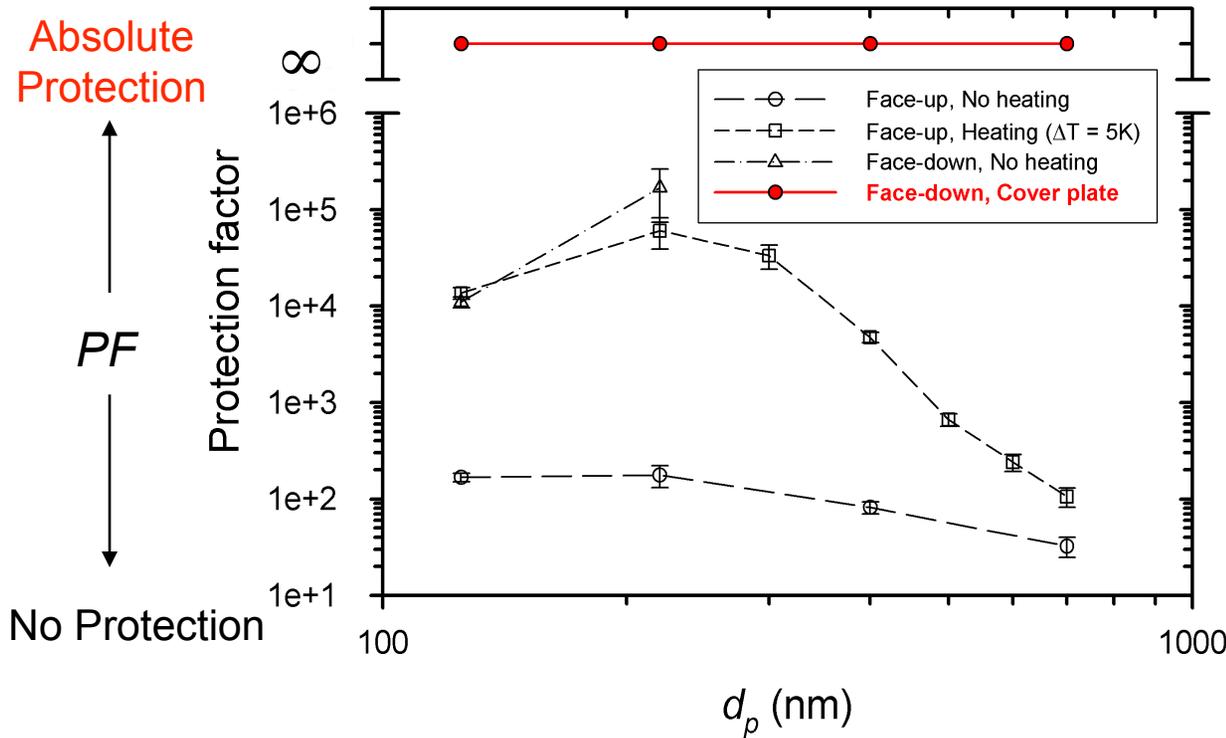


- The pin-support generates considerable particles during shipping.
- The standoff-support generates almost no particles.

Study of Various Protection Schemes inside a Carrier

$$PF = \frac{\text{Number of injected particles into the chamber}}{\text{Number of deposited particles on the wafer}}$$

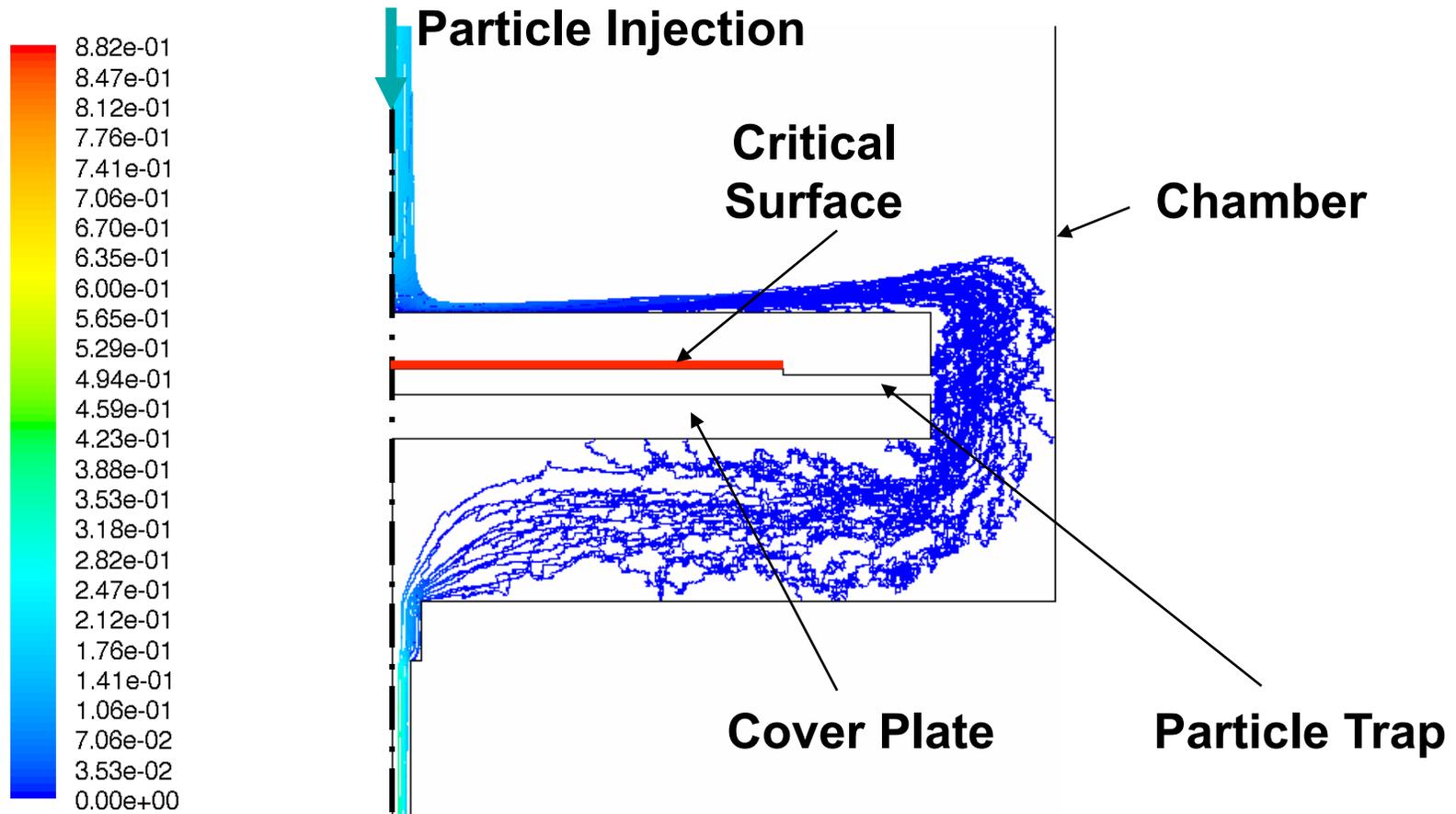
Chamber Cover Top Injection



Yook et al., J. Aerosol Sci. 38:211-227 (2007).

- No particle deposition with face-down mounting and a cover plate

Effect of Cover Plate Protection ($d_p = 10$ nm)



Particle Traces Colored by Velocity Magnitude (m/s)

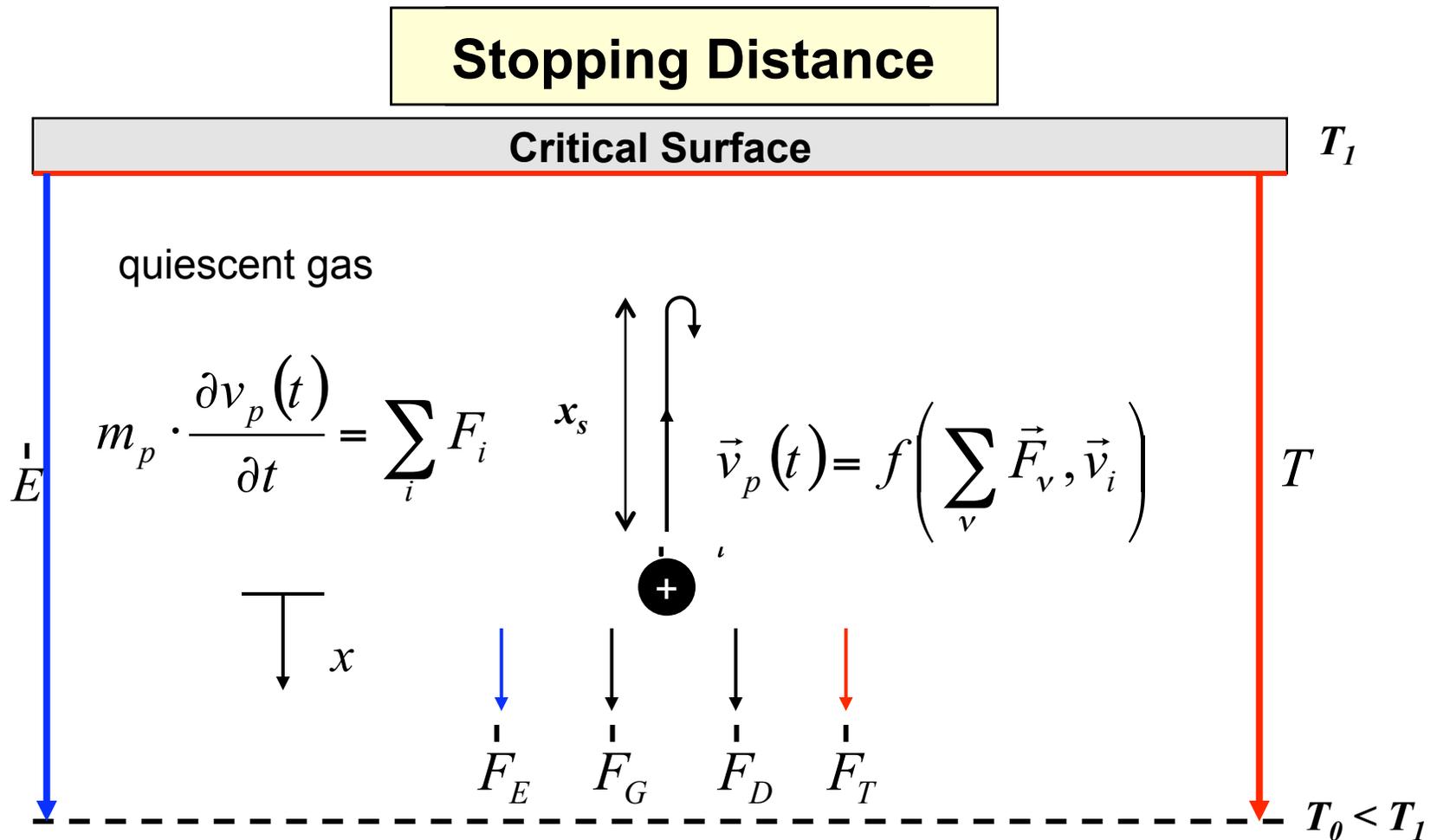
May 15, 2006
FLUENT 6.2 (axi, dp, segregated, lam)

□ No particle deposition on the critical surface down to $d_p = 10$ nm

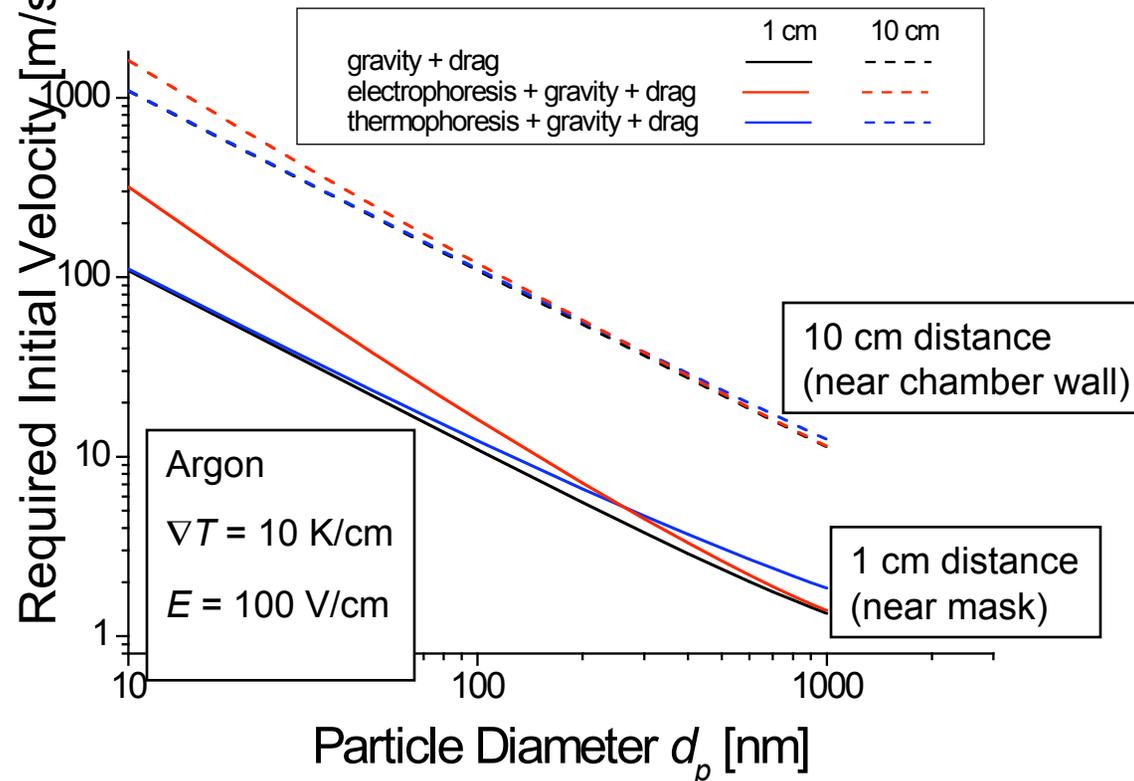
Outline

- Background and Motivation
- **Protection Schemes for EUVL Masks**
 - Carriers at Atmospheric Pressure
 - **Scanners at below 100 mTorr**
- Mask Deposition and AMC Issues – on-going investigation

Modeling Situation

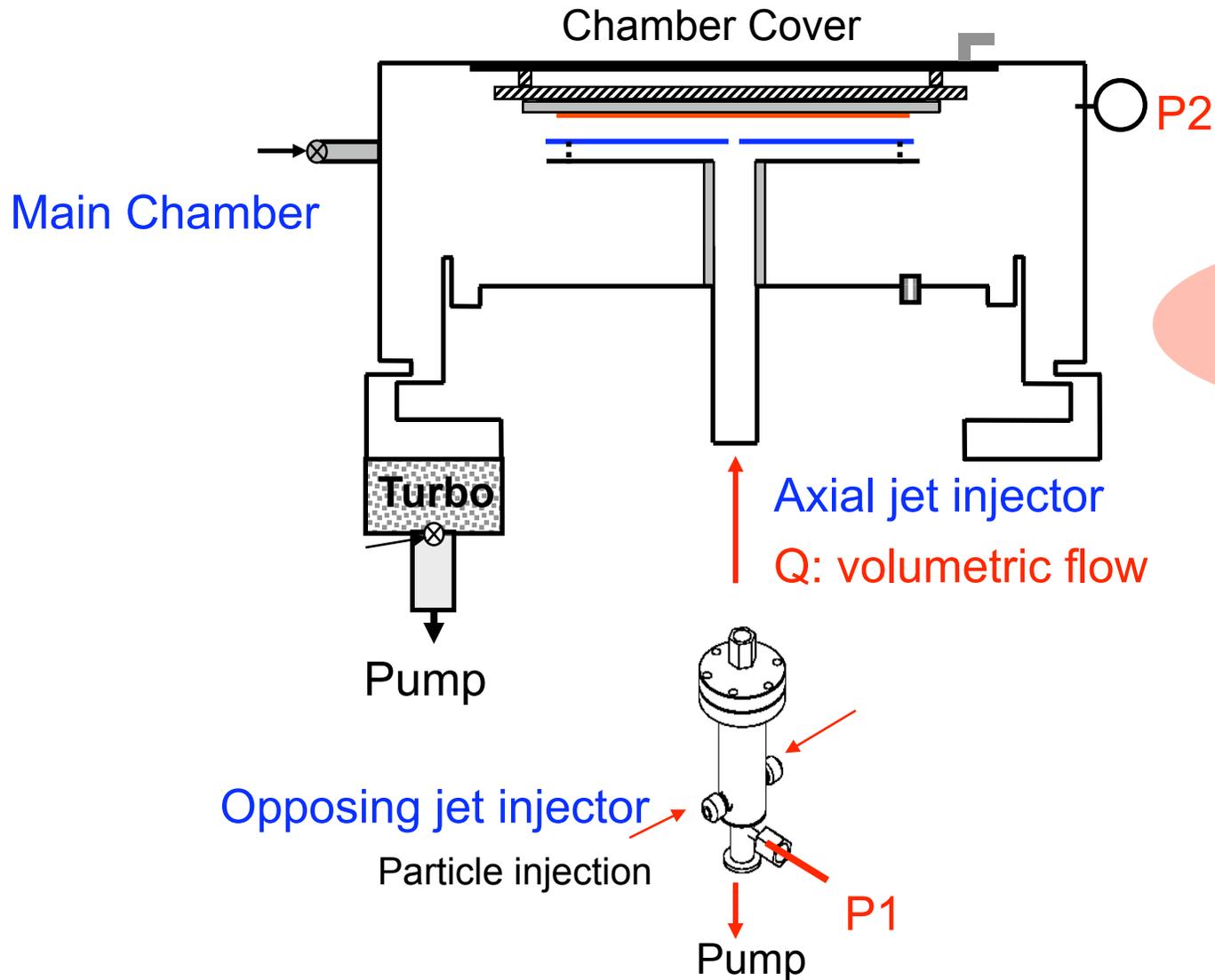


Required Initial Velocities to Travel 1 cm and 10 cm at 50 mTorr



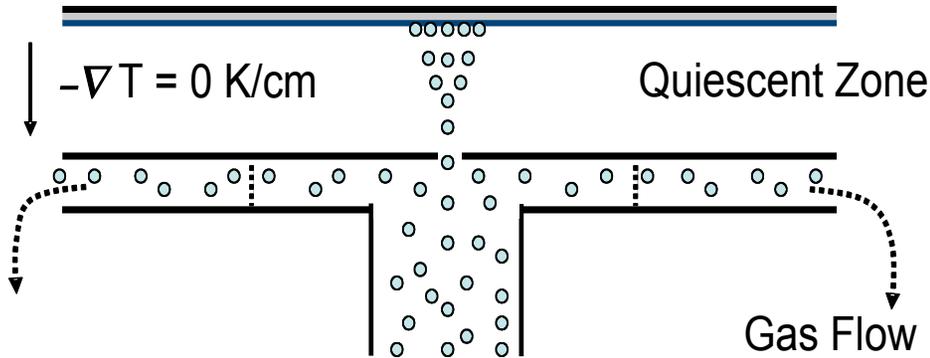
- Very unlikely that particles from 10 cm or further away reach mask.
 - ✓ High speed particles: drag force effective.
 - ✓ Thermophoresis adds very little protection for high speed particles.
 - ✓ Later we show thermophoresis is effective for slow particles (diffusion driven).
- Particles close to mask are likely to be deposited.

Experimental Setup

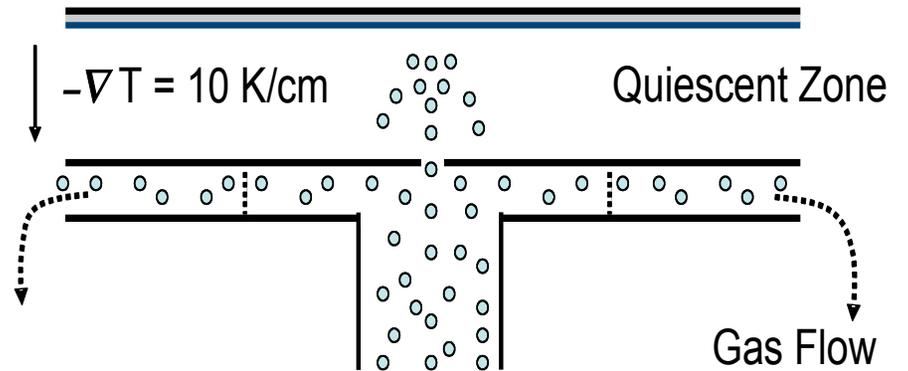


Thermophoresis Test Set Up

No Gradient



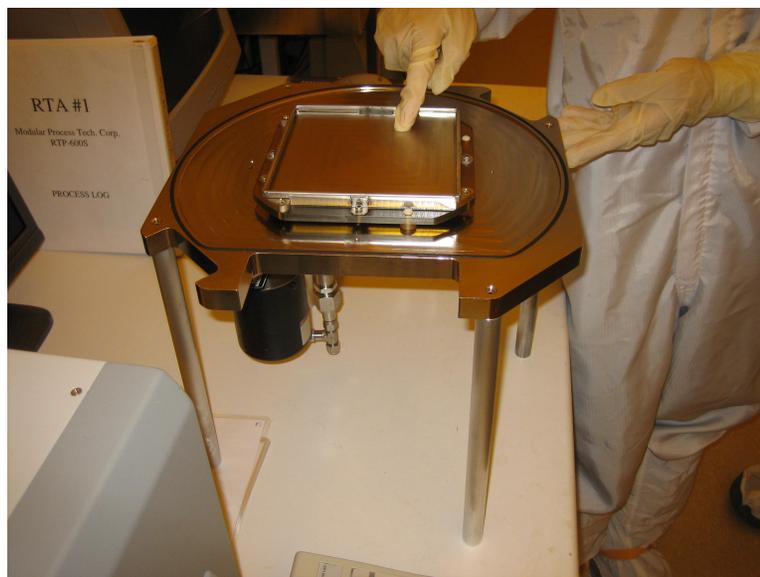
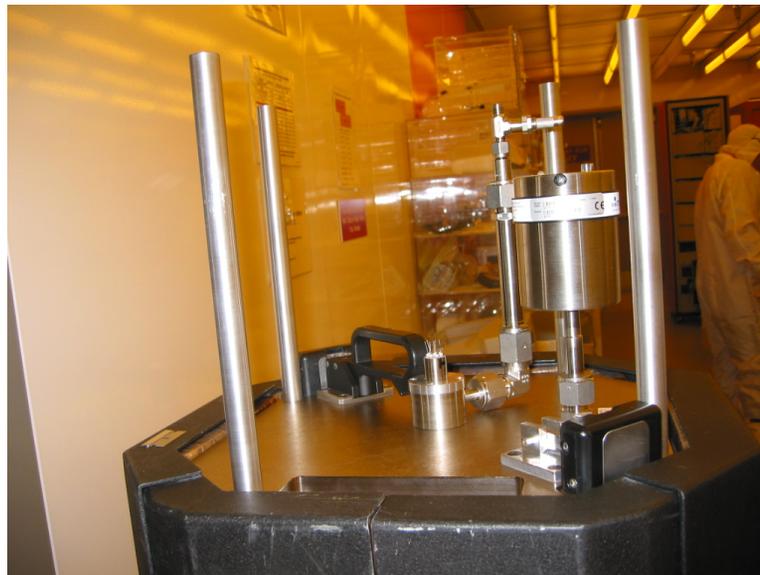
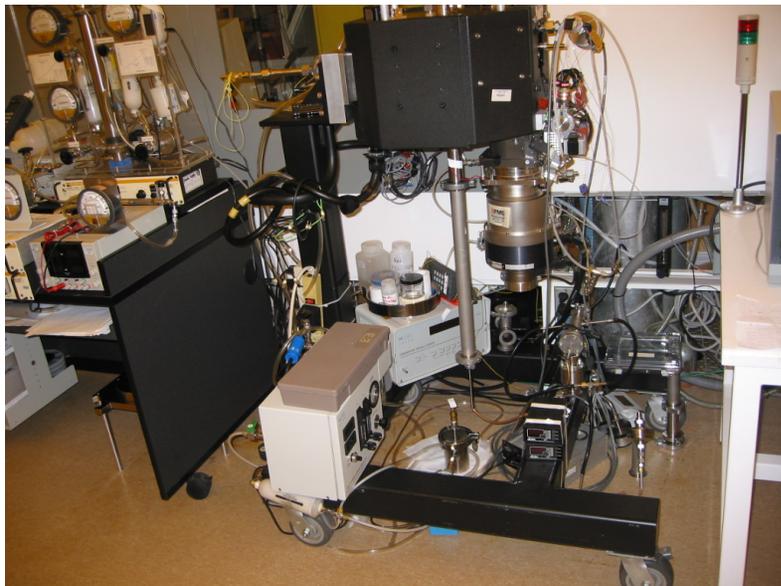
With Gradient



Experimental cases:

P :	100 mTorr, 50 mTorr
∇T :	0 K/cm, -10 K/cm
d_p :	125 nm, 220 nm (on wafers) 70 nm, 100 nm (on masks)
v_j :	below, at, or above critical speed
Gap:	1, 2 or 3 cm

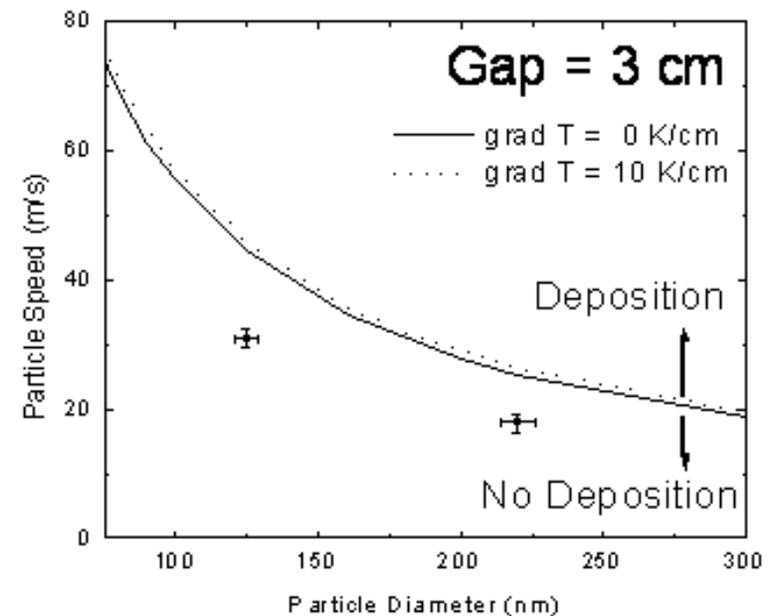
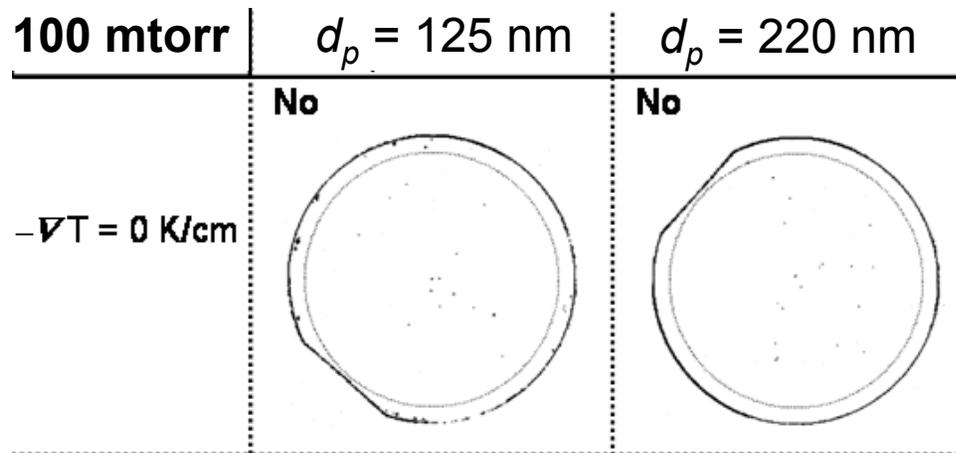
Vacuum chamber



Thermophoresis at 100 mTorr, 3 cm Gap

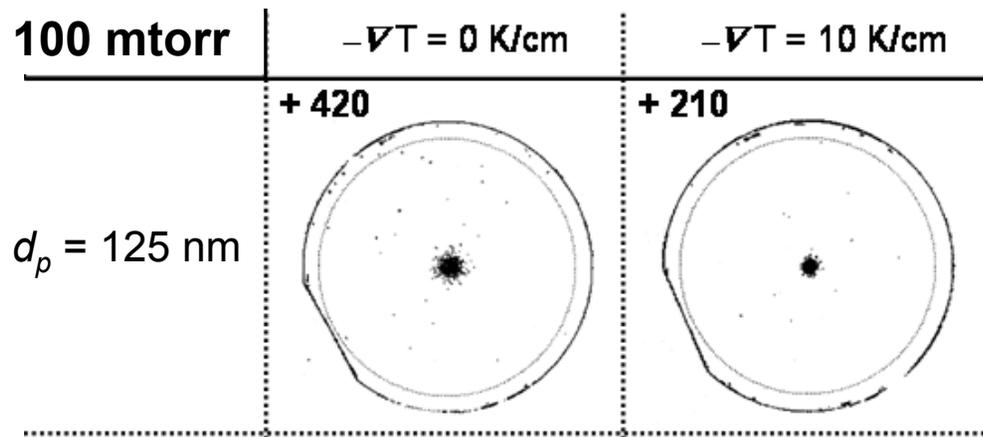
$v_p = 31$ m/s for 125 nm

$v_p = 18$ m/s for 220 nm



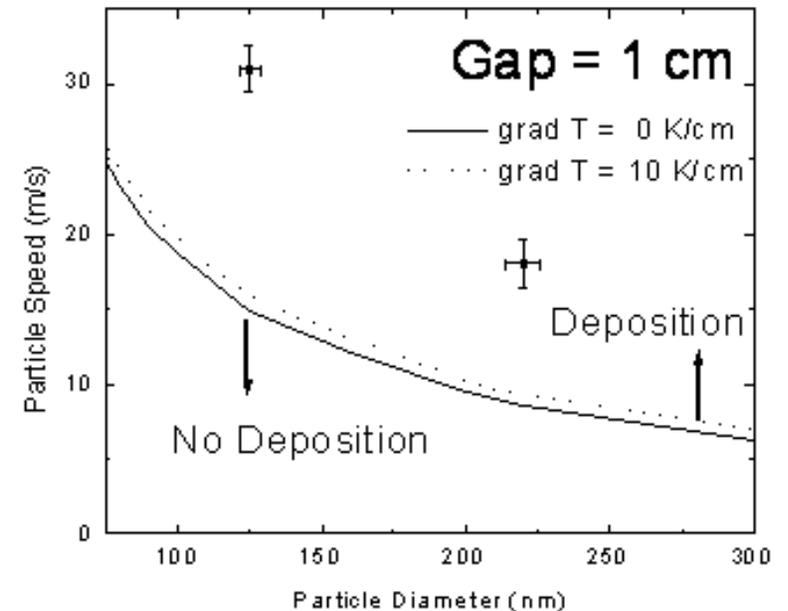
- No particles deposited as predicted by the analytical model.

Thermophoresis at 100 mTorr, 1 cm Gap



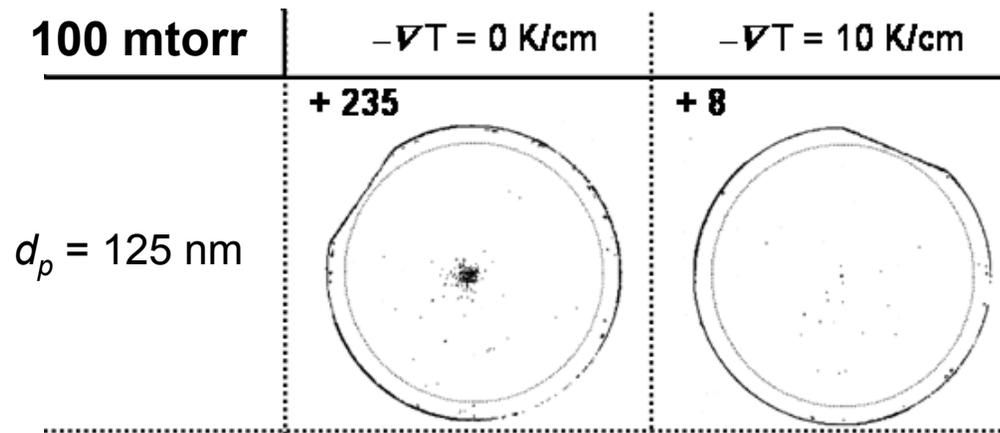
$v_p = 31 \text{ m/s}$ for 125 nm

$v_p = 18 \text{ m/s}$ for 220 nm



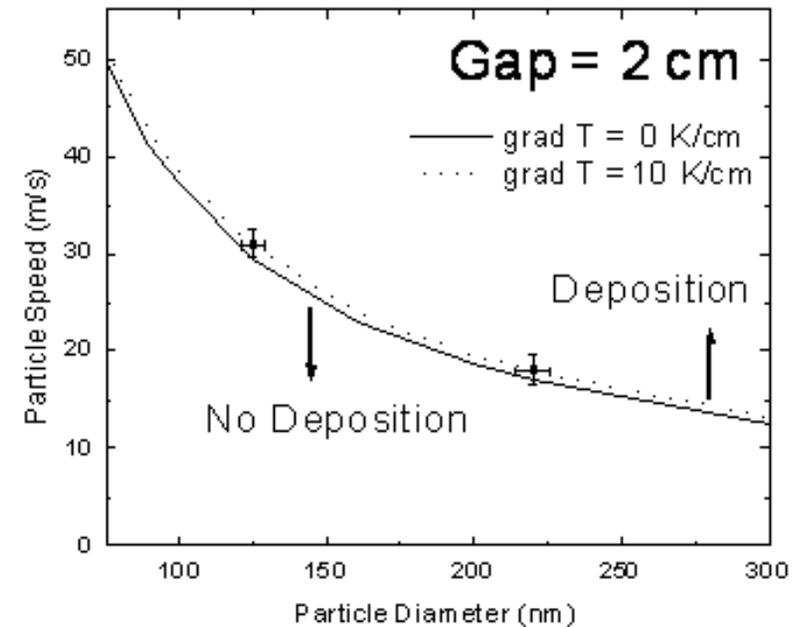
- Particles deposited as predicted. Evidence of bouncing and diffusion is seen.

Thermophoresis at 100 mTorr, 2 cm Gap



$v_p = 31 \text{ m/s}$ for 125 nm

$v_p = 18 \text{ m/s}$ for 220 nm

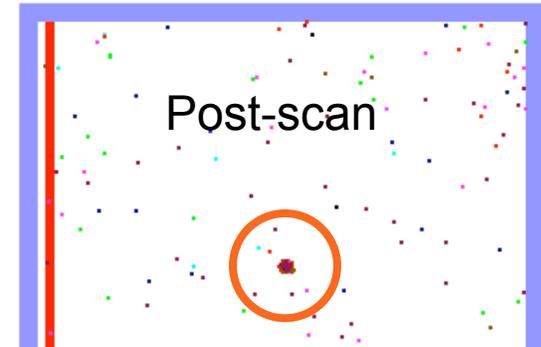
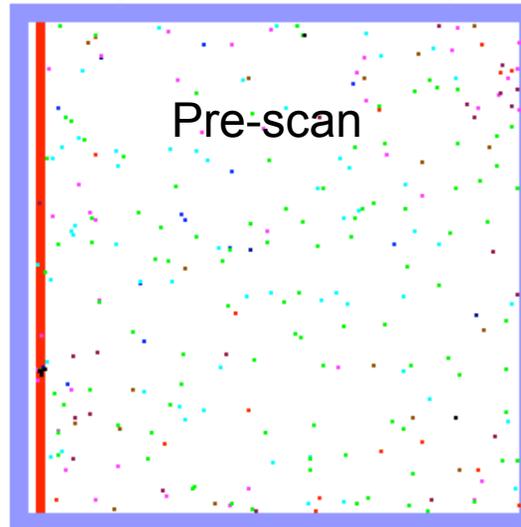


- Thermophoresis improves protection.

Real Mask Deposition

50 mTorr, 70 nm, 0 K/cm

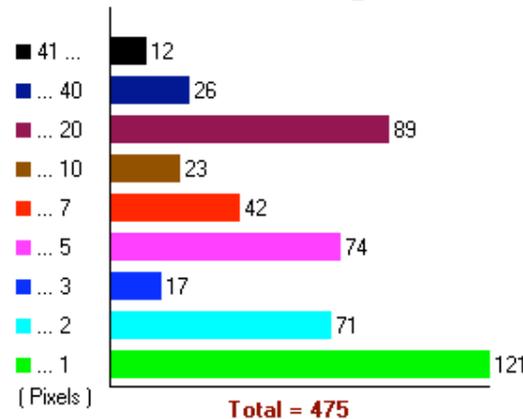
Main Chamber p = 50 mTorr
 Flow rate = 0.075 lpm
 Particle C = 600 p/cc
 Testing time: 40 min
Particle speed: 24.2 m/s
 Critical speed: 13.304 m/s



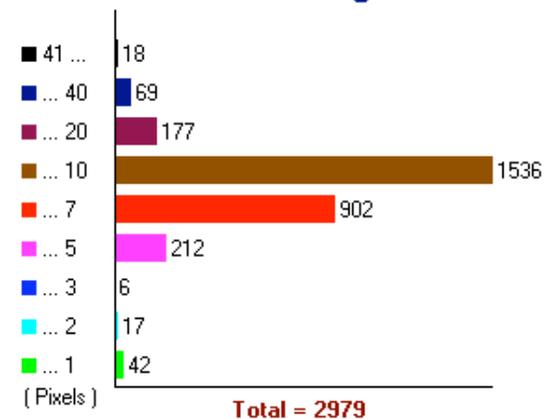
Particles deposited in confined area

- 70 nm particles mainly correspond to 10 pixel particles.
- About 1500 10-pixel particles are added.

Pixel Histogram



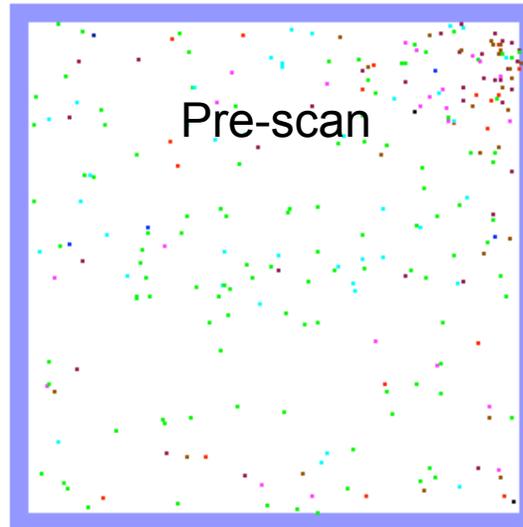
Pixel Histogram



Real Mask Deposition

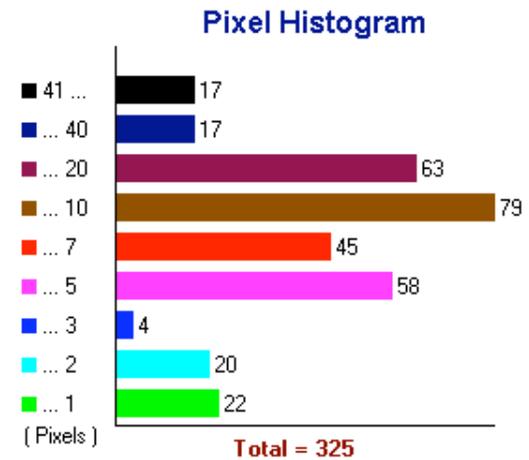
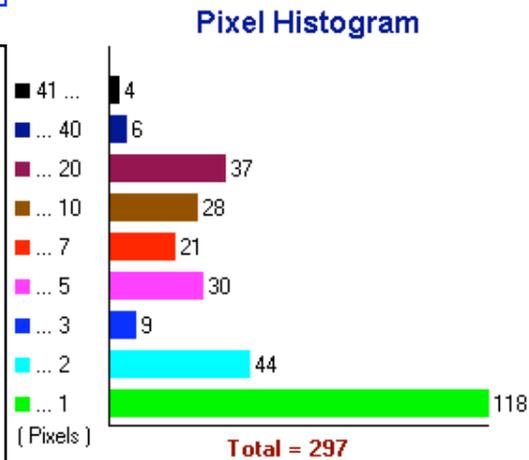
50 mTorr, 70 nm, 0 K/cm

Main Chamber p = 50 mTorr
Flow rate = 0.075 lpm
Particle C = 330 p/cc
Testing time: 40 min
Particle speed: 9.0 m/s
Critical speed: 13.304 m/s

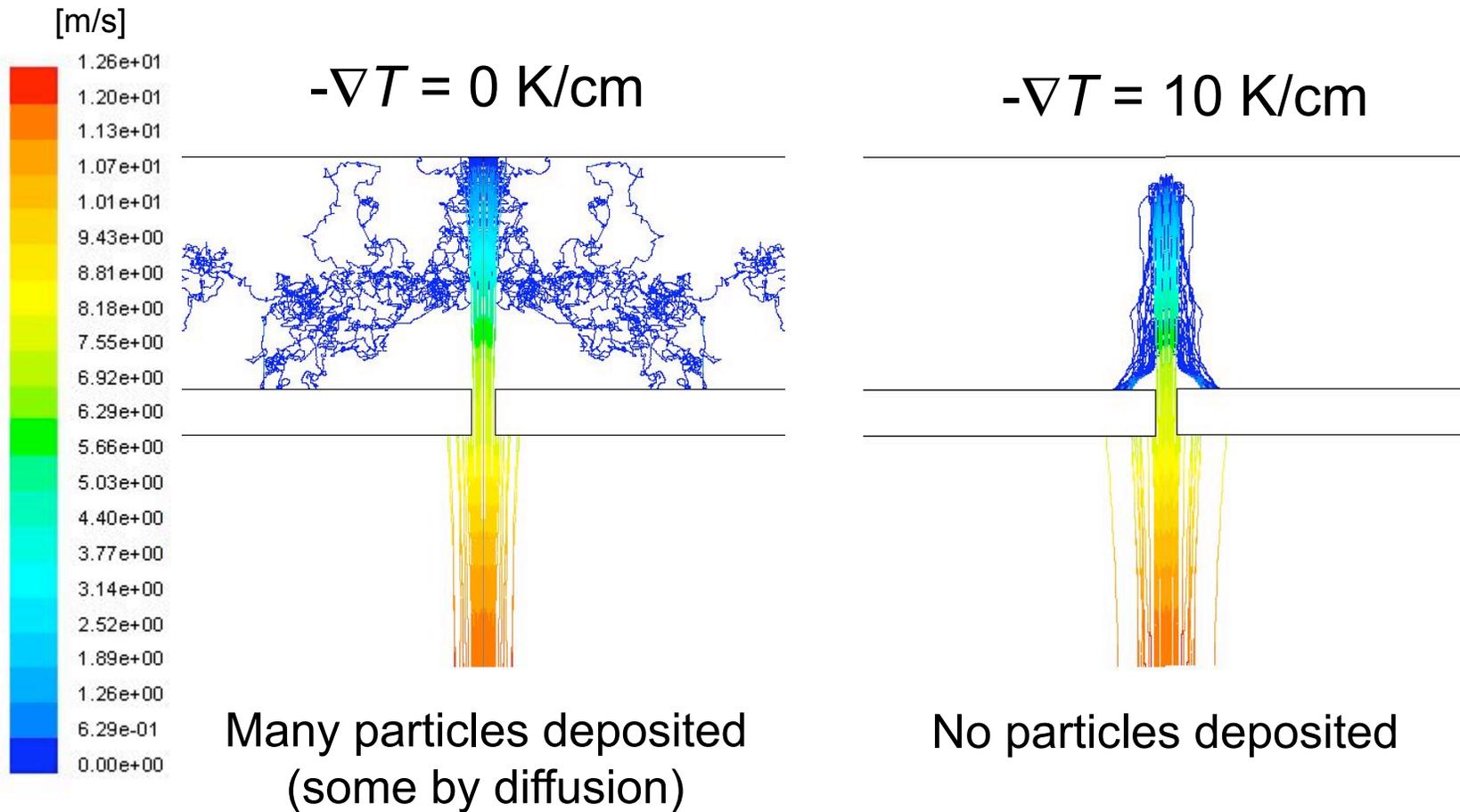


Enhanced diffusion
obvious

- About 50 10-pixel particles are added near the center.
- These particles first stop then diffuse to the mask surface. Small particles show strong diffusion effect.



Simulations at 50 mTorr 125 nm, 1 cm Gap, $v_i = 6.5$ m/s



- Thermophoresis overcomes diffusion.

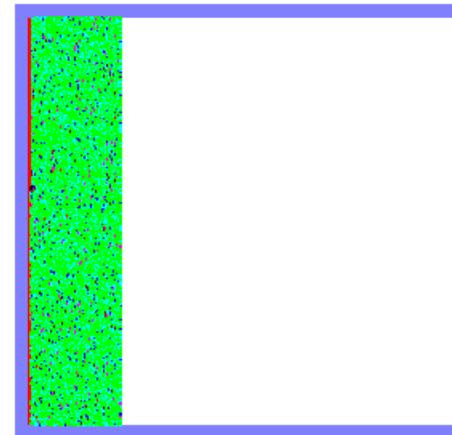
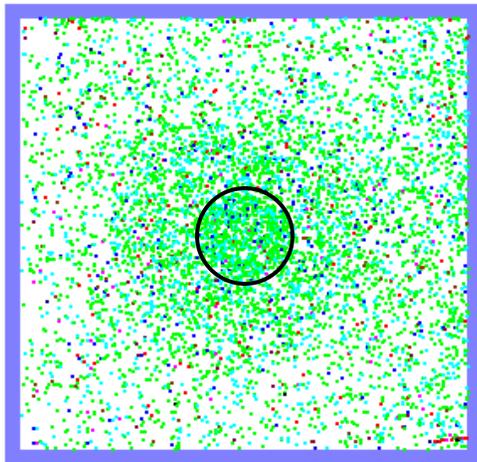
Outline

- Background and Motivation
- Protection Schemes for EUVL Masks
 - Carriers at Atmospheric Pressure
 - Scanners at below 100 mTorr
- **Mask Deposition and AMC Issues – on-going investigation**

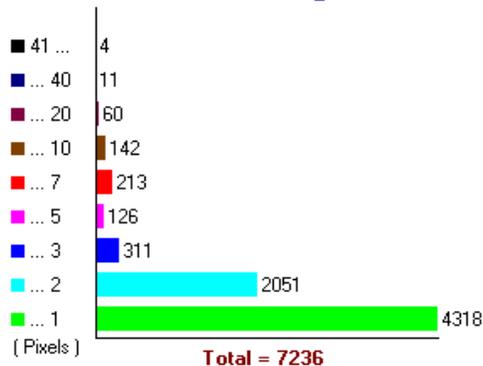
Haze Observed under Atmospheric and Vacuum Conditions

50nm SiO₂. Target deposition area:
1inch spot size at the center. Testing
time: **2 min.** (Atmospheric Pressure)

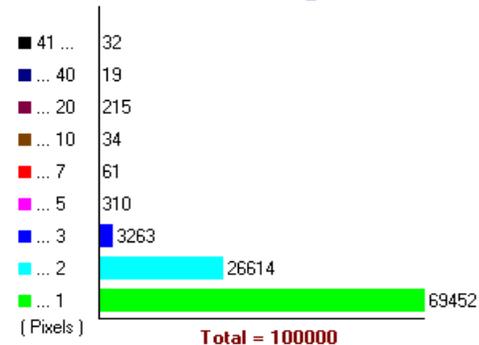
100 nm PSL particle. (Main
Chamber p = 50 mTorr). Testing
time: **1.5 hours**



Pixel Histogram

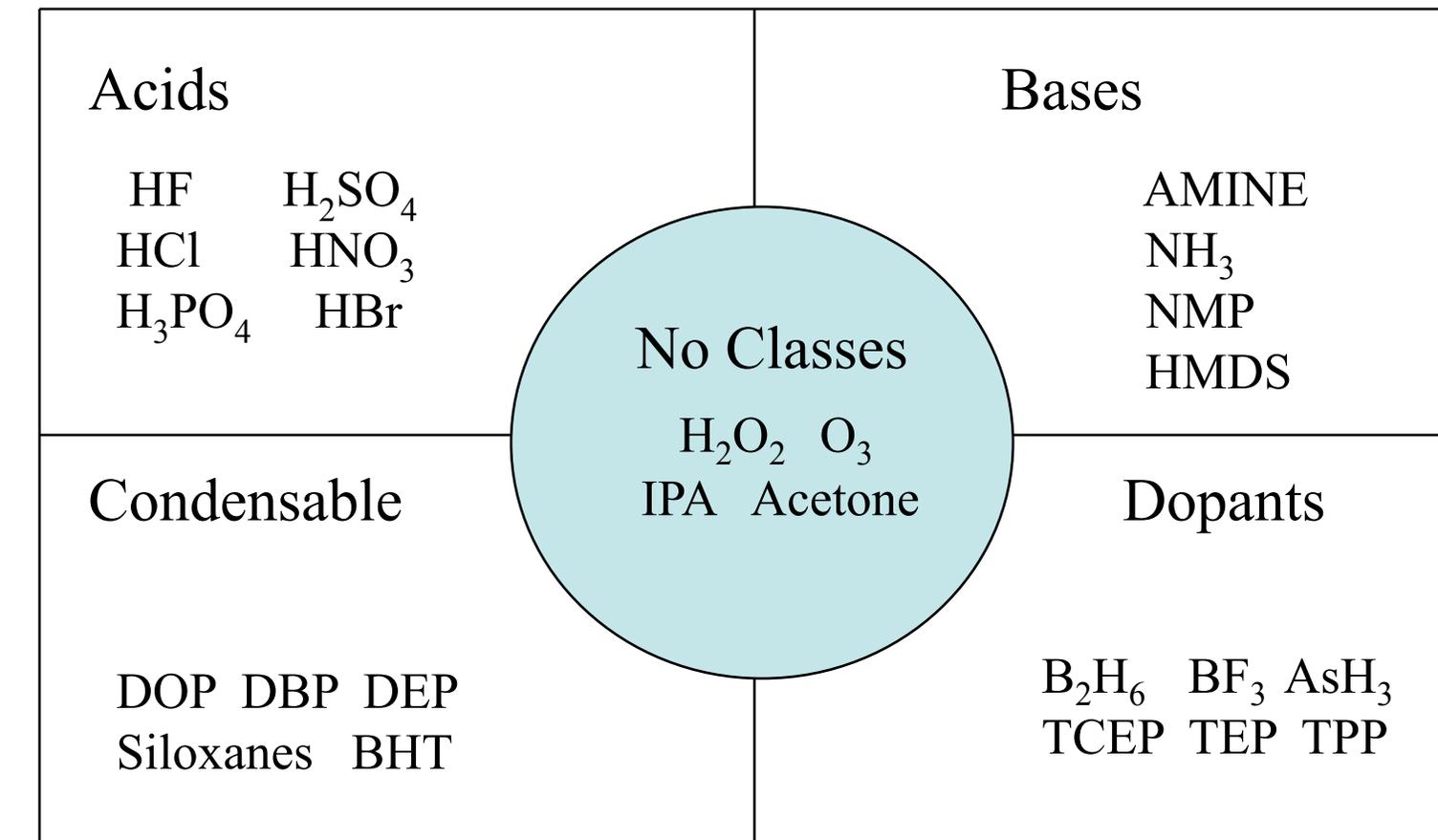


Pixel Histogram



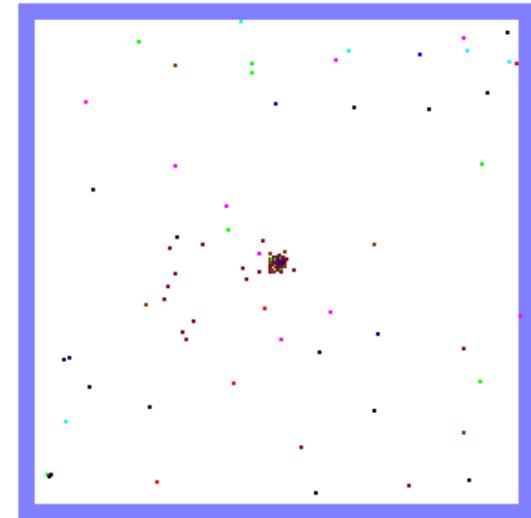
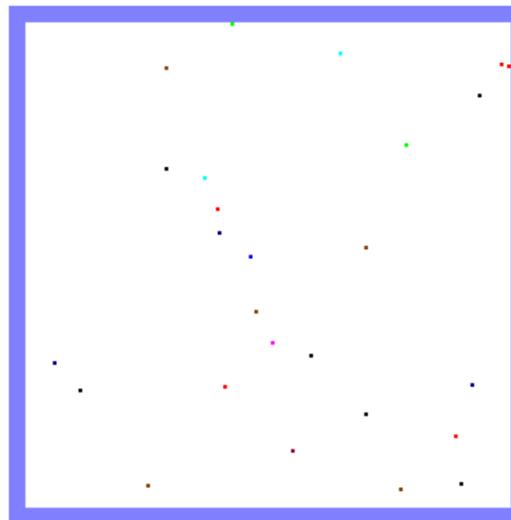
Airborne Molecular Contaminants (AMCs)

Classification of AMCs

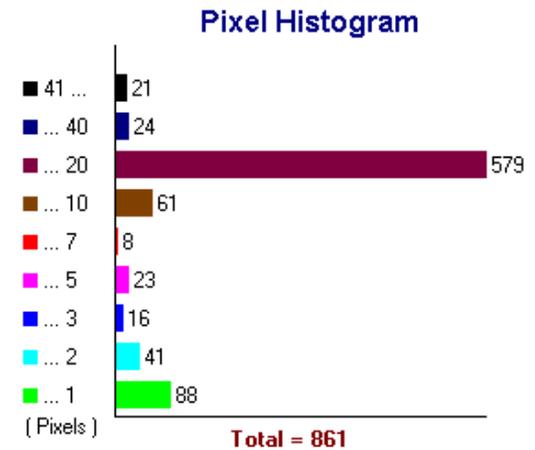
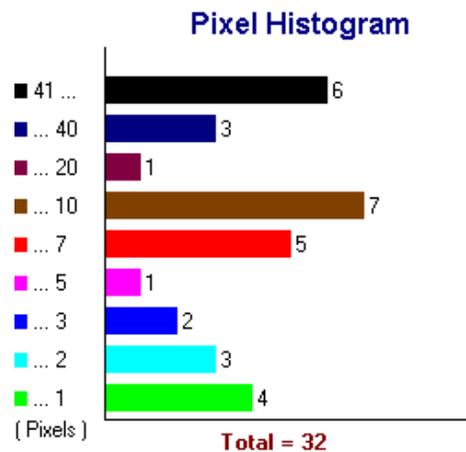


High speed injection, 100 nm, 10 K/cm (Vacuum)

Main Chamber p = 50 mTorr
Flow rate = 0.075 lpm
Particle C = 11000 p/cc
Testing time: 50 min
Particle speed: 11.3 m/s
Critical speed: 10.722 m/s

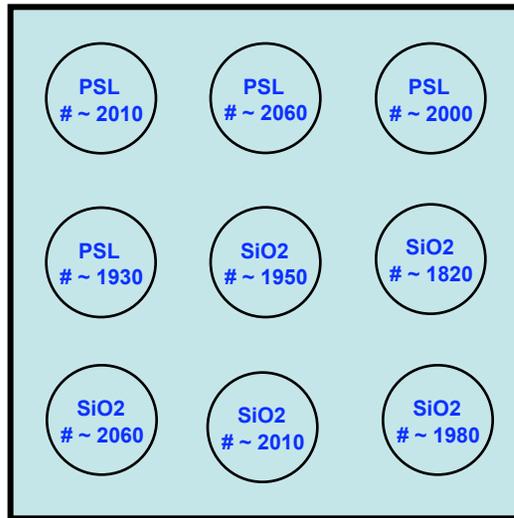


100 nm particles mainly correspond to 20 pixel particles. About 500 20-pixel particles are added.



Controlled Particle Deposition on Mask Blanks

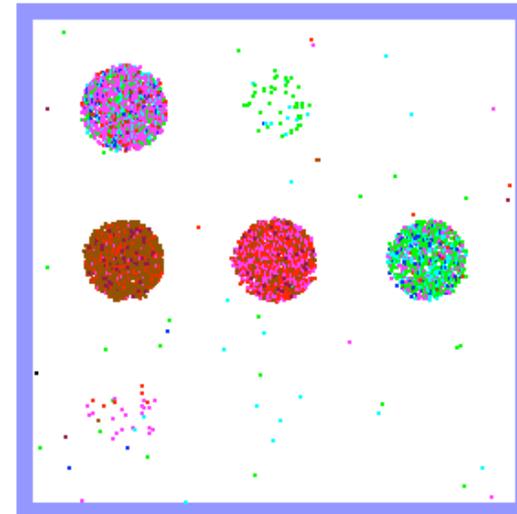
Deposition Plan (~ 2000 particles)



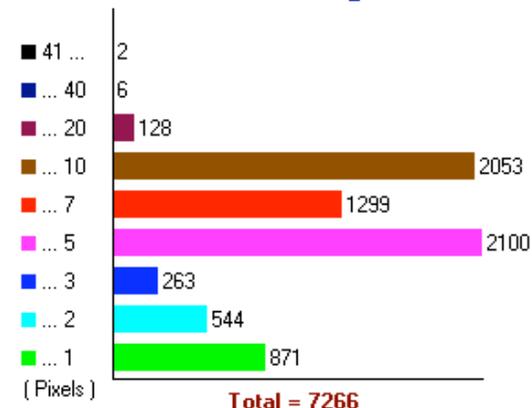
Mask Scan Area
(140 mm x 140 mm)

- Known material
- Known number of particles
- NIST-traceable particle size
- Controlled deposition spot size

Detection of Particles on a Quartz Mask



Pixel Histogram

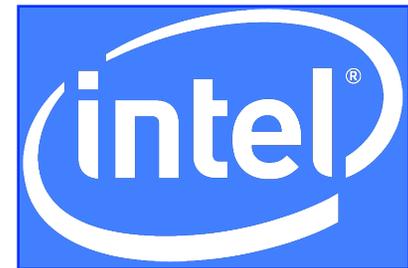


Summary

- Experimental methods and models have been developed to evaluate protection schemes for masks in carrier or vacuum tools.
- New carriers with tapered standoff generates almost no particles during shipping.
- Face-down mounting and cover plate are very effective in protection.
- Thermophoresis is most helpful to protect against particles driven by diffusion.
- Method has been developed to deposit standard nanoparticles for inspection tool calibration.
- Method has been developed to avoid haze formation caused by AMC.

Acknowledgement

- Intel Corporation -- Kevin Orvek, Peiyang Yan and Ted Liang
- Sematech -- Long He
- H. Fissan, U. of Duisburg-Essen and IUTA
- C. Asbach, T. van der Zwaag, T. Engelke, IUTA, Duisburg
- J. Wang, J.H. Kim, Post-docs
- S.J. Yook, Y. Liu, Ph.D. students



Symposium zu Ehren von Prof. Dr. Heinz Fissan, Duisburg, 5. September 2008

Vor- und Nachteile von Nanopartikeln für die Gesundheit des Menschen

Wolfgang G. Kreyling

Helmholtz Zentrum München – Forschungszentrum für Gesundheit & Umwelt
Institut für Inhalationsbiologie; Focus Netzwerk: Nanopartikel und Gesundheit
D-85758 Neuherberg / München

kreyling@helmholtz-muenchen.de; www.helmholtz-muenchen.de/en/ihb/;
www.helmholtz-muenchen.de/aerosols/



Nanotechnologien - Basis für zukünftige Wissenschaft + Technologien

Per se
nachhaltig:
Ressourcen
+ Energie
sparend



Welche
Risiken?



Paradigma der Risikoanalyse für NP

exposure assessment

hazard identification

hazard characterization

risk characterization

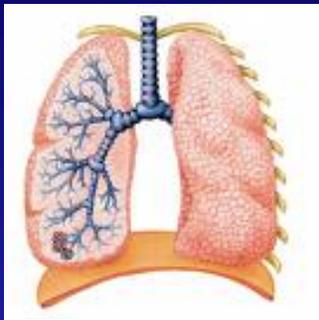


NP Dosimetrie

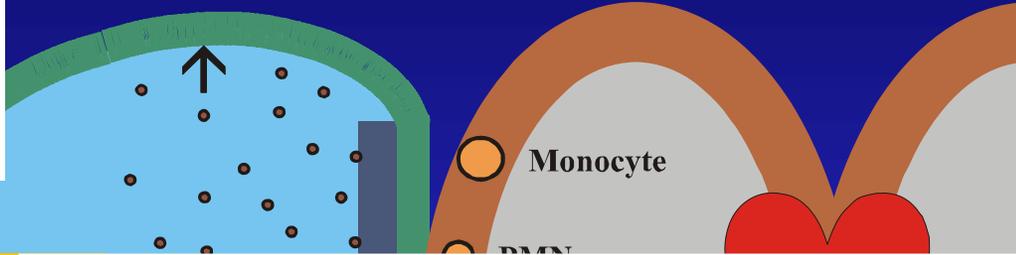
Toxikologische Reaktionen auf NP



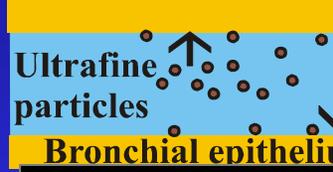
Nanoparticles (NP): Access to blood circulation



Alveolar epithelium



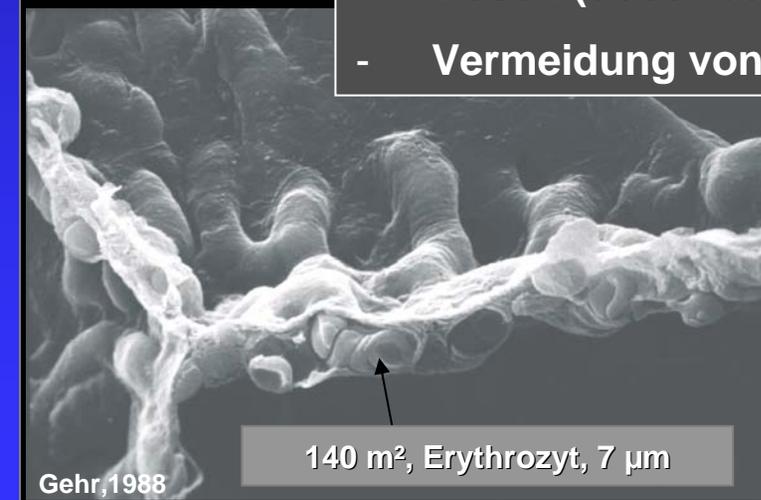
~2 m²



Daher liefern Biokinetikstudien mit inkorporierten NP:

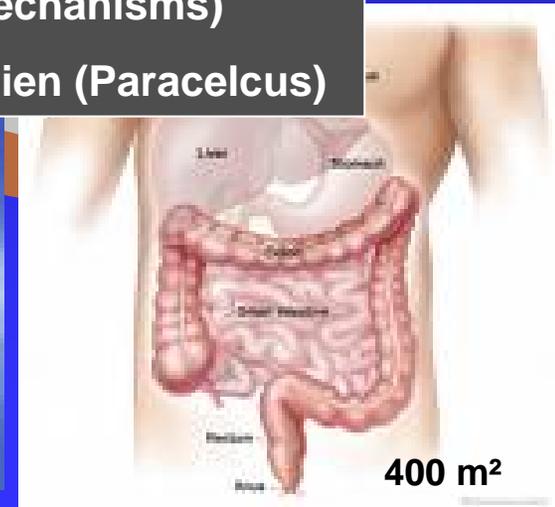
- Fundierte Dosisabschätzung für jedes Organ
- Rationale Basis für toxikologische Studien mit relevanten Dosen (dose-response, modes of action, mechanisms)
- Vermeidung von unsinnigen Überdosisstudien (Paracelcus)

Alveolar surface area



140 m², Erythrozyt, 7 µm

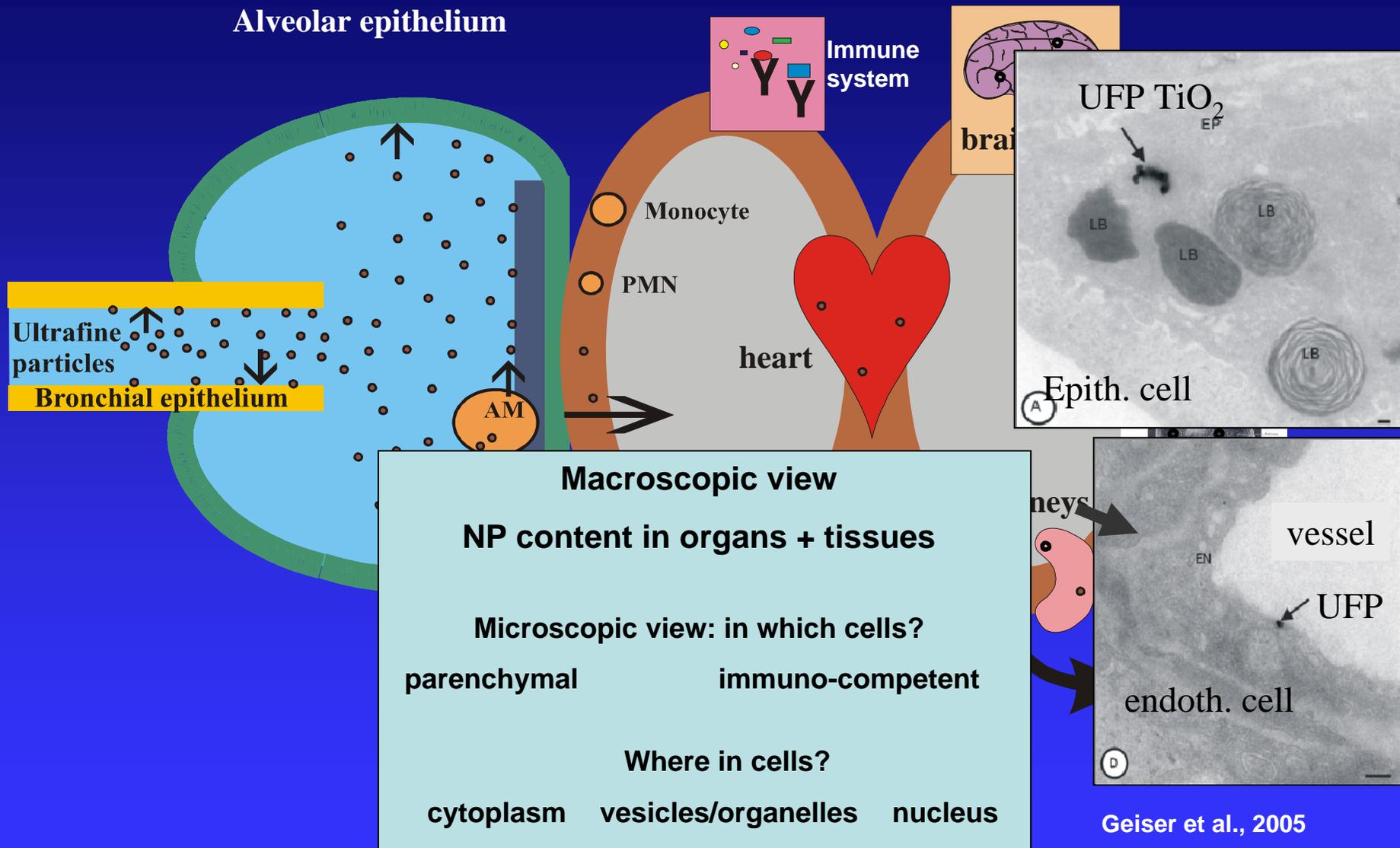
Gehr, 1988



400 m²



Nanoparticle (NP) translocation into circulation



Application + analysis of radio-labeled NP

Inhalation (INH)



Intra-tracheal instillation (IT)



Intravenous (IV) injection



$t=0$

Radio-NP
administration

t_1

t_2

t_3

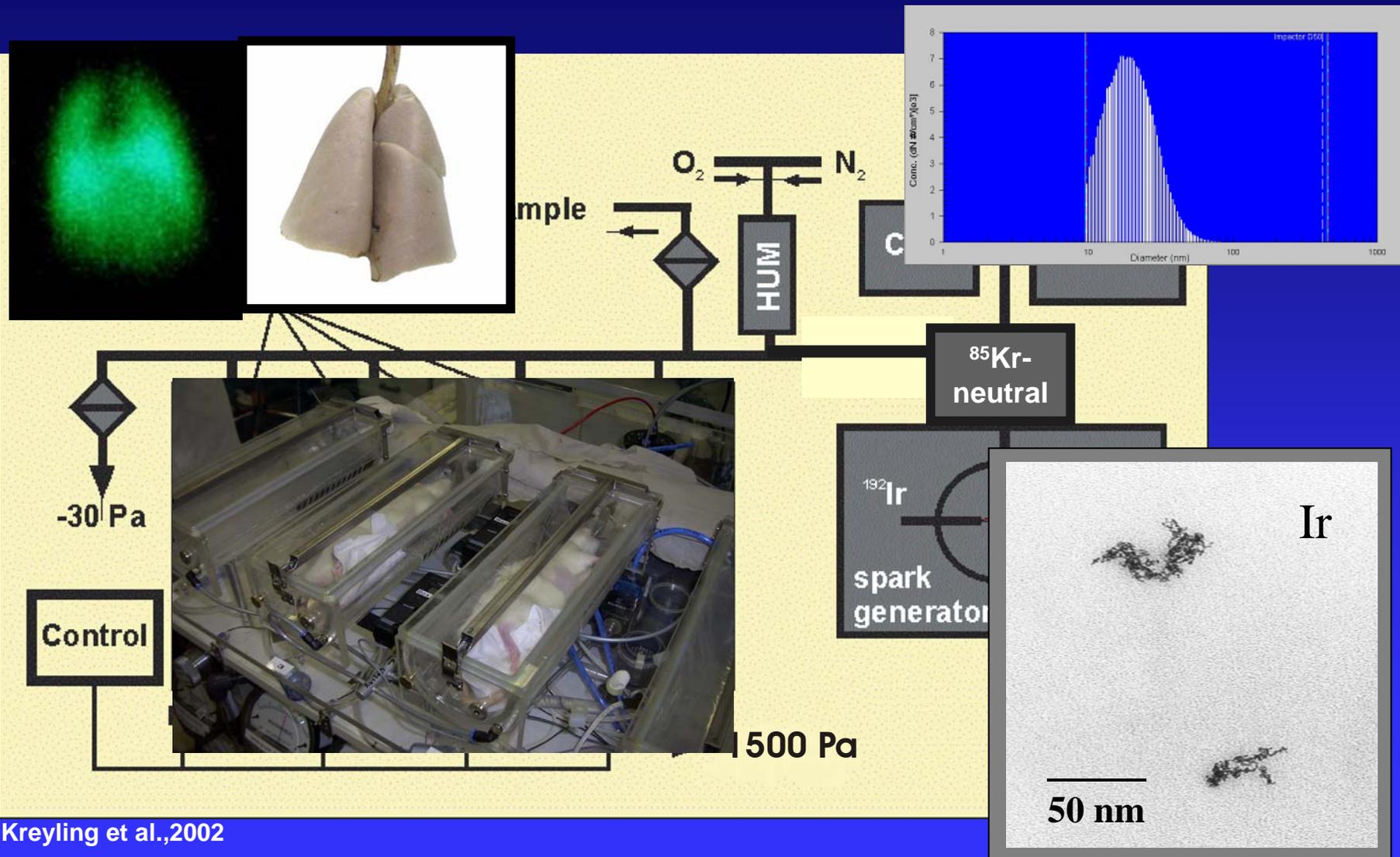
Biokinetics

100% balanced sampling:
organs + tissues + remaining carcass + total excretion
no further sample preparation

Gamma-spectroscopic radio-analysis



Intratracheal intubation-ventilation of Ir-NP



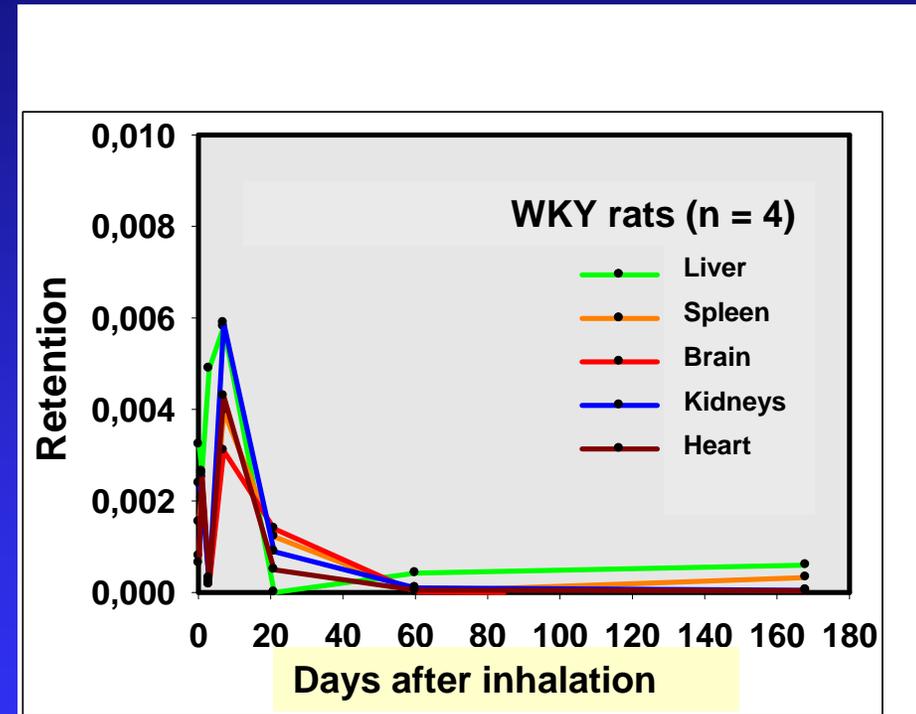
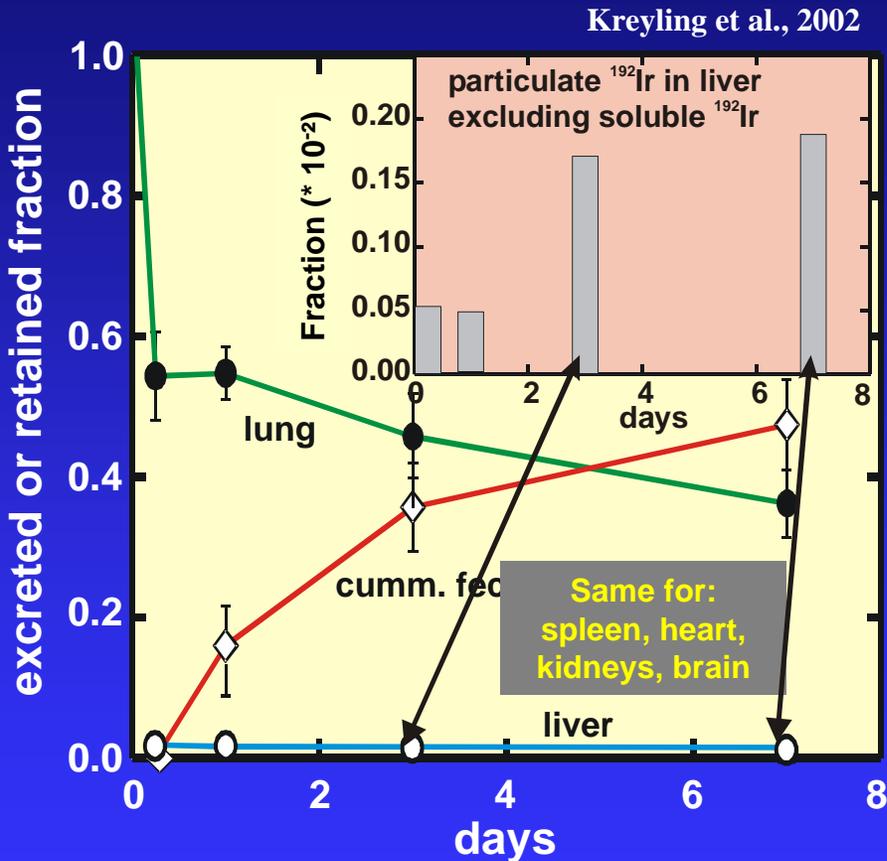
Kreyling et al., 2002



Systemic translocation of Ir NP towards 2nd target organs

WKY rat, ¹⁹²Ir NP, 1 hr exposure
15 nm CMD, 10⁷ cm⁻³, 0.2 mg/m³

Long-term translocation kinetics
same exposure

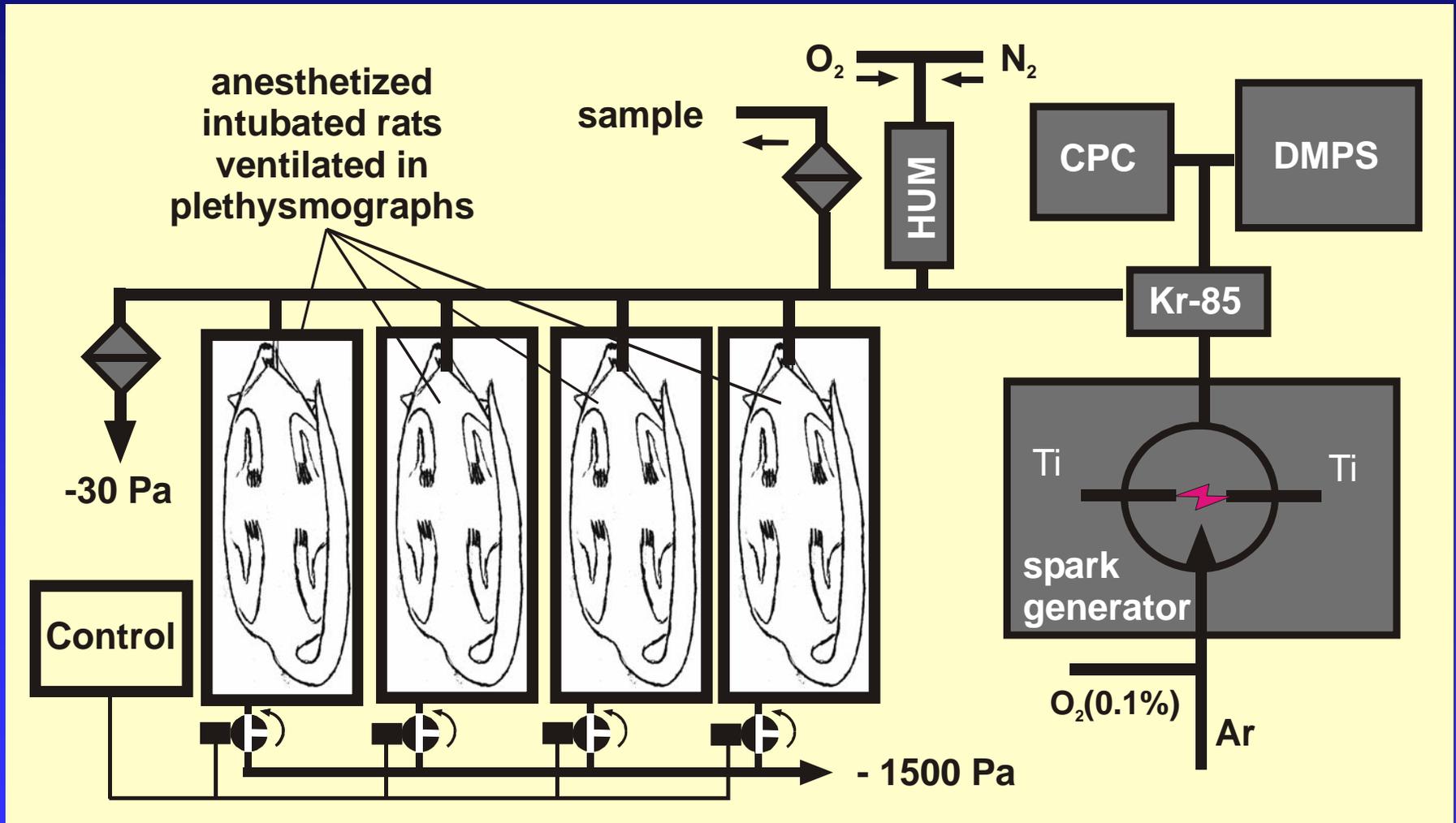


There is little but persistent accumulation of Ir-NP in secondary target organs
Ir NP mass < 1 ng, but number > 10⁸ NP per organ



Ventilation-inhalation system of TiO₂ NP

Morphological characterisation of NP distribution in the lungs

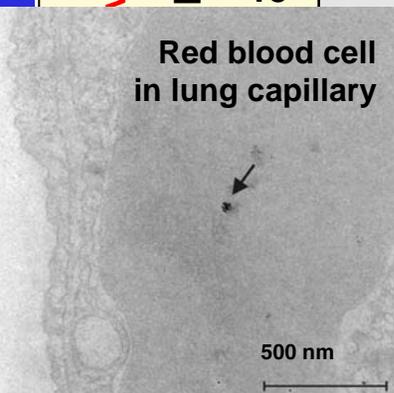
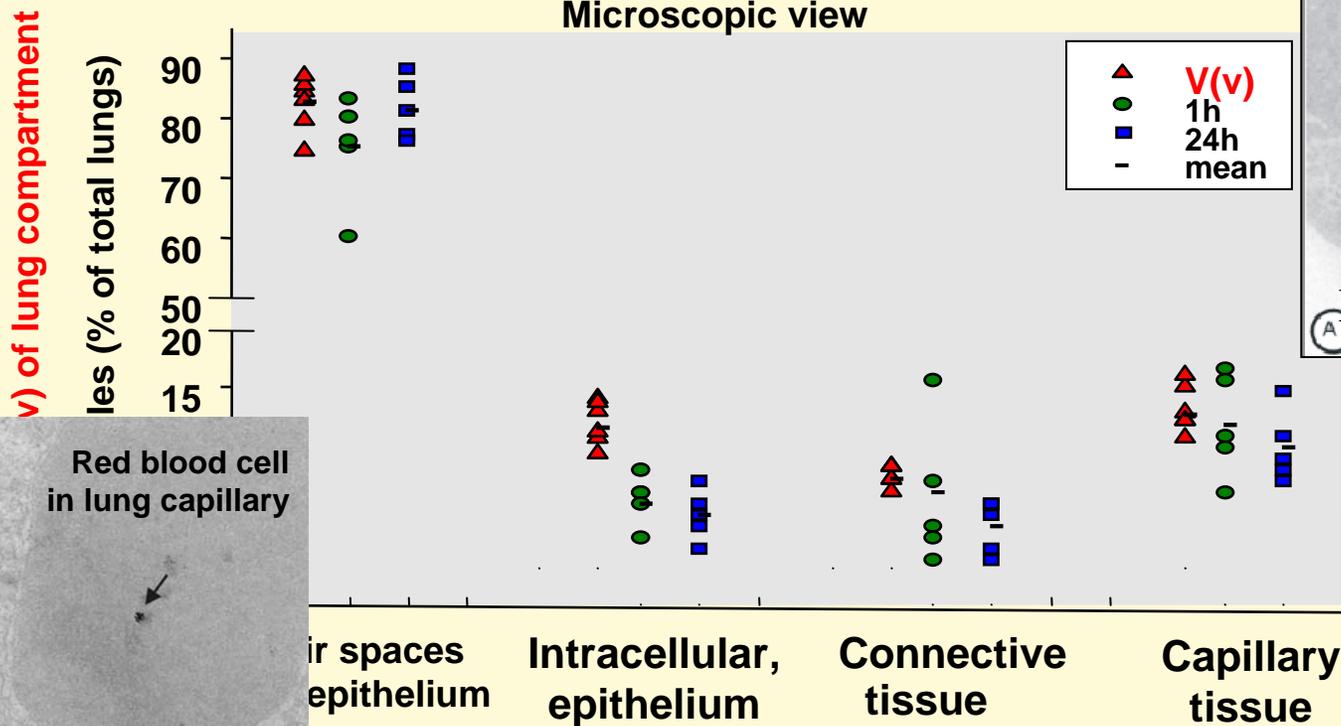
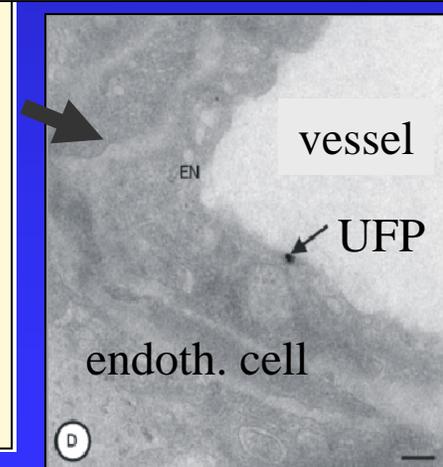
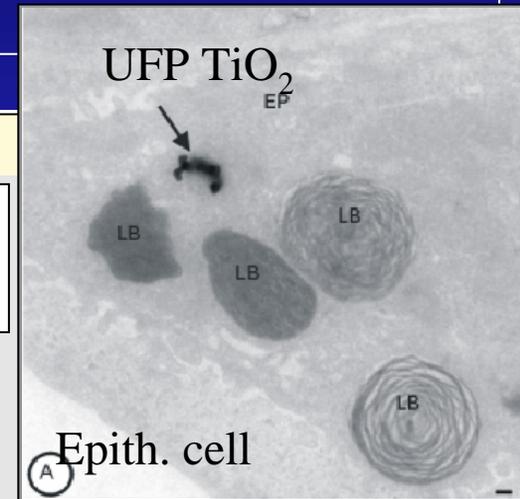


Morphometry of inhaled TiO₂ nanoparticles in rat lungs

Intubated ventilated WKY rat,
TiO₂ NP, 1 hr exposure
22 nm CMD, 10⁷ cm⁻³, 0.1 mg/m³
morphometry 0 + 24 h after inhalation

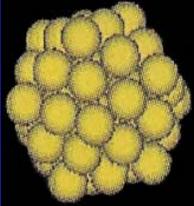
- Rapid translocation of ~ 20% NP fraction
- Volume proportional re-distribution: by which mechanism?

M. Geiser et al., EHP 2005



Translocation of gold nanoparticles: Effect of particle size

$^{198}\text{Au}55$
cluster
1.4 nm



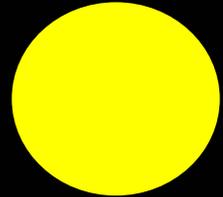
Intratracheal instillation or intravenous injection in WKY rats

1-10 μg ^{198}Au particles in 50 μL saline, negative ionic surface charge

of particles: 1 10^{14} (1.5 nm cluster) 2 10^{11} (18 nm colloid)

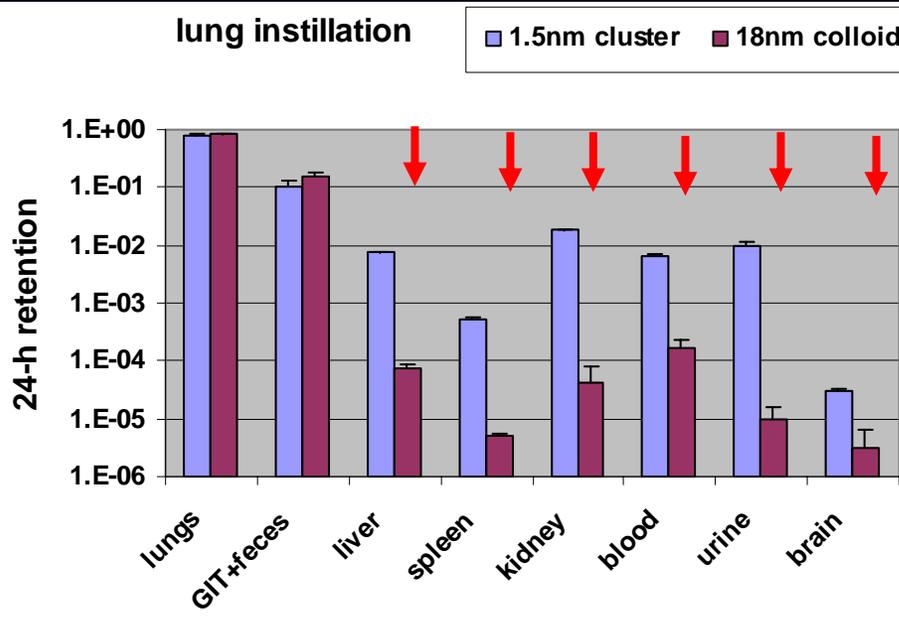
G. Schmid, Univ of Essen, Germany

^{198}Au
colloid
18 nm

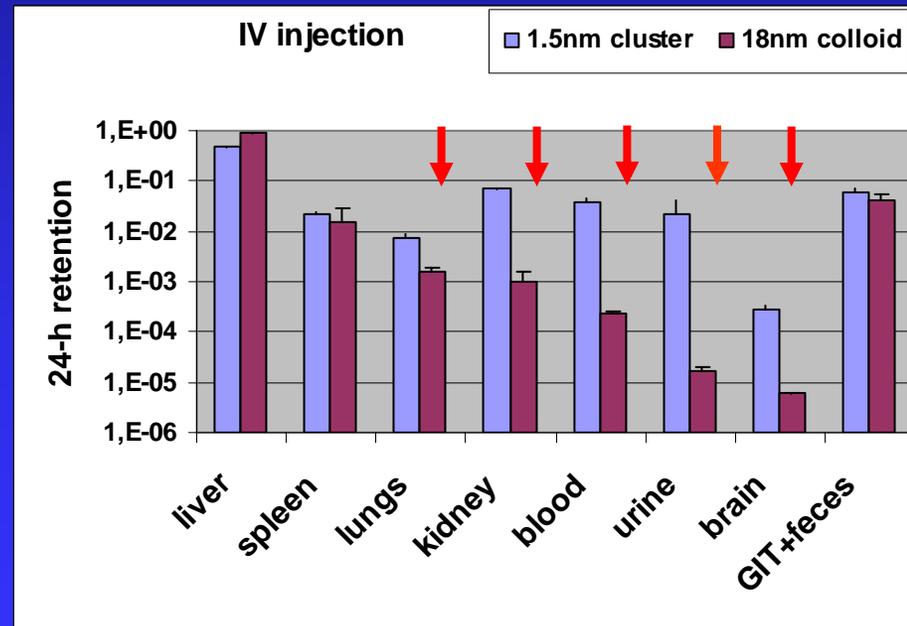


➤ Mass fractions of gold nanoparticles in different organs after 24 h

lung instillation



IV injection



Indeed, size matters!!

Semmler-Behnke, Small, 2008

Toxikologische Reaktionen auf NP:

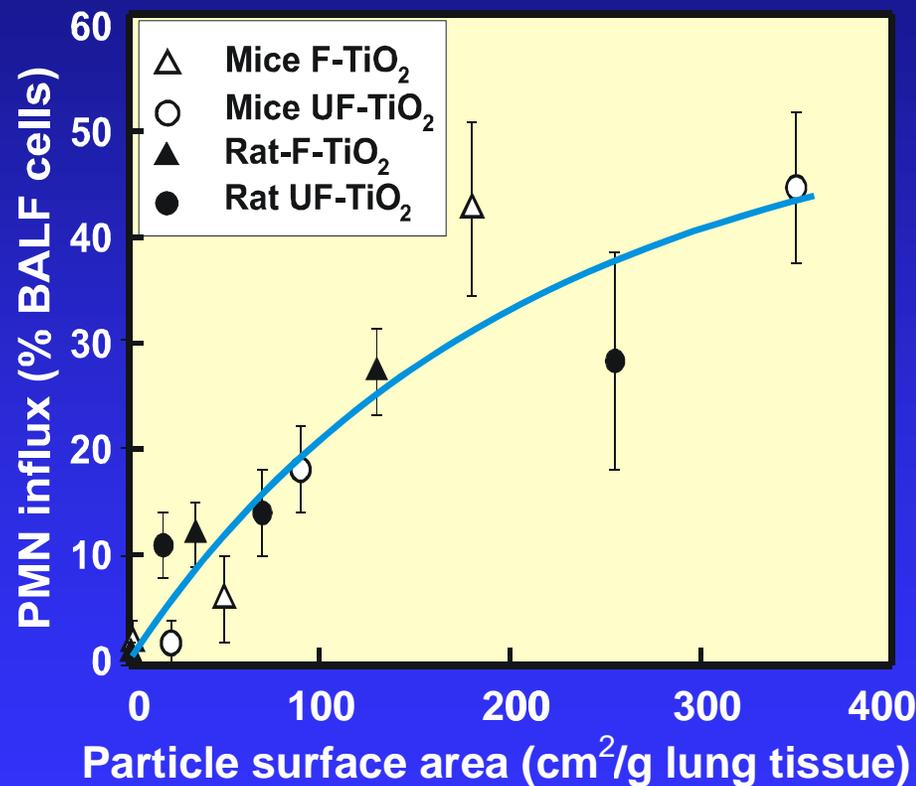
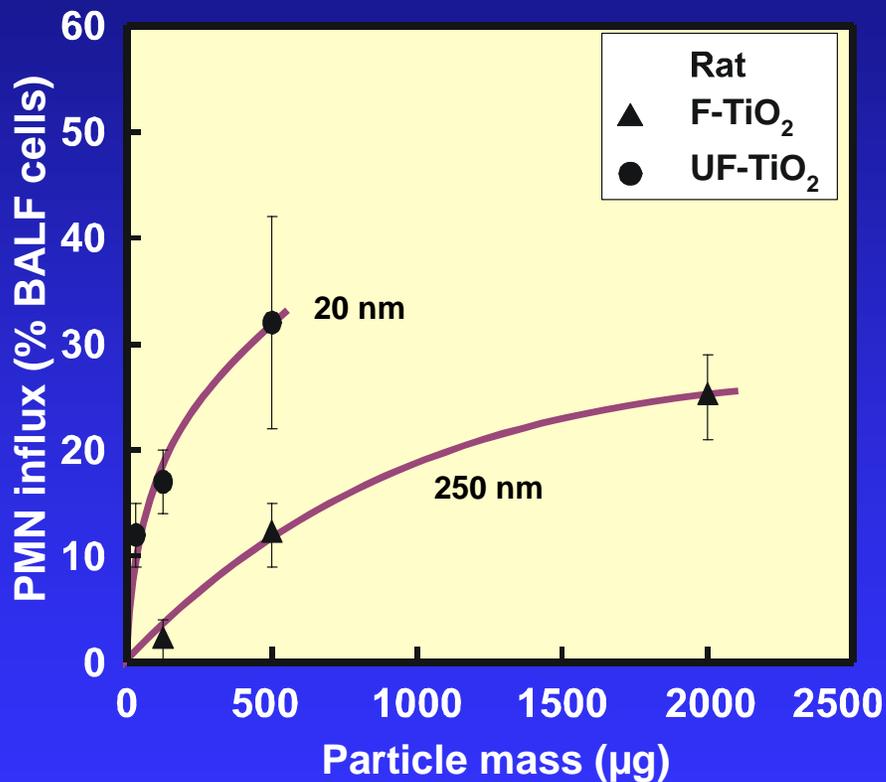
Rolle verschiedener NP Parameter



Surface area of NP is associated with inflammatory response

Influx of neutrophils (PMN) : indicator of inflammation

Instillation of ultrafine UF-TiO₂ (20 nm) or fine F-TiO₂ (250 nm) into rat lungs

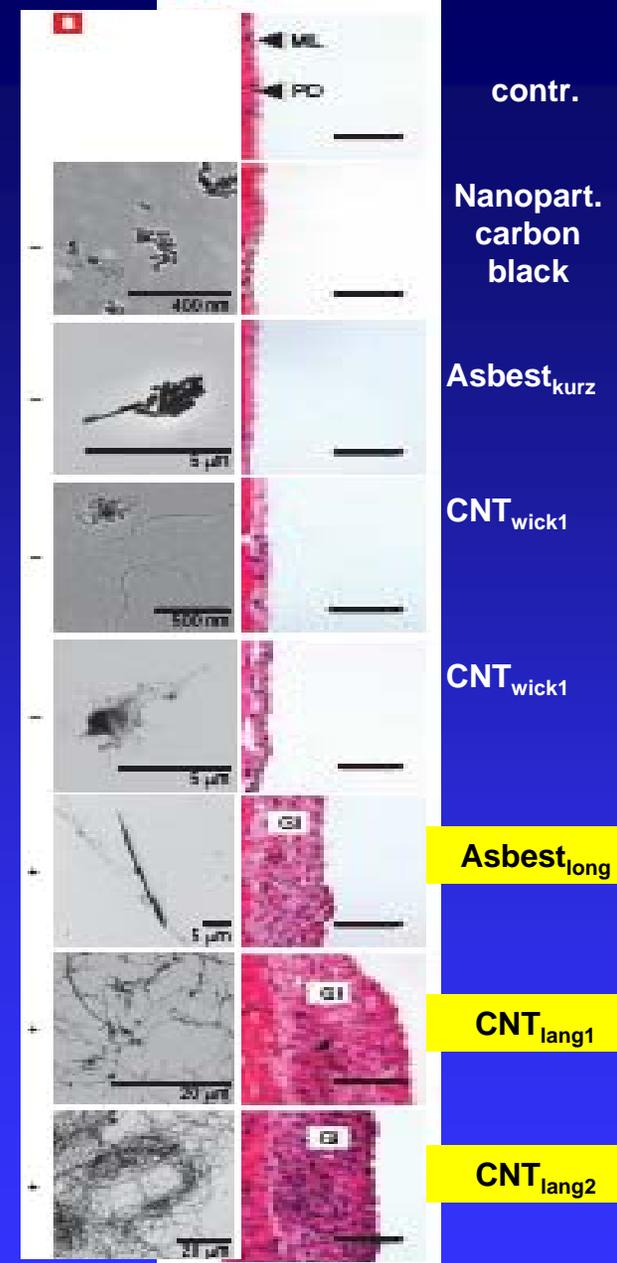
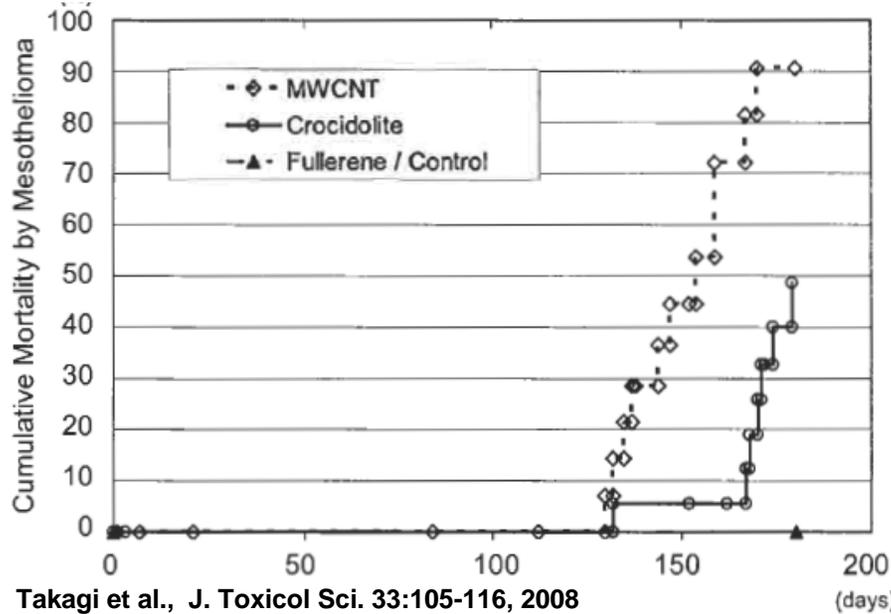


Oberdörster et al., HEI 2000



Lange Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) führen zu ähnlicher Pathogenese wie Asbestfasern

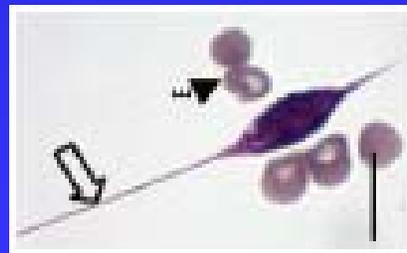
Lebenszeitverkürzung durch Mesotheliome



Bildung von Granuloma :
nur bei Asbest_{lang} und CNT_{lang1+2}

Entzündungsparameter nur bei
Asbest_{lang} und CNT_{lang1+2} :
Neutrophilen Zelleinstrom
Erhöhtes Gesamtprotein

Alv. Macroph: frustrierte
Phagozytose von CNT_{lang}

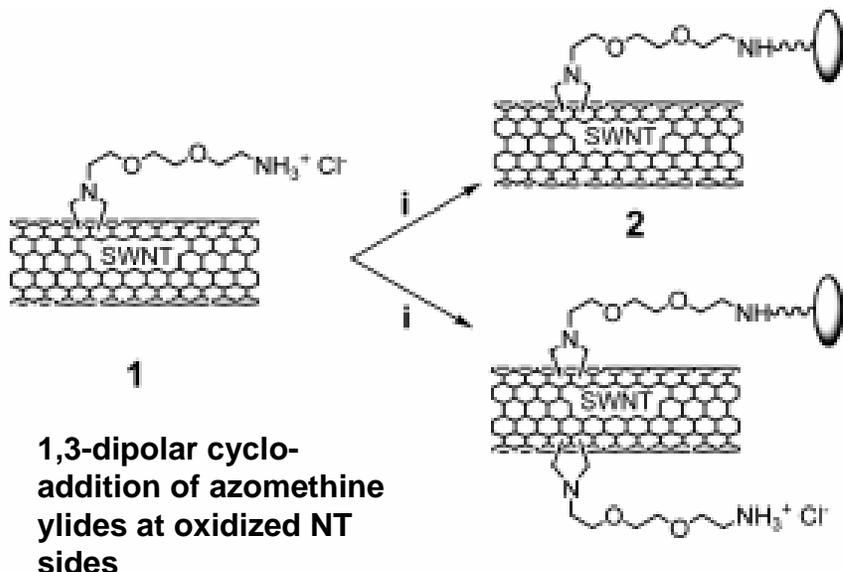


Poland et al. Nature Nanotechnology, (online) 2008



Less toxicity of functionalized nanotubes

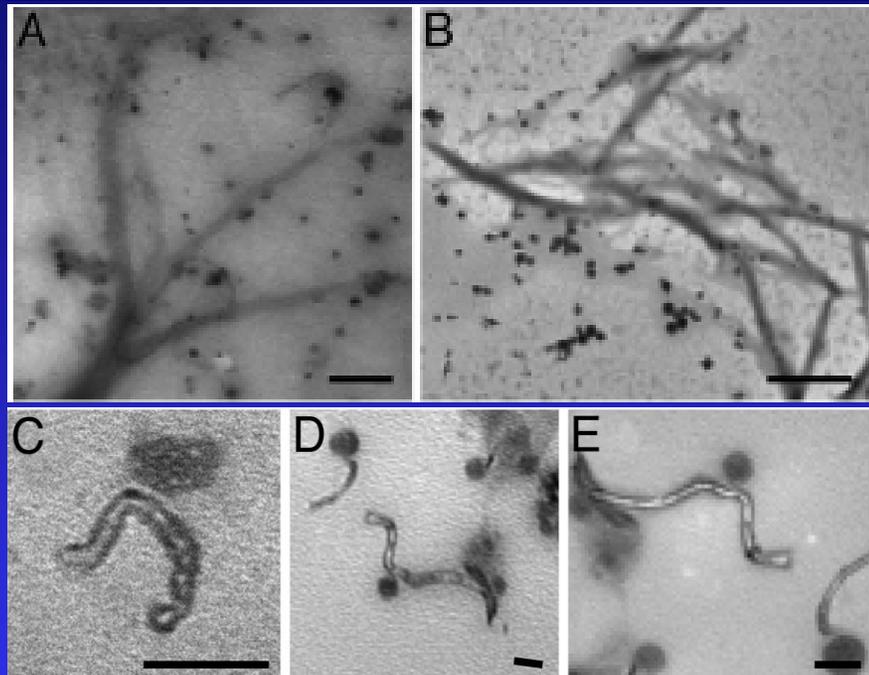
Functionalized SWNT & MWNT lead to high solubilization + no toxic response



Singh et al. PNAS (2006)

Original SWNT and MWNT were not excreted in urine and showed inflammatory responses

SWNT in urinary supernatant



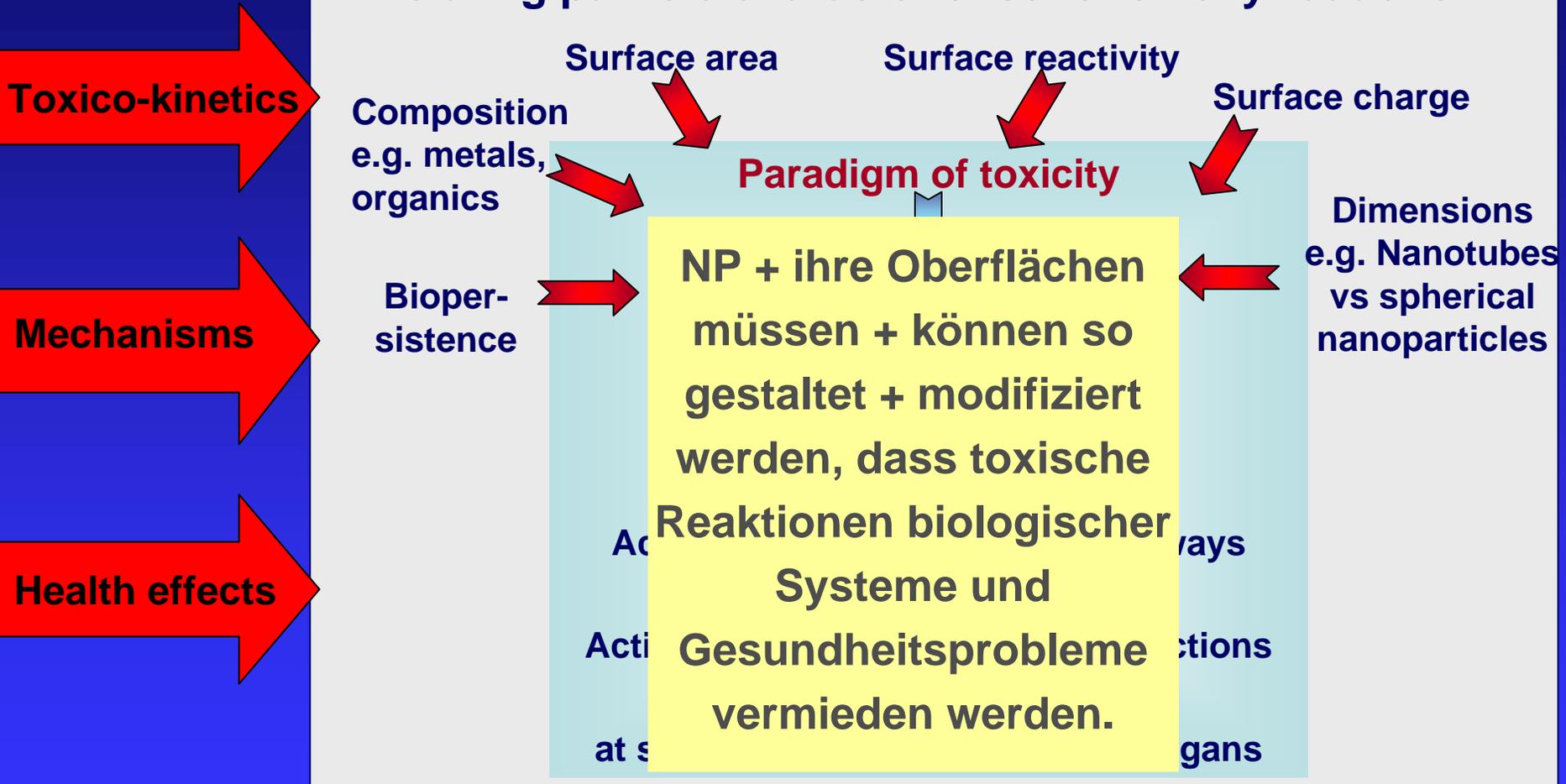
MWNT in urinary supernatant

Virtually no organ & tissue retention after 3 hours

→ No signs of inflammation

Search for Safe Nanomaterials

Relating particle characteristics to toxicity reduction:



Acknowledgements

HMGU-Inst. f. Inhalation Biology:

Manuela Semmler-Behnke

Steffi Fertsch

Jens Lipka

Winfried Möller

Shinji Takenaka

Tobias Stöger

Holger Schulz

University of Berne:

Marianne Geiser

Peter Gehr

University of Essen:

Günter Schmid

Wolfgang Brandau

University of Aachen:

Ulrich Simon

LM University of Munich:

Wolfgang Parak

Ralph Sperling

University of Rochester:

Günter Oberdörster





Prof. Dr. Heinz Fissan

Herzlichen Glückwunsch zum 70. Geburtstag
alles Gute, Erfolg und viel Gesundheit



Nanopartikel - Exposition in der Umwelt

T.A.J. Kuhlbusch

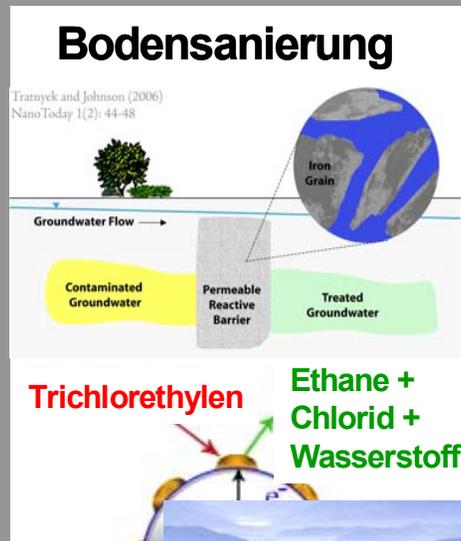


*Institut für Energie
und Umwelttechnik*

*Bereich
"Luftreinigung &
Nachhaltige
Nanotechnologie"*



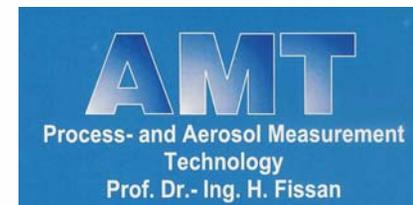
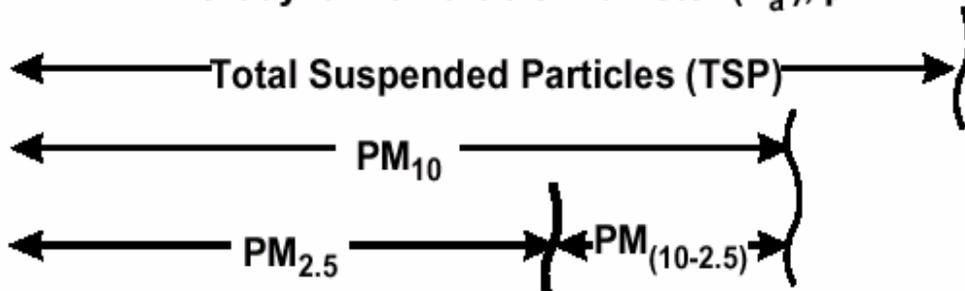
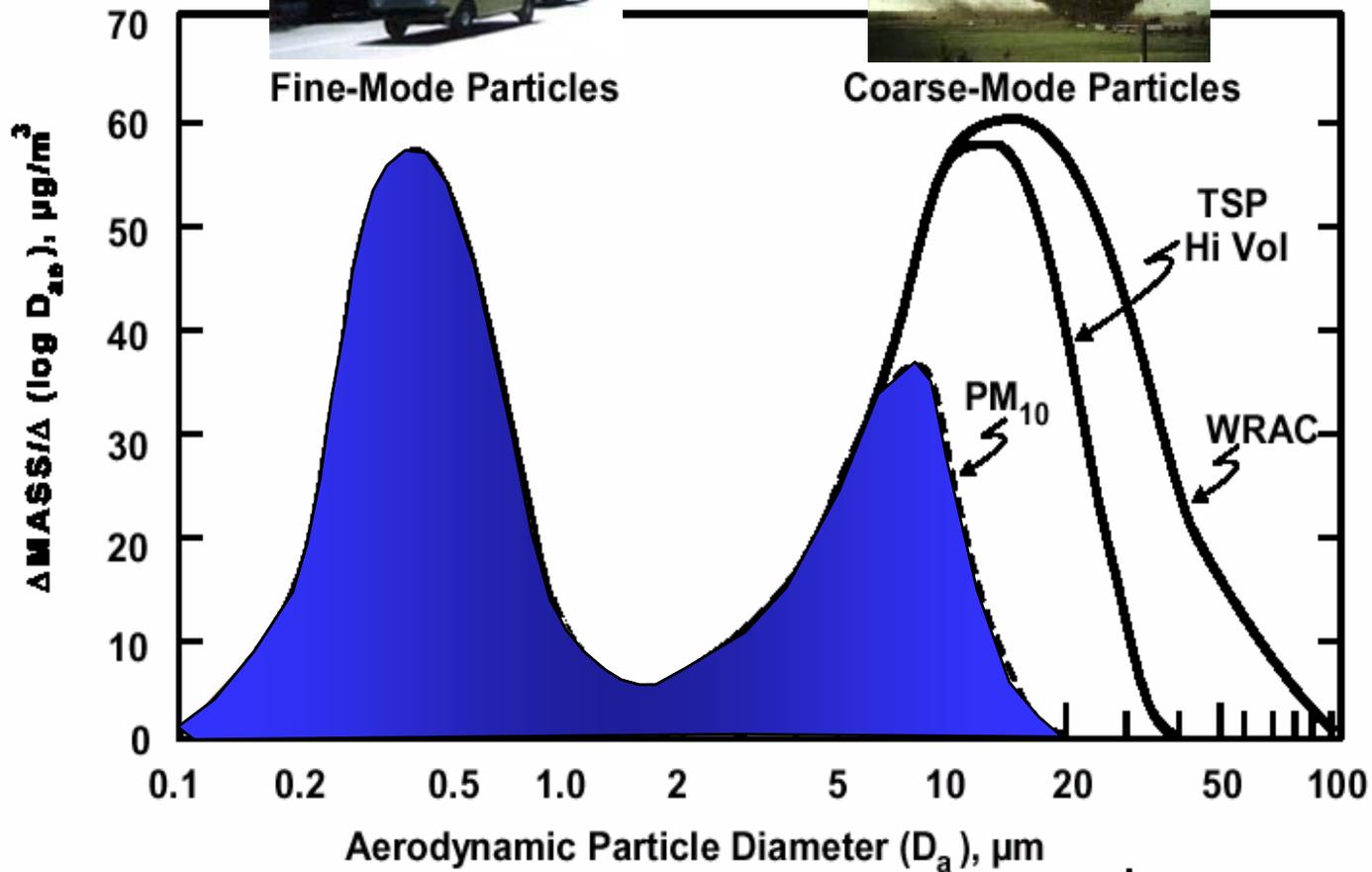
Handhabung von
Nanopulvern

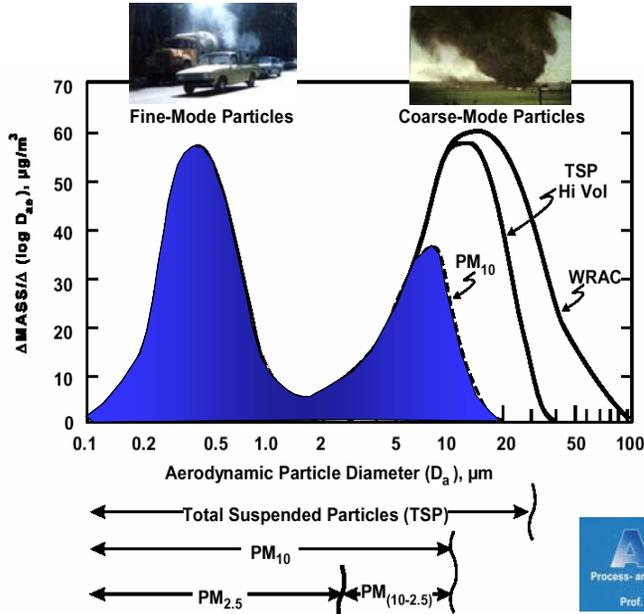


Smog

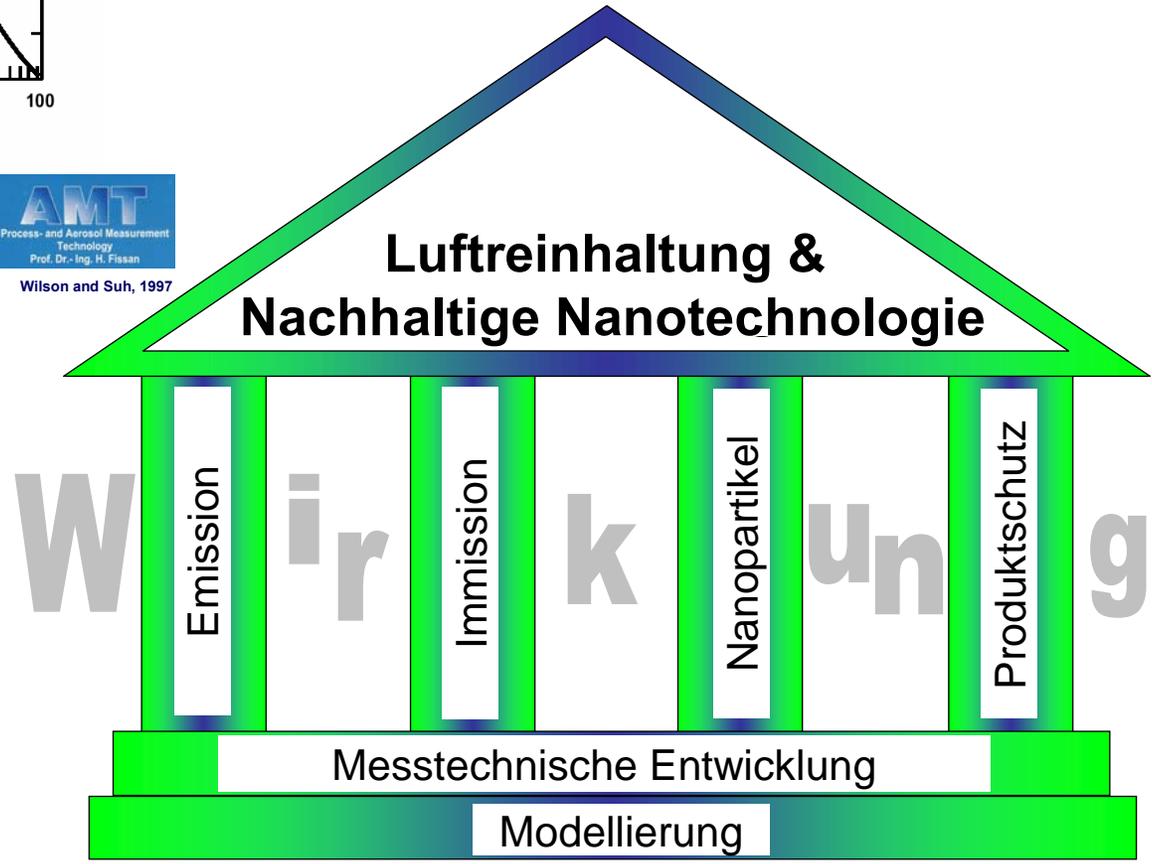


- **Nukleus**
- **Nanostrukturiertes Material und Exposition**
- **Messtechnik nanoskaliger Objekte**
- **Expositionsbezogene Messungen**
- **Modelltechnische Betrachtung**
- **Messstrategie und -ergebnisse**
- **Agglomeratstabilität in Luft**





AMT
Process- and Aerosol Measurement
Technology
Prof. Dr.-Ing. H. Fissan
Wilson and Suh, 1997



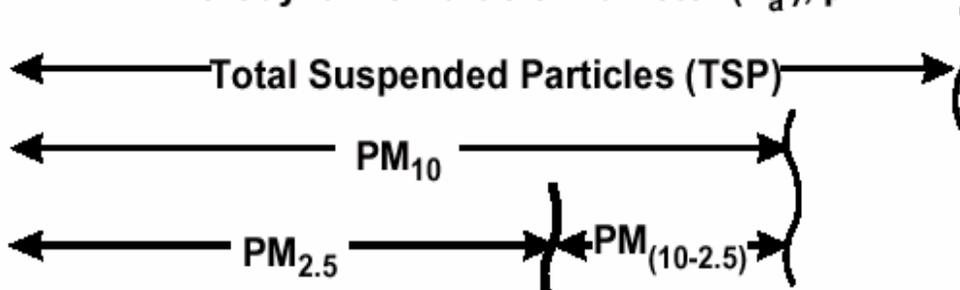
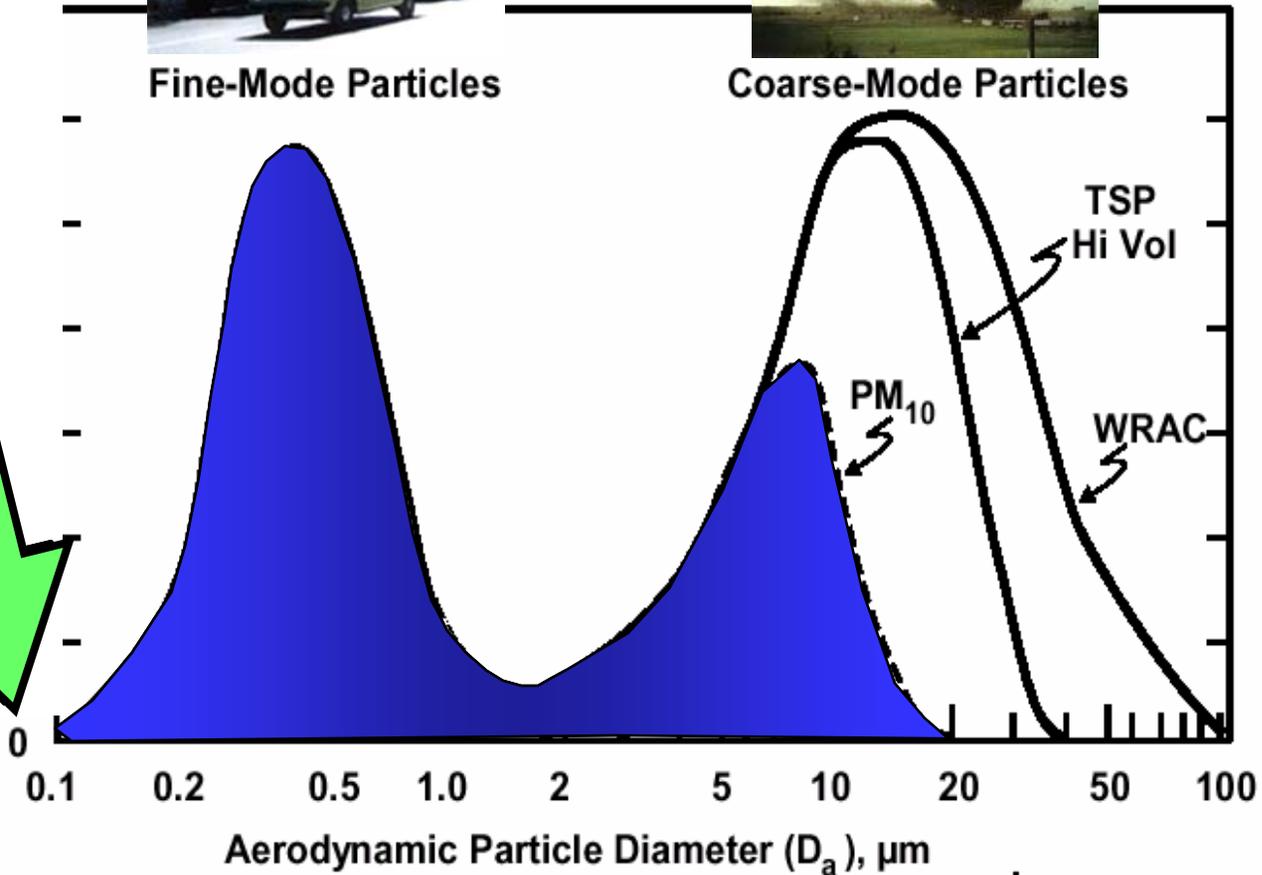
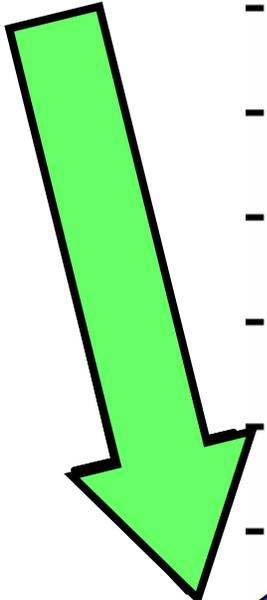


Fine-Mode Particles



Coarse-Mode Particles

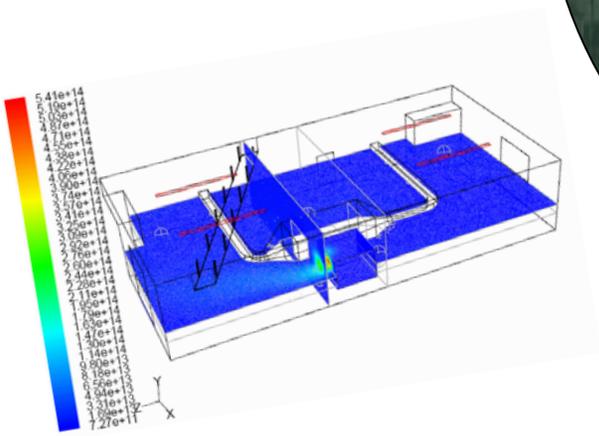
nanoskalig



Process- and Aerosol Measurement
Technology
Prof. Dr.-Ing. H. Fissan



Messungen
Modellierung



in vitro / in vivo
Biotesting

Unsicherheit



Smog

Verkehr



Freizeit - Grillen

**ultrafeine Partikel
=
ungewollt hergestellte
nanoskalige Partikel**

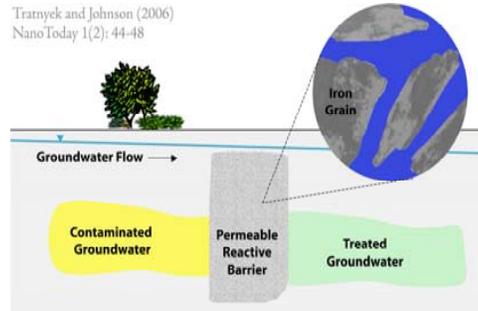


Figure 8. Pouring HiPCO[®] nanotube material between containers at Rice University

Handhabung von Nanopulvern

Bodensanierung

Tratnyek and Johnson (2006)
NanoToday 1(2): 44-48



Trichlorethylen + Ethane + Chlorid + Wasserstoff



Palladium

Wei-xian Zhang, Lehigh University

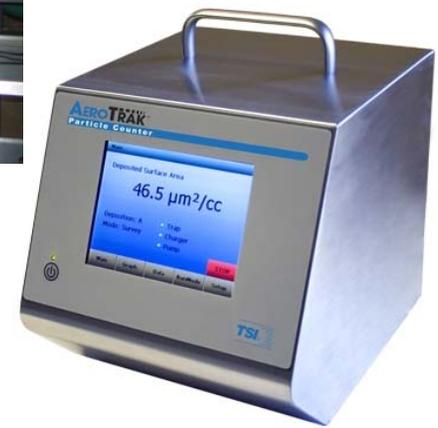
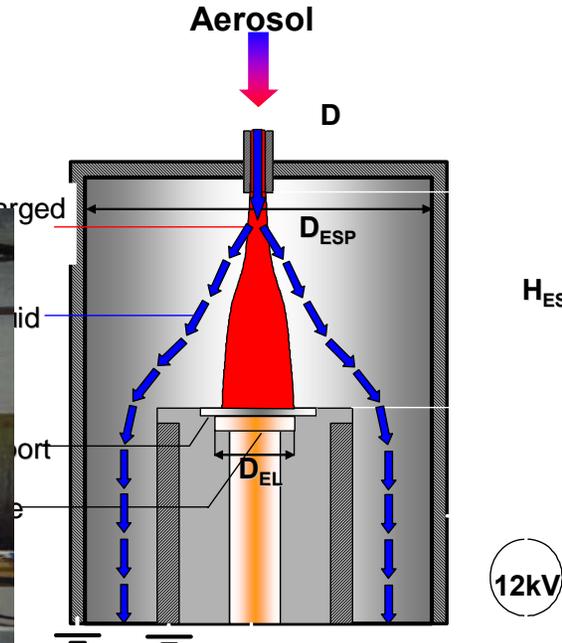
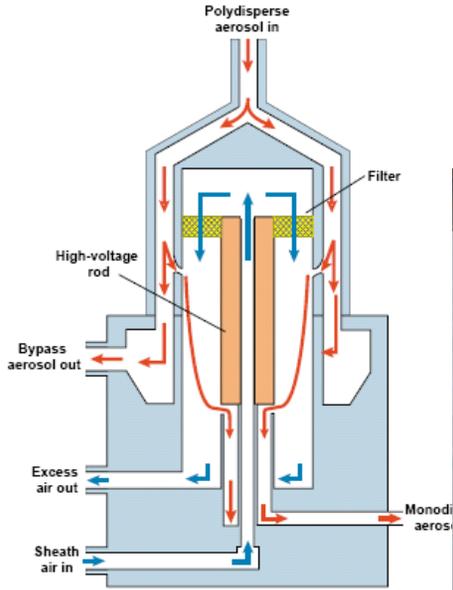


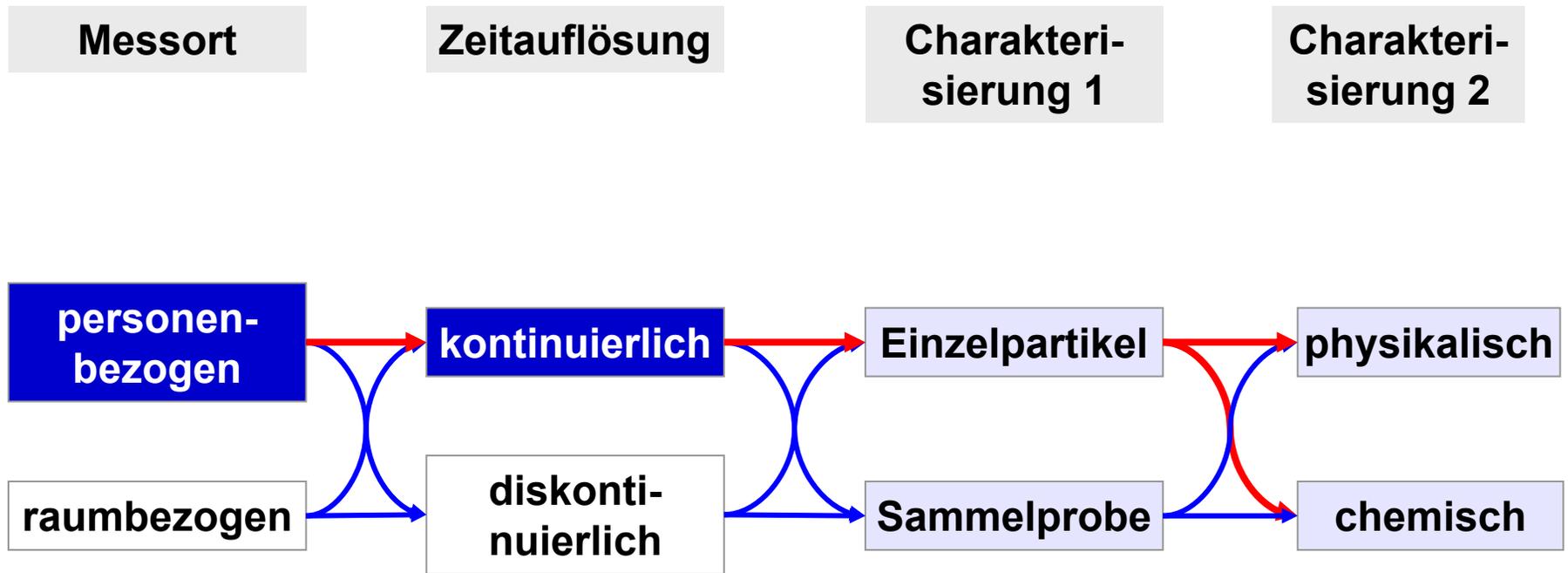
- Kosmetika
- funktionelle Kleidung

-

Nanopartikel
=
**Produktartikel,
bewusst produziert**

MODEL 3085 NANO DMA



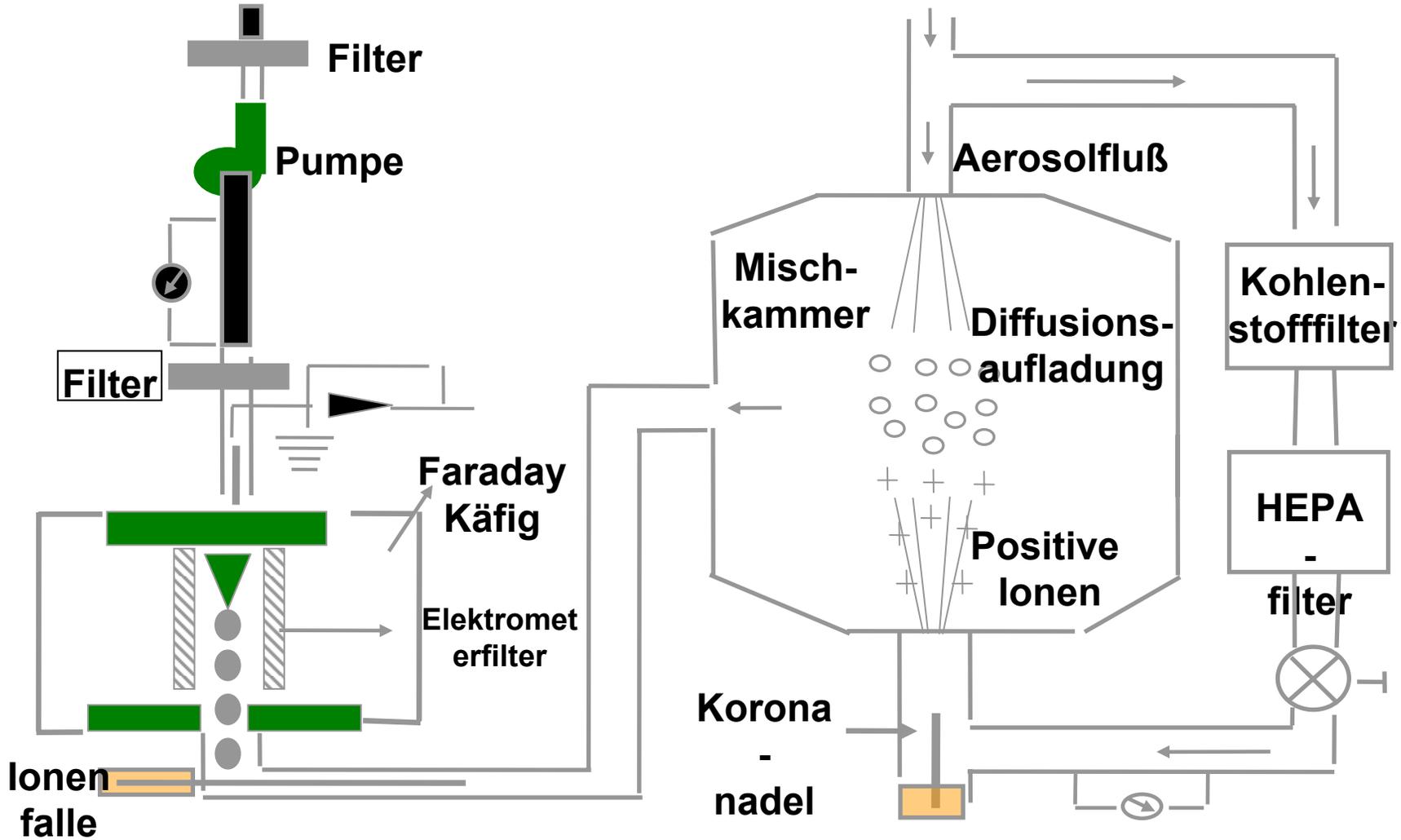


Eigenschaft	Probenahme	Gerät Analyse	konti.	Person./tragbar
Anzahlkonzentration		CPC / CNC	Ja	Ja
Anzahlgrößenverteilung			Ja	Nein (Ja)
Summe der Durchmesser			Ja	Nein
Oberflächenkonzentration			Ja	Ja
Oberfläche der Region			Ja	Ja
Größenverteilung chemischen Zusammensetzung			Ja	Ja
Feuchtigkeit			Ja	Nein
(relative) Anzahl Morphologie		SEM, EDX, ESCA	No	Ja
Massengrößenverteilung	N-Moudi, ELPI	chem. Analyse	Nein	Ja
Partikelreaktivität	Filtration sampler	EPR	No	Ja

viele Messtechniken und -geräte stehen zur Verfügung
 zur Zeit fehlen personenbezogene / einfache anzuwendende Geräte
 viel versprechende Ansätze (EU-NanoDevice)
 (Oberflächenkonzentration, Diffusionsbatterien....)

*: Fuchs surface area equivalence

Unipolarer Diffusionsauflader

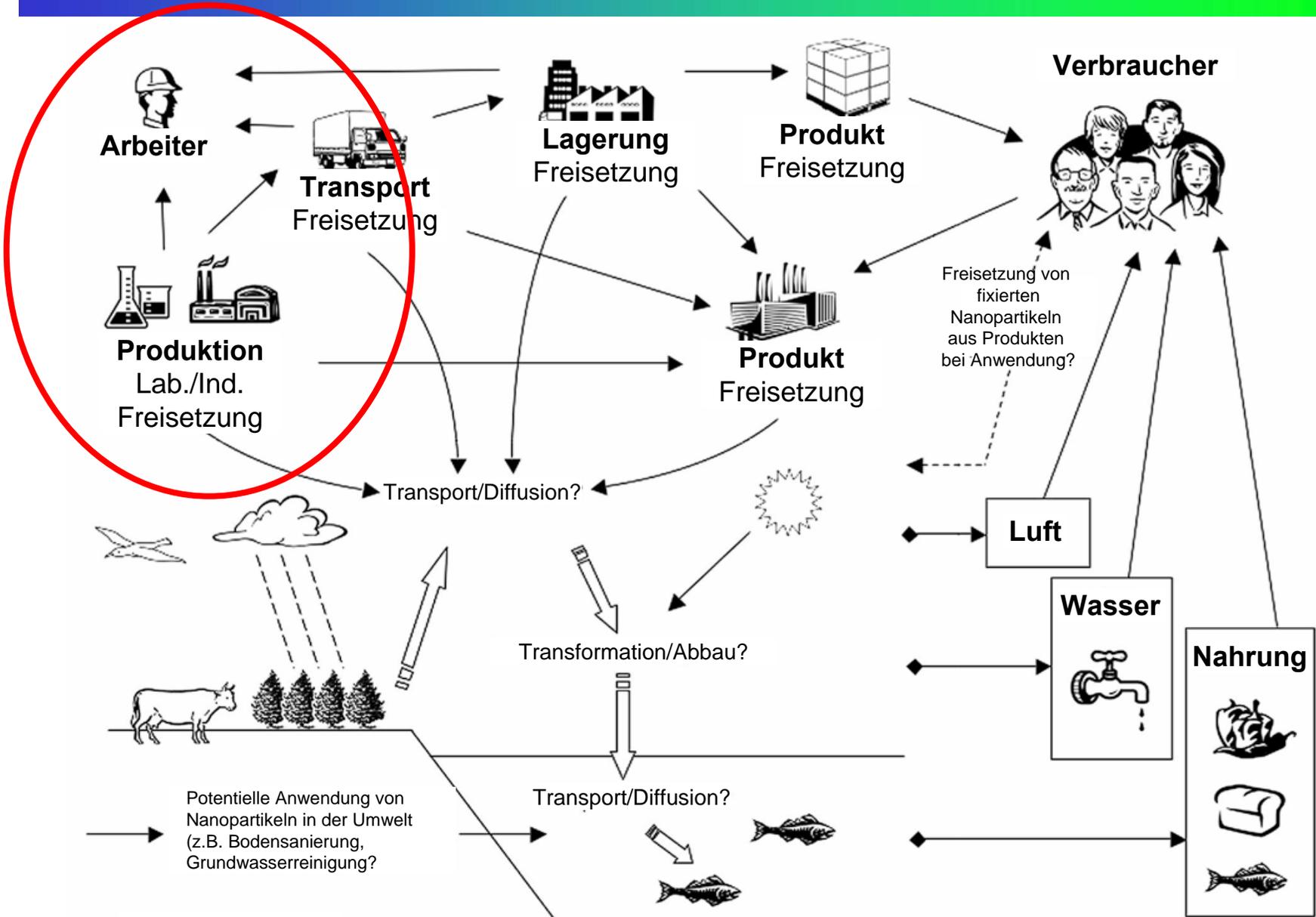


**NSAM misst
Oberflächenkonzentrationen deponiert
in der Lunge ($\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$)**

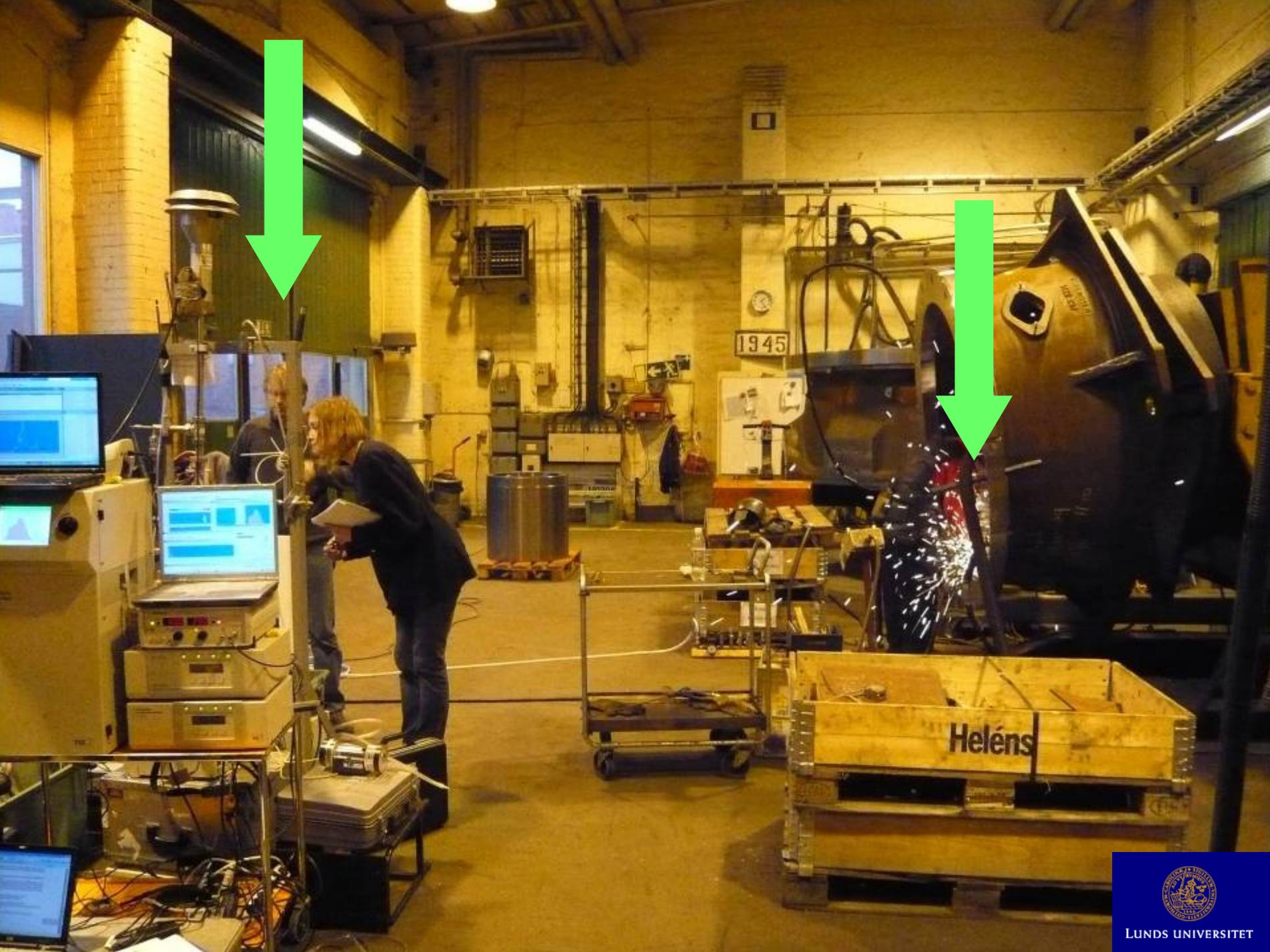
- tracheobronchial (TB), alveolar (A)
und weitere Bereiche



Nanopartikel Lebenszyklus



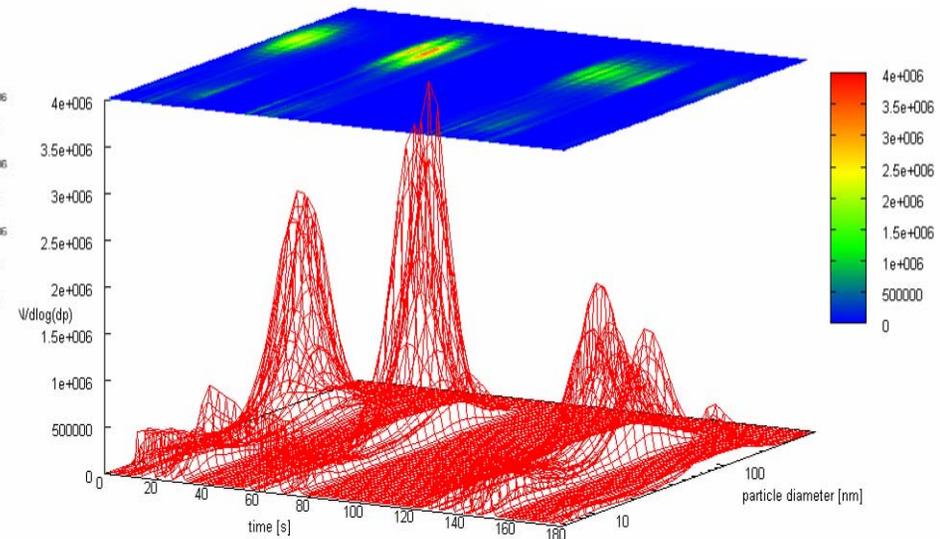
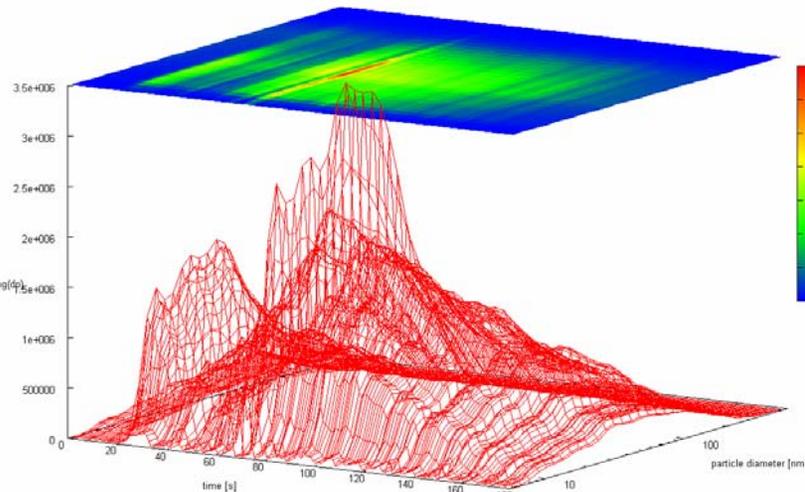
Royal Society (2004)



MAG-Schweißen

im Rauch (1:150)

Im Hintergrund

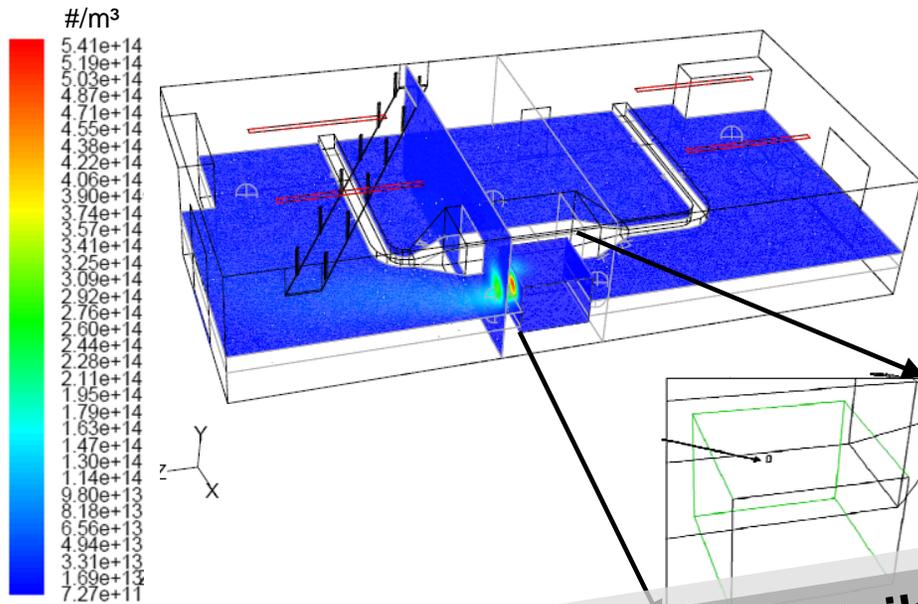


klare Maxima
hohe Konzentration

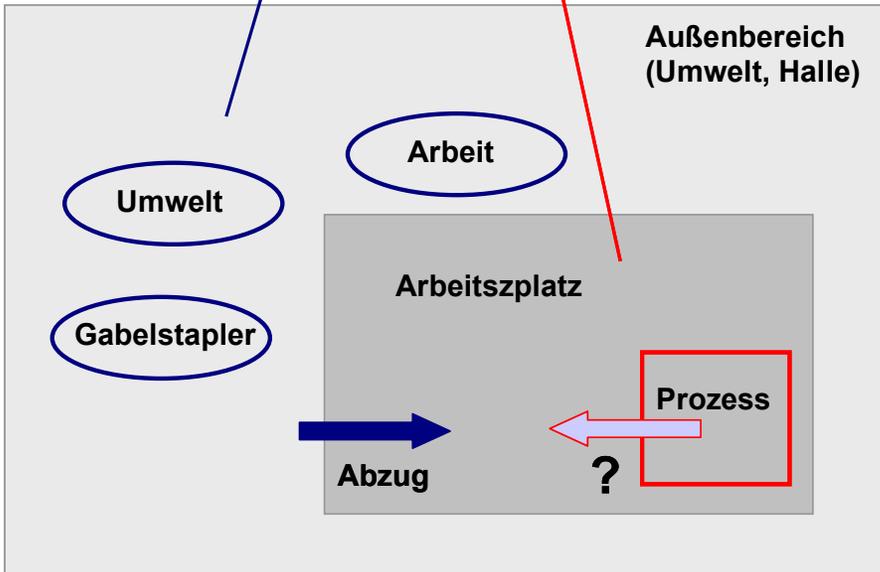
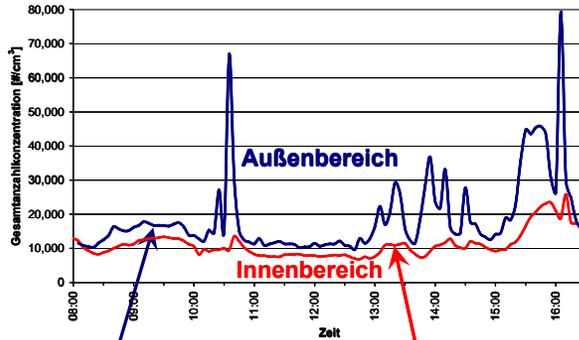
breite Verteilung
niedrigere Konzentration

hohe räumliche und zeitliche Variabilität

Warum Modellierung von Nanopartikeln an Arbeitsplätzen?



- Modellierung erlaubt die Beurteilung / Untersuchung der räumlichen Repräsentativität von Messungen (Monitoring)
- von Maßnahmen zur Expositionsreduktion
- der Bedeutung verschiedener physikalischer und chemischer Prozesse



Nanoskalige Partikel aus dem Hintergrund und aus anderen Prozessen müssen vom Produkt unterschieden werden!

- ➔ Messung der Konzentration /Größenverteilung als „Screening“
- ➔ falls notwendig: Identifizierung der Produktpartikel

- Messungen in der Carbon Black (CB) Industrie:
keine signifikante Freisetzung von CB-Partikeln
unter 100 nm (400 nm) Durchmesser
- Ausnahme, z. B. bei einer Leckage in einer
Produktionslinie
- Messung an TiO₂-Arbeitsplatz:
keine signifikante Freisetzung von TiO₂ unter 100 nm
(400 nm) Durchmesser.
- Freisetzungen starten zumeist bei Partikelgrößen
> 400 nm, Maxima > 1 µm Durchmesser.
- Emission von nanoskaligen Partikeln (< 100 nm)
hauptsächlich durch Verkehr (z.B. Gabelstapler),
Gasheizungen, Schweißen, Verpacken, Pumpen, etc....



Kuhlbusch & **Fissan**, JOEH, 3/10, 558 – 567, 2006.

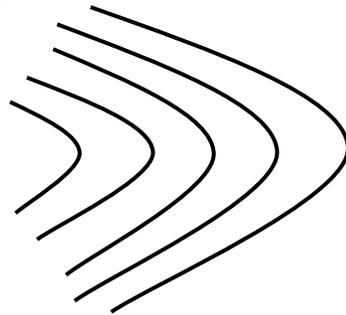
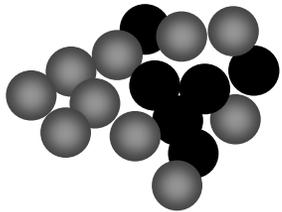
Kuhlbusch, Neumann, & **Fissan**, JOEH 1, 660-671, 2004.

.....

- “Simulation” von Nanopartikelfreisetzung während der Handhabung
vergleichende Studie von Industriematerialien
IGF – Dahman et al.
- Untersuchung der Haftkräfte von Agglomeraten
Deagglomeration
vergleichende Studie von Industriematerialien /
Modellberechnungen
IUTA – Stahlmecke et al.

“Düsenversuche”

0 bar
bis
1.6 bar



Beispiel für CeO_2 : Veränderung der Anzahlgrößenverteilung

Anstieg der relativen
Partikelkonzentration
unter 100 nm

Referenzspektrum:

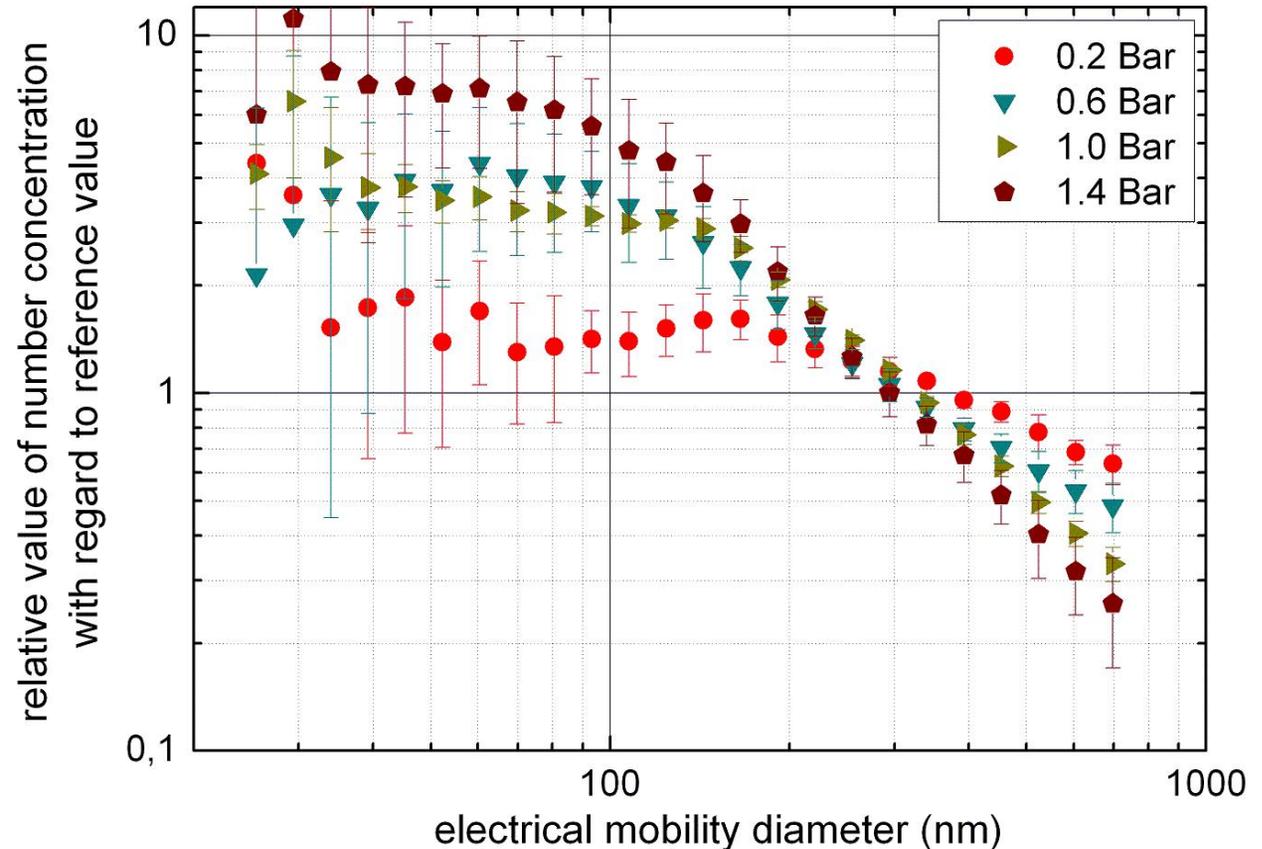
~ 1.1% der Partikel
unter 100 nm

@ 1.4 bar

Druckdifferenz:

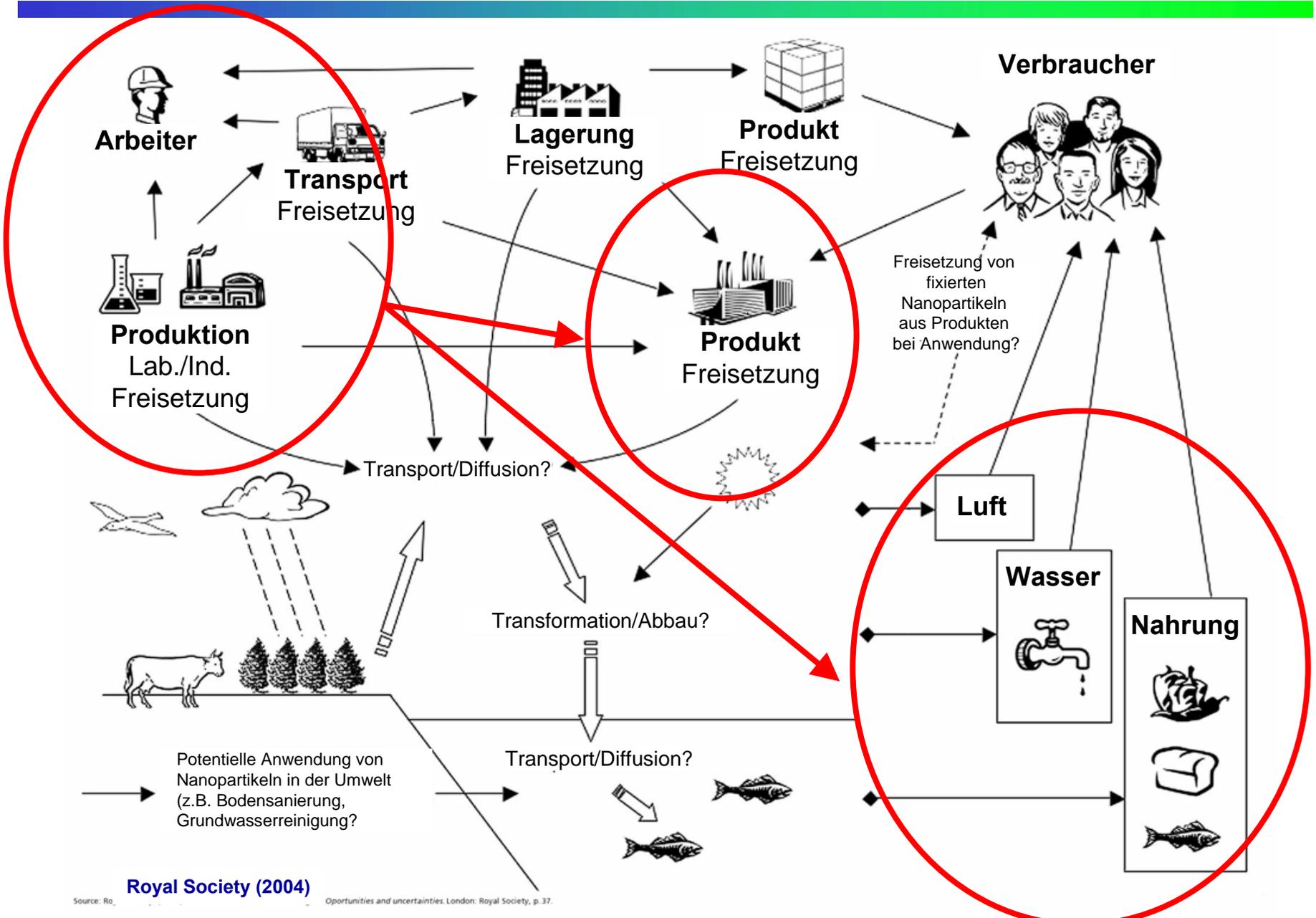
~ 6.9% der Partikel
unter 100 nm

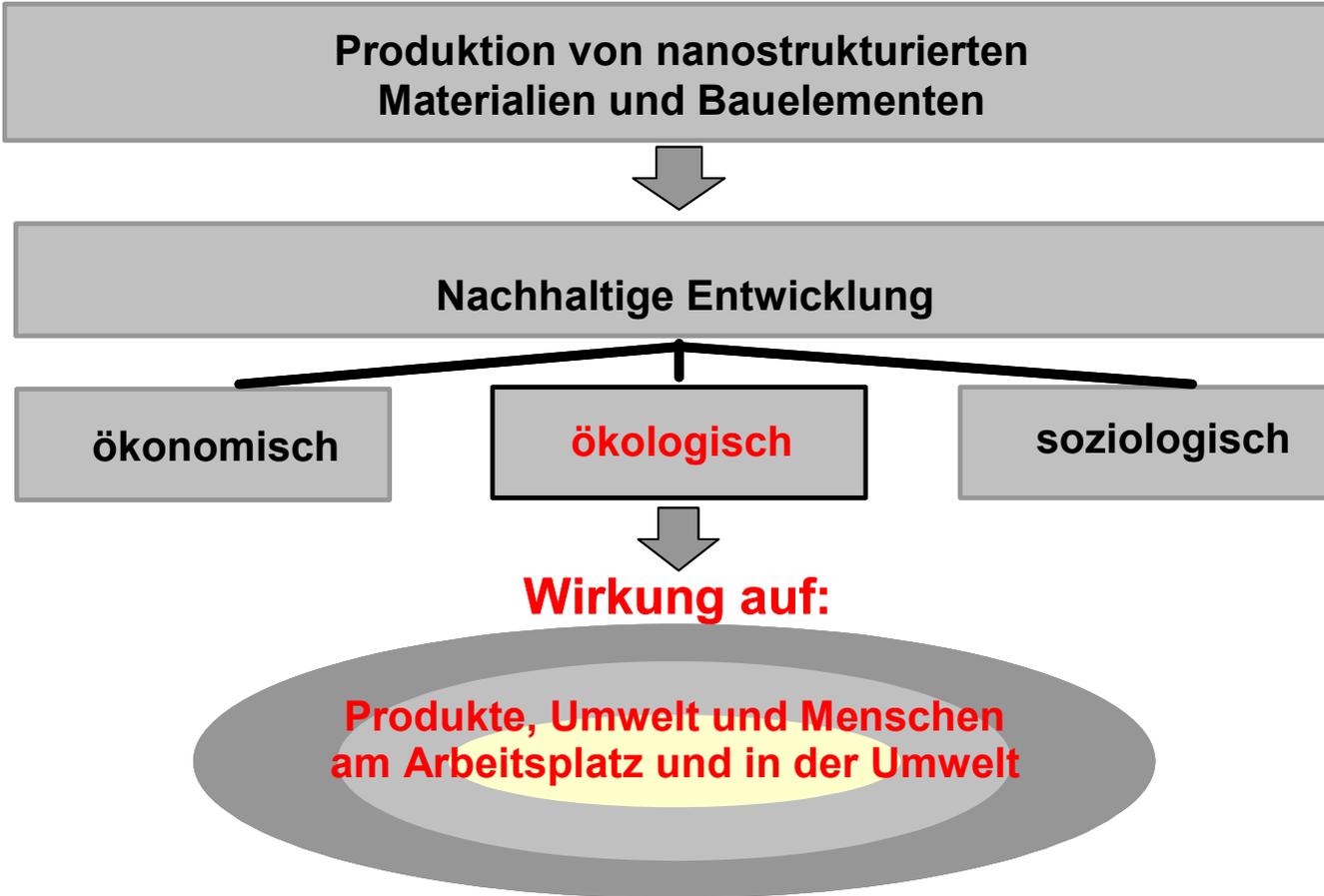
Abnahme der relativen
Partikelkonzentration
über ~300 nm



- “Simulation” von Nanopartikelfreisetzung während der Handhabung
vergleichende Studie von Industriematerialien
IGF – Dahman et al.
- Untersuchung der Haftkräfte von Agglomeraten
Deagglomeration
vergleichende Studie von Industriematerialien /
Modellberechnungen
IUTA – Stahlmecke et al.
- ➔ unabhängige Indikatoren für die Mobilität dieser
Materialien

Nanopartikel Lebenszyklus





NanoEngineering
Bachelor / Master Studienprogramm

A grayscale micrograph showing a surface with numerous small, bright, irregularly shaped particles or clusters. The background is a uniform gray. The text is overlaid on this image.

**Dank
an Sie
an Herrn Prof. Fissan**

A horizontal black scale bar.

100 nm

Danke von LuNaNa



Visionen eines Ingenieurs zur Zukunft der Nanotechnologie

Prof. Dr. Heinz Fissan

Duisburg, 5. September 2008

Was ist Nanotechnologie (NT)?

Nanotechnologie ist:

**Charakterisierung, Design, Produktion und
Gebrauch von**

Strukturen und Systemen,

**die eine exakte Kontrolle der Größe und Form des
Materials**

in der Nanometer Skala erfordern

(VCI, Responsible production and use of nanomaterials, 11.3.2008)

What is Nanotechnology?

**The art and science of building stuff
that does stuff at the nanometer scale**

Richard Smalley

Nanotechnology:

A fourteen letter fast-track to funding

Anonymous

Meine Beiträge

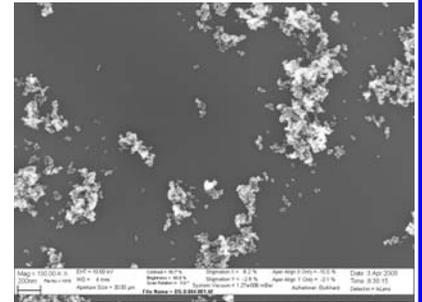
- **Aufgaben des Ingenieurs in der Nanotechnologie**
- **Risiken für die Zukunft der NT?**
- **Ratschläge für die zukünftige Ausrichtung der Forschung und Entwicklung der NT in der UDE und im IUTA**
- **Pensionär und Forschung**

Aufgabenverteilung in der NT



Lack

Physiker:
Von Makro zu Nano
Neue Materialeigenschaften
und Funktionen



TiO₂ - Agglomerate

Anwender: Innovationen → Produkte

Ingenieur:
Von Nano zu Makro
Neue Herstellungsprozesse für Zwischenprodukte-
Endprodukte – Lebenszyklus – Wiederverwendung

Anforderungen an Produkte und Produktionsprozesse

- **Funktionsfähigkeit, Stabilität, Reproduzierbarkeit der Prozesse und Produkte** → **Prozess- und Produktqualität**
 - **Marktinteresse, Preis/Kosten** → **Ökonomie**
 - **Gesellschaftliche Akzeptanz** → **Soziologie**
 - **Produkt und Prozesssicherheit, Umweltverträglichkeit** → **Ökologie**
- **Nachhaltige Technologie**

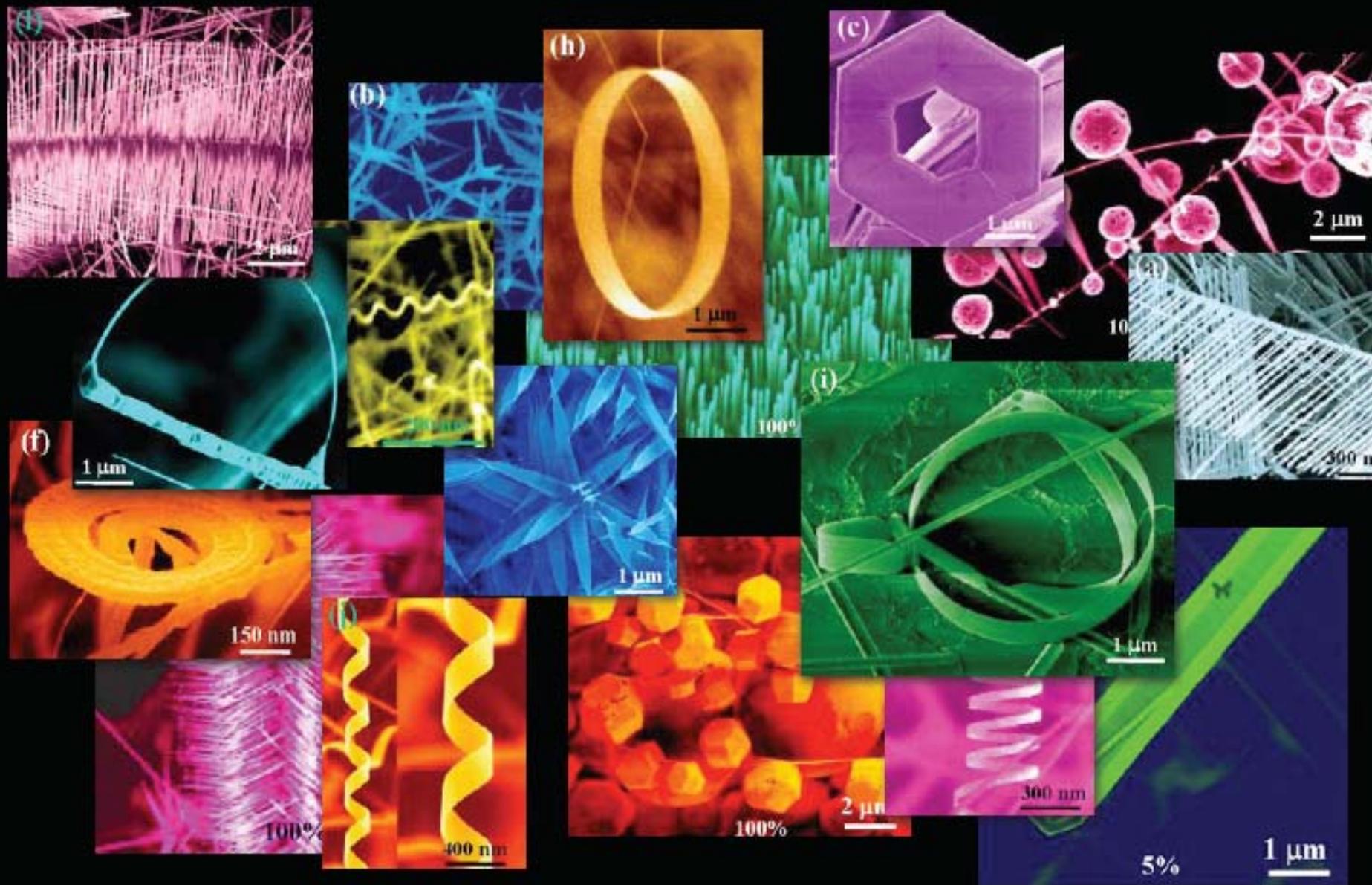
•

Nanopartikel

- Kein Molekül, kein Feststoff
- Wichtiger Baustein der Materie
- Nano in drei Dimensionen
- Massenproduktion (vorhanden)

Partikel praktisch immer in einer Matrix

- Feststoff
- Flüssigkeit
- Gas → **Aerosol, große Beweglichkeit der Partikel**



Nano-ZnO: One chemistry, many shapes

Courtesy of Prof. Z.L. Wang, Georgia Tech

Die Zukunft der Nanotechnologie

Abhängig von der:

- Entwicklung von Definitionen, Standards
- Umsetzbarkeit von Ideen in Produkte
- Entwicklung der notwendigen industriellen Technologien zur Massenproduktion
- **Nachhaltigkeit der Technologien und der Produkte**

→ Show stopper

Öffentliche Diskussion zur Nanotechnologie



Wissenschaft

SCIENCE-FICTION

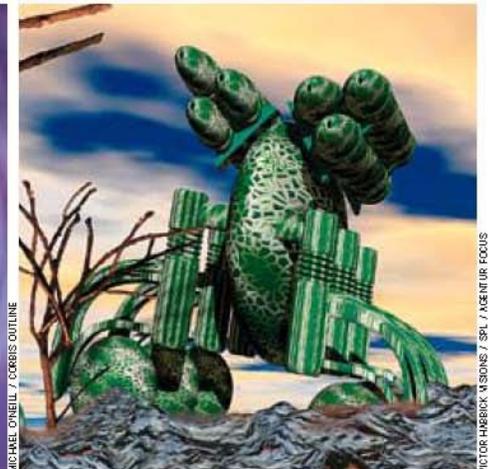
Teufelchen im Anflug

Forscher warnen vor Schwärmen winziger Roboter, die sich wild vermehren und den Erdball kahl fressen – Zeit für einen neuen Thriller von Bestsellerautor Michael Crichton.

Moleküle kommen zum Einsatz und technisch optimierte Darmbakterien. Die Leser bekommen alles genau erklärt.

In Crichtons Science-Fiction waltet der Geist des Sachbuchs und der kühlen Prognose. So gelingt dem Mann ein Bestseller nach dem anderen. Gesamtauflage: weit über 100 Millionen.

In Wahrheit ist die Zukunft der Nanotechnik sehr unklar. Zu ihren Segnungen, so weit absehbar, gehören eher nützliche



Autor Crichton, militärischer Nano-Roboter (Computergrafik): Spezialist für Spitzentechnik, die sich gegen ihre Schöpfer wendet

Der Spiegel 49/2002

Wer hier an eine der üblichen Familienauseinandersetzungen denkt, liegt falsch, ganz falsch. Die Dinge kommen, wie Michael Crichton, wahrscheinlich der prominenteste Science-fiction-Autor unserer Zeit, in seinem neuen Roman "Beute" mehrfach betont, anders als man denkt, ganz anders.

Risiko!

Wahrnehmung der Öffentlichkeit:

- Verdachtsmomente durch falsche Berichte
- Erste Risikobefunde
- Übertragung von Erkenntnissen über mikrometergroße Partikel auf Nanopartikel
- Asbestfasern auf CNT
usw.

→ **Mangelnde gesellschaftliche Akzeptanz**

Nanotechnologie – Chancen und Risiken

Potentielle Risiken bei der Herstellung und dem Gebrauch von Nanomaterialien müssen untersucht und minimiert werden Fall bei Fall

Vorteile



Risiko

Risikovermeidung

$$\text{Risiko} = f(\text{Exposition} * \text{Wirkungen})$$

Aufgabe des Ingenieurs:

Vermeidung der Exposition durch
Prozess und Produktgestaltung

- Geschlossene Prozesse
- Fitertechnik
- Einbau in flüssige oder feste Matrix
- Erkennen und verhindern von Freisetzungsprozessen
- Vermeidung unsachgemäßer Handhabung
- Unfallvermeidungsstrategien
- Expositionskontrollen
- **Risikomanagement als Teil der Nachhaltigkeit**

Erweiterung des Projektes „Hochspezifische Nanopartikelsynthese“ um Nachhaltigkeit

- **Testpartikel für Wirkungsuntersuchungen / medizinisch und biologisch relevante Produktpartikel**
- **Sichere Produktpartikel**
- **Partikelfreisetzungsmöglichkeiten**
- **Vermeidungsmaßnahmen**
- **Expositionsszenarien am Arbeitsplatz für Wirkungsuntersuchungen**
- **Expositionsmesstechnik (Agglomerate und wirkungsbezogene Messgrößen)**
- **Ökologische Nachhaltigkeit weiterführender Verarbeitungsschritte (Schichten)**
- **Mögliche Produkte und ihre Nachhaltigkeit im Lebenszyklus und bei der Wiederverwertung**

Zusammenfassung der Visionen für UDE und IUTA

Aus der Sicht eines Ingenieurs:

- **Einführung der Nachhaltigkeit als Bestandteil der Ingenieurausbildung**
- **Ganzheitliche Betrachtung von komplexen Systemen mit mehreren Optimierungsparametern in Lehre und Forschung**
- **Förderung von Kooperationen mit Toxikologen (Epidemiologen), Medizinern, Biologen**
- **Stärkung der Verfahrenstechnik, Messtechnik, Medizintechnik zur Förderung der Umsetzung und Anwendung**
- **Ausrichtung der Forschung an Alleinstellungsmerkmalen**

Alleinstellungsmerkmale

- Nanostrukturen → Nanopartikel
- Charakterisierungsmethoden → Nanopartikel
- Matrix → Schichten
- Anwendungen und Produkte → Optische und
und elektronische Materialien und Bauelemente
- Produktionsverfahren → Gasphasen-
prozesse
- Nachhaltigkeit der Prozesse und Produkte →
Vollständige Betrachtungsweise

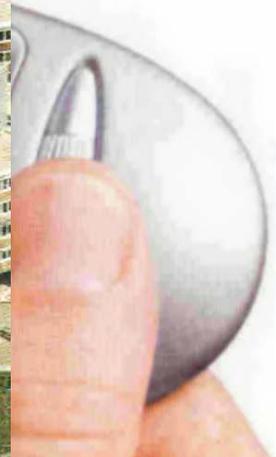
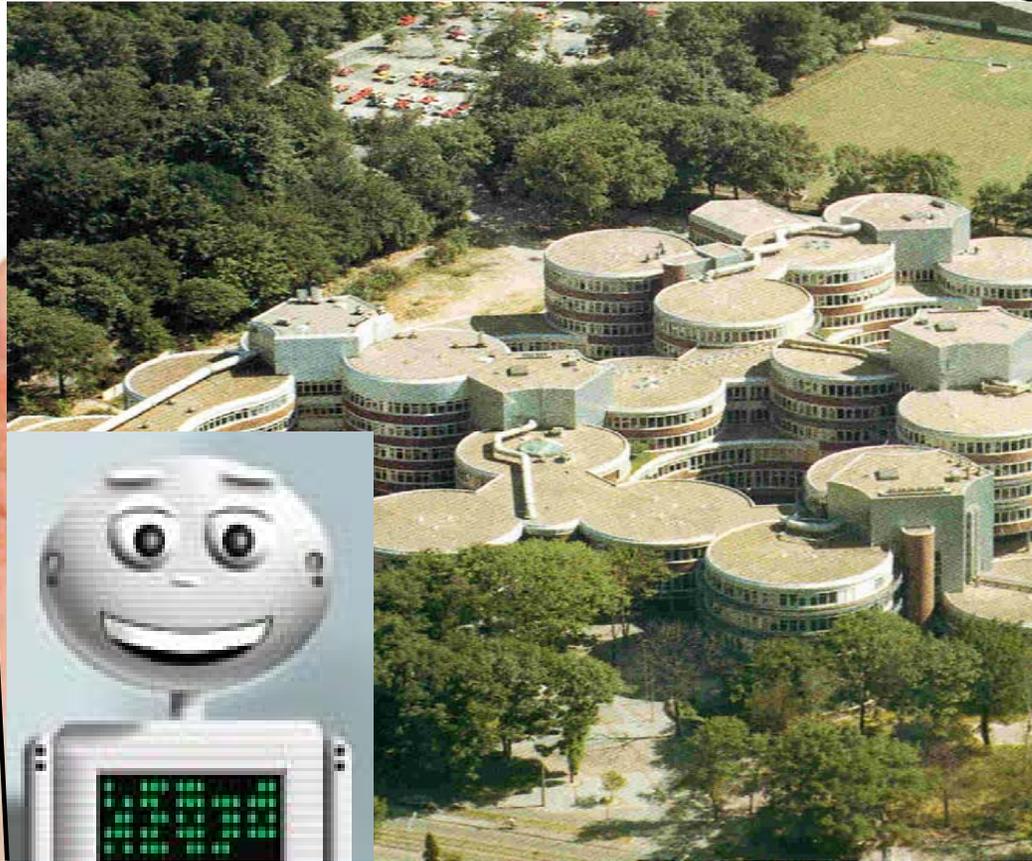
Vom aktiven Hochschullehrer zum Pensionär



04.09.2005 12:10

Gartenarbeit?

Mein Arbeitsplatz in der Zukunft



Chancen aus der Weiterbeschäftigung von Professoren > 65

Nur bei Bedarf (Uni) und Wunsch (Professor)

- Angleichung an die Bedingungen im Ausland
- Reduzierung der Übernahme von Forschungsaufgaben im Ausland
- Sicherung und Weitergabe der Kenntnisse der Spitzenforscher
- Erhalt des Renomees und der Drittmittelförderung
- Neue Kooperationskultur – alt – jung - Produktivitätssteigerung
- Positiver Aspekt in Berufungsverfahren
- Erhöhung der internationalen Attraktivität der Wissenschaftslandschaft

Niedersachsen: Bundesland richtet Förderprogramm "Forschung 65 plus" ein Altersgrenze aufgehoben VDI nachrichten, Hannover, 18. 7. 08, Fr –

Niedersachsen bietet als erstes Bundesland seinen Spitzenforschern insgesamt eine Professur über das Alterslimit von 65 Jahren hinaus und macht damit einen wichtigen Schritt in eine international attraktivere Wissenschaftslandschaft.

Als Professor engagiert er sich für seine Studierenden, ist Gutachter und hat ein großes Forschungsprojekt an der Hochschule laufen, das bereits international Aufsehen erregte und einzigartige Ergebnisse erwarten lässt. Doch inzwischen hat er das Alterslimit von 65 erreicht - in der Regel noch Endstation für Wissenschaftler an deutschen Universitäten. Und Fundgrube für ausländische, vor allem angloamerikanische Hochschulen, an denen Leistung und nicht Alter zählt. Mit attraktiven Angeboten locken sie den hierzulande "stillgelegten" Leistungsträger über 65 und fahren damit oft reiche Forschungsernte ein.

Auch der Leukämie-Spezialist Professor Karl Welte von der Medizinischen Hochschule Hannover MHH, eben 65 geworden, hätte an Unis in New York oder Texas anheuern können. Doch er ist in Hannover geblieben. Denn nun hat Niedersachsen als erstes Bundesland planmäßig das Förderprogramm "Forschung 65 plus" für Spitzenforscher eingerichtet, das aus Mitteln des "Niedersächsischen Vorab" der VolkswagenStiftung mit vorerst 2 Mio. € finanziert wird. Aus diesem Förderprogramm wird dem neuen Seniorprofessor zusätzlich zu seinen Ruhestandsbezügen eine **nebenberufliche Professur** bezahlt; seine bisherige **Stelle wird für einen jüngeren Wissenschaftler frei**.

"Niedersachsen wird für Spitzenforscher attraktiv"

"Damit überwinden wir starre Strukturen", freut sich der Niedersächsische Wissenschaftsminister Lutz Stratmann. "Wir halten nicht nur renommierte Forscher mit oft hoch dotierter Drittmittelforschung im Land, sondern schaffen auch eine neue Kooperationskultur." Dass diese Kultur Zukunft ist, bekräftigt Wilhelm Krull, Generalsekretär der VolkswagenStiftung: "Kollegial angelegte gemischte Teams mit älteren und jüngeren Wissenschaftlern erweisen sich als besonders produktiv." Entsprechend setzt die VolkswagenStiftung bei ihren nicht spezifisch für den Nachwuchs bestimmten Förderungen keine Altersgrenze.

Das neue 65-Plus-Programm ist unbefristet. Anträge - ab dem 62. Lebensjahr möglich - können erstmals zum 1. Oktober 2008 eingereicht werden, dann jährlich zum 1. April und 1. Oktober. Auswahlkriterien sind sehr hohe nationale und hohe internationale "Sichtbarkeit" des Bewerbers, etwa belegt durch eine führende Position in Exzellenzclustern oder Sonderforschungsbereichen der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Die jeweilige Hochschule muss dem Antrag zustimmen. Sie stellt auch die notwendige Infrastruktur für den Bewerber bereit. Gefördert werden die **"Niedersachsenprofessuren" pro Jahr bis maximal 80 000 €**. Sie laufen in der Regel bis zu fünf Jahre, bei Forschungsprojekten sind Verlängerungen möglich.

"Die neue Lösung macht Niedersachsen auch für internationale Spitzenforscher noch attraktiver", prognostiziert Welte. Denn Koryphäen wollen nicht mit 65 vor die Tür gesetzt werden. **RUTH KUNTZ-BRUNNER**

VDI nachrichten, Hannover, 18. 7. 08, Fr - Niedersachsen bietet als erstes Bundesland seinen Spitzenforschern insgesamt eine Professur über das Alterslimit von 65 Jahren hinaus und macht damit einen wichtigen Schritt in eine international attraktivere Wissenschaftslandschaft.

www.volkswagenstiftung.de/foerderung/vorab.html

Das "Vorab" umfasst jene Stiftungserträge, die ausschließlich der Forschungsförderung Niedersachsens zugute kommen. Im Jahr 2007 wurden 64,1 Mio. € bewilligt, seit 1962 insgesamt 1,12 Mrd. €

**Niedersachsen: Bundesland richtet Förderprogramm
"Forschung 65 plus" ein
Altersgrenze aufgehoben
VDI nachrichten, Hannover, 18. 7. 08, Fr –**

- nebenberufliche Professur**
- Stelle wird für einen jüngeren Wissenschaftler frei**
- Niedersachsenprofessuren" pro Jahr bis maximal 80 000 €**

Danksagung

Dank an:

- **Familie**
- **UM – Dave Pui und Mitarbeiter**
- **IUTA – Thomas Kuhlbusch und Mitarbeiter**
- **NST – Roland Schmechel und Mitarbeiter**
- **Alle Ehemaligen**
- **CeNIDE und IUTA**
- **Vortragende**
- **Alle Anwesende und Nichtanwesende, denen ich in 70 Jahren begegnet bin**

für Ihre konstruktiven Beiträge zu meinem Leben