



# 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



# 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 Fißan**  
aus Ahlen/Westfalen

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

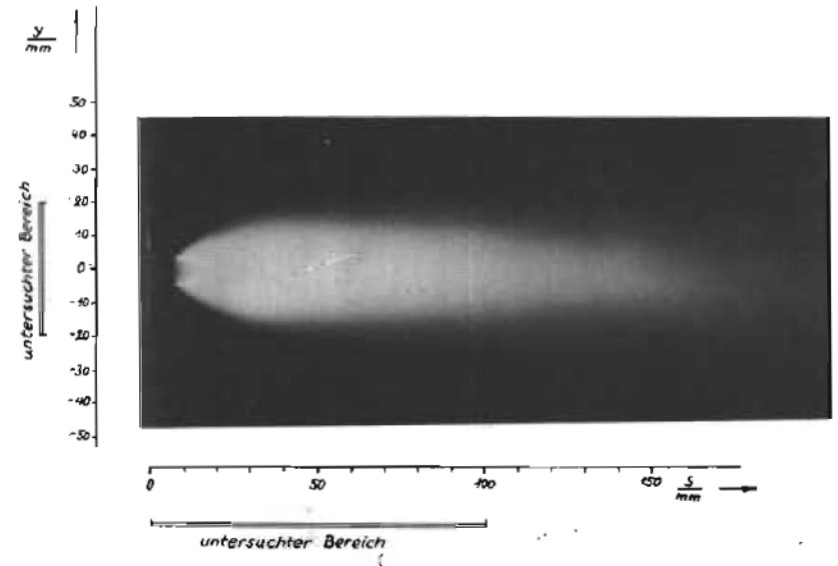


Abb. 1: Offene Methan-Sauerstoff-Flamme

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

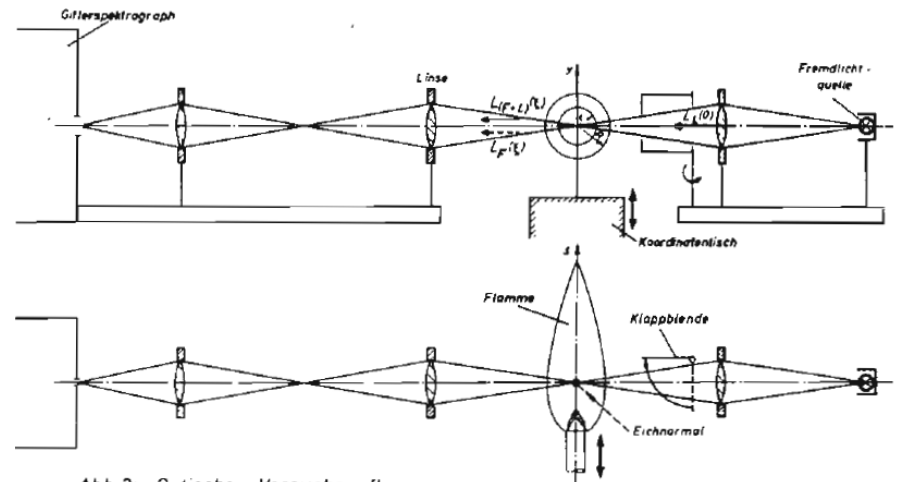


Abb 2: Optischer Versuchsaufbau

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

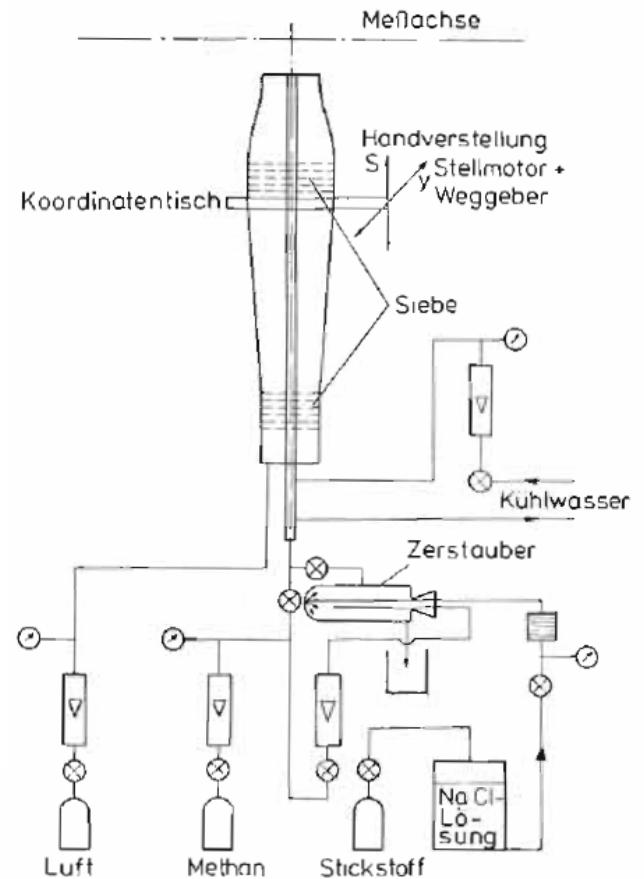


Abb. 1.: Brennsystem mit Versorgungseinrichtungen

**2004**

Nachhaltige  
Nanotechnologie

**1968**

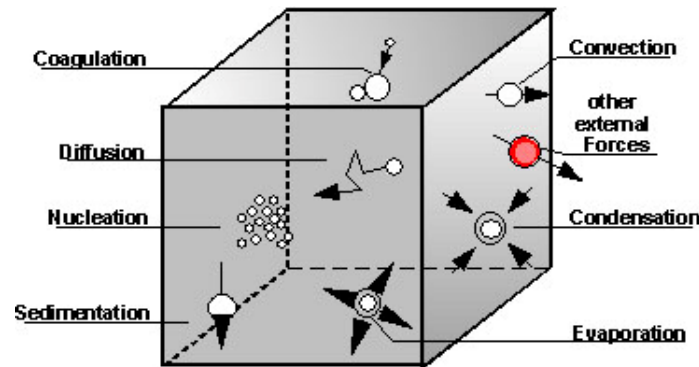
Verbrennungs-  
prozesse und  
Abgasaerosole

**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**

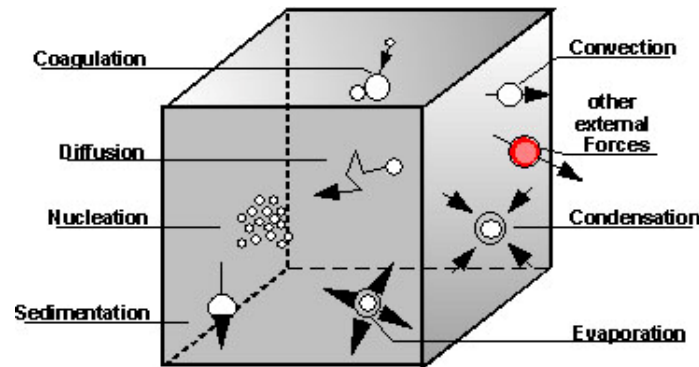
Verbrennungs-  
prozesse und  
Abgasaerosole

**1974**

Brand-  
entdeckung  
Atmosphärische  
Aerosole

**2003**

EUVL  
Kontaminations-  
probleme



**1985**

Gasfiltration

**1997**

Nano-  
strukturierte  
Gassensoren

**1996**

Nanopartikel-  
synthese und  
ihre Messtechnik

**1988**

Reinraumtechnik

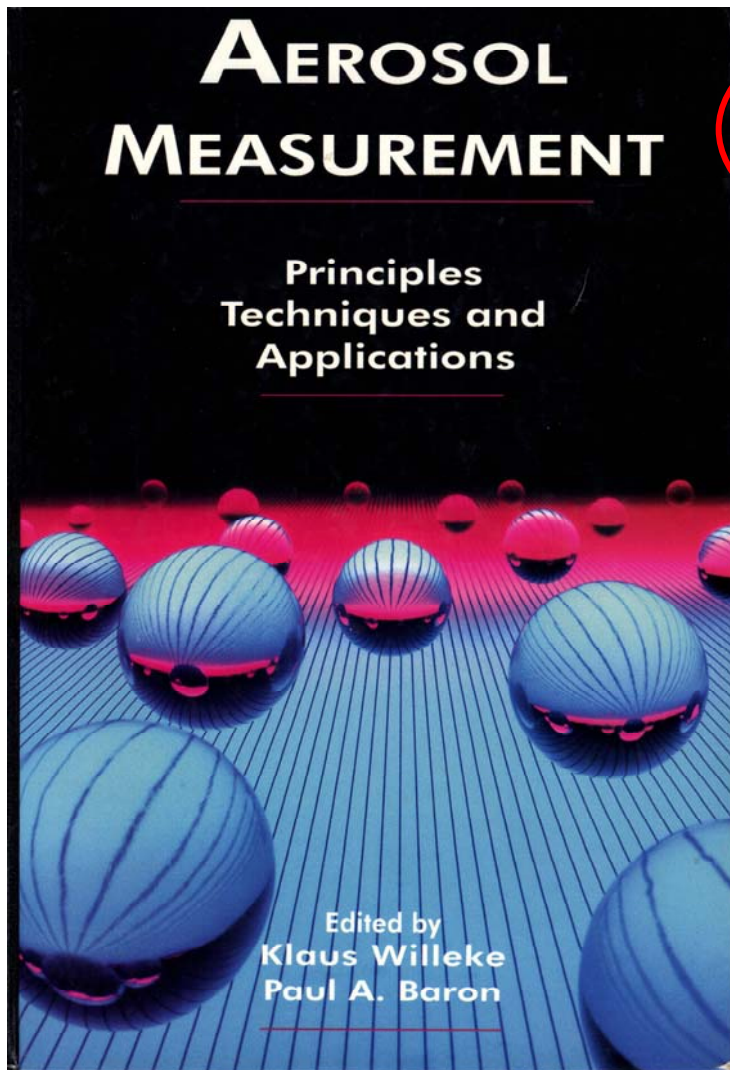
# Reinraumtechnik / Filter



- 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<br>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**

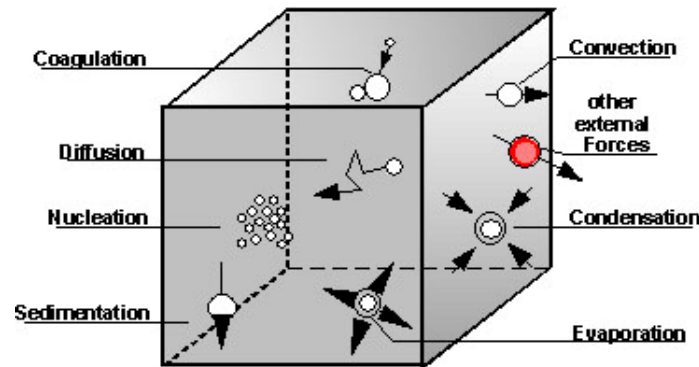
Verbrennungs-  
prozesse und  
Abgasaerosole

**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

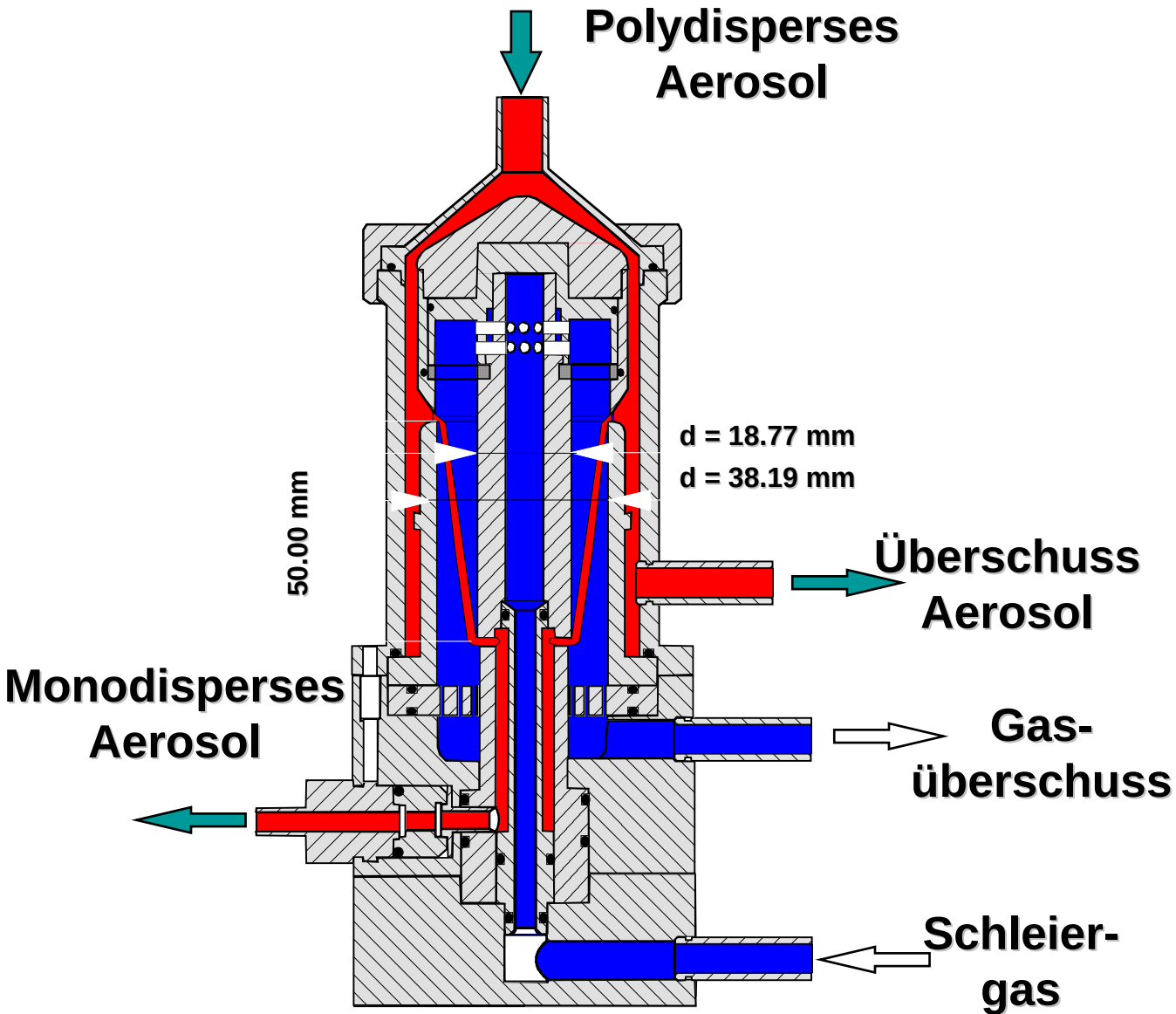
0021-8502/96 \$15.00 + 0.00

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

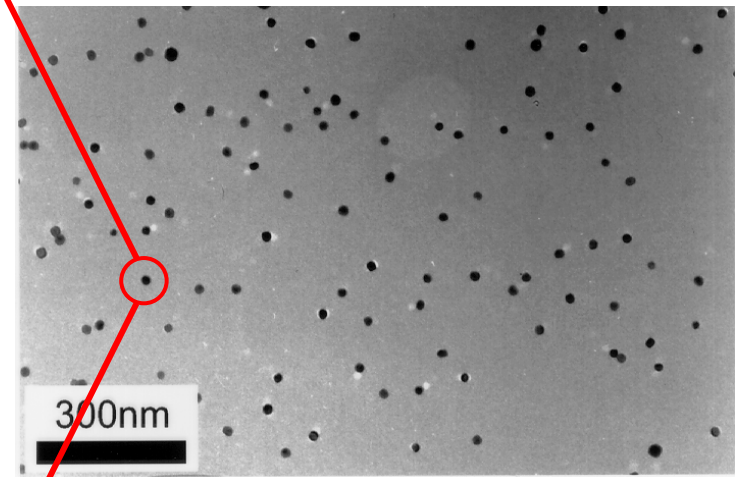
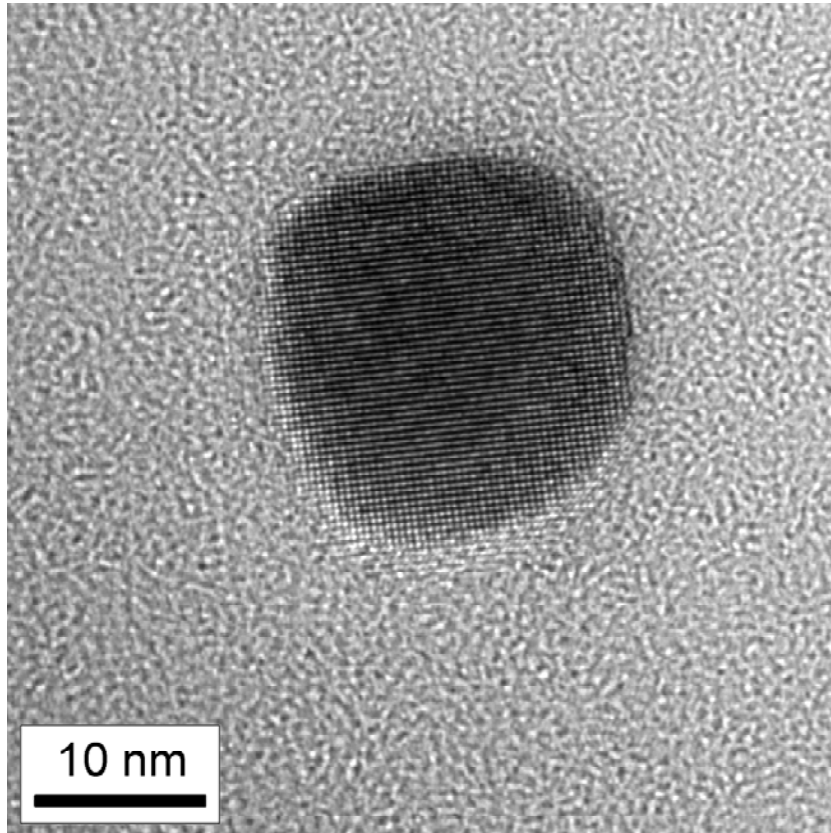
Daren Chen<sup>1</sup>, David Y.H. Pui<sup>1</sup>, D. Hummes<sup>2</sup>, H. Fissan<sup>2</sup>,  
F.R. Quant<sup>3</sup>, G.J. Sem<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Particle Technology Laboratory, Mechanical Engineering Department, University of Minnesota, Minneapolis, MN55455, U.S.A.; <sup>2</sup>Prozess- und Aerosolmesstechnik, Gerhard Mercator Universitaet, Bismarckstr. 81, D-47048 Duisburg, Germany; <sup>3</sup>TSI 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. Pui**, Plymouth; **Da-Ren  
Chen**, Roseville; **Frederick R. Quant**,  
Shoreview; **Ginore J. Sem**,  
Lauderdale, all of MN (US); **Heinz  
Fissan**, Kerken; **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 Informa-  
tion, TSI Incorporated, No Date.

Model 3940 Submicrometer Monodisperse Aerosol Genera-  
tion 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**

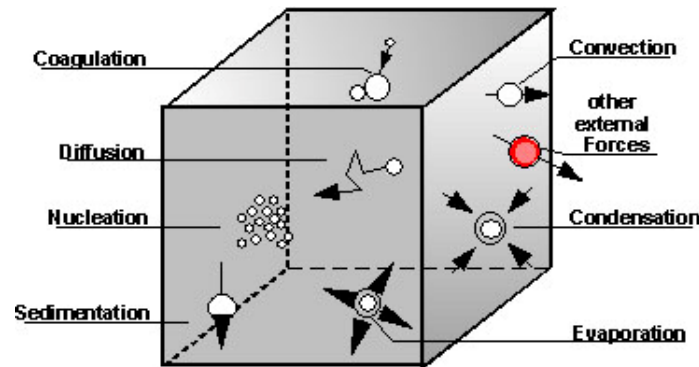
Verbrennungs-  
prozesse und  
Abgasaerosole

**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 Arbeitsplätzen



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**

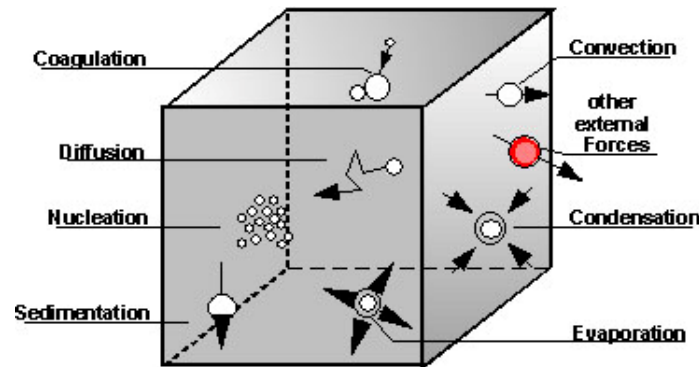
Verbrennungs-  
prozesse und  
Abgasaerosole

**1974**

Brand-  
entdeckung  
Atmosphärische  
Aerosole

**2003**

EUVL  
Kontaminations-  
probleme



**1985**

Gasfiltration

**1997**

Nano-  
strukturierte  
Gassensoren

**1996**

Nanopartikel-  
synthese und  
ihre Messtechnik

**1988**

Reinraumtechnik

# Ehrungen

|             |                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1990</b> | <b>International Aerosol Fellow Award</b>                                                                                                                                                                                                |
| <b>1993</b> | <b>Max Planck Forschungspreis – Dave Pui</b>                                                                                                                                                                                             |
| <b>1998</b> | <b>David Sinclair Award</b>                                                                                                                                                                                                              |
| <b>2000</b> | <b>Ehrenmitglied der Gesellschaft für Aerosolforschung (GAeF)</b>                                                                                                                                                                        |
| <b>2001</b> | <b>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</b> |
| <b>2003</b> | <b>Ehrenmedaille in Gold des VDI</b>                                                                                                                                                                                                     |
| <b>2003</b> | <b>Junge-Award</b>                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>2005</b> | <b>David L. Swift Memorial Award – Best paper award- First Carbon Black exposure measurements - Thomas Kuhlbusch</b>                                                                                                                     |
| <b>2006</b> | <b>Fissan-Pui-TSI-Preis – Messgeräteentwicklungspreis, gestiftet von der Fa. TSI</b>                                                                                                                                                     |

# 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**

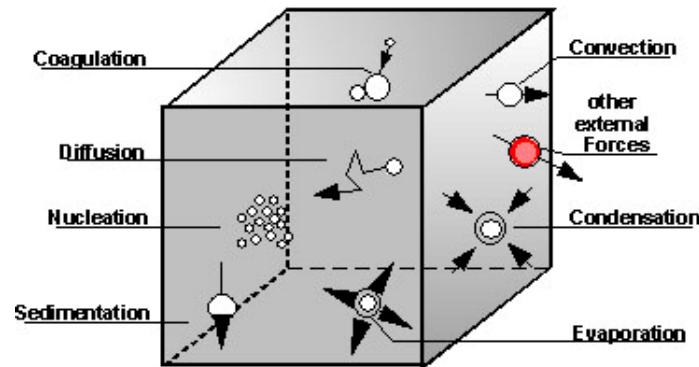
Verbrennungs-  
prozesse und  
Abgasaerosole

**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](http://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 <sup>2</sup> |
| Technikumsfläche       | 4.000 m <sup>2</sup> |
| Industriekooperationen | 350 (laufend)        |
| Umsatz                 | 7 - 8 Mio €/a        |



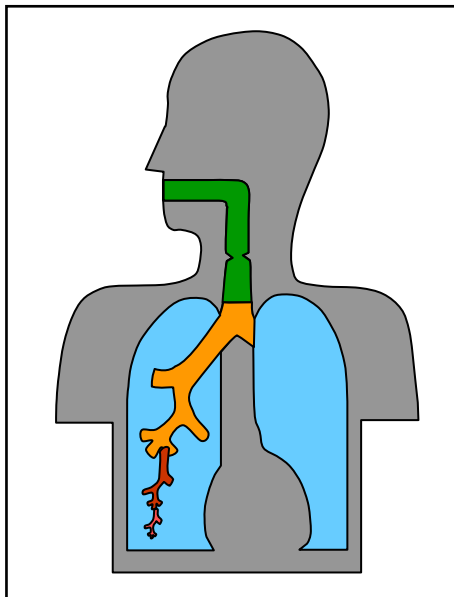
## Aktivitäten

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

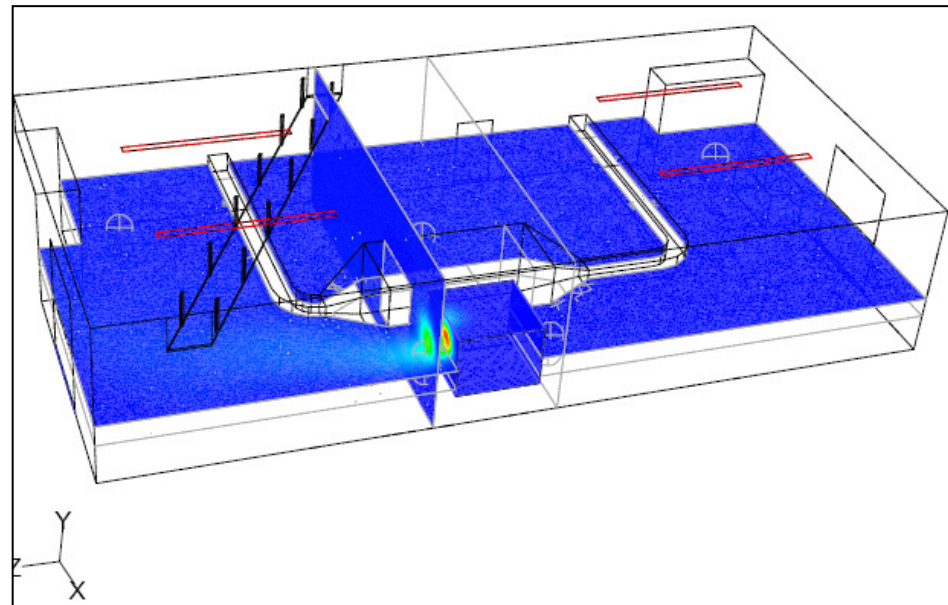
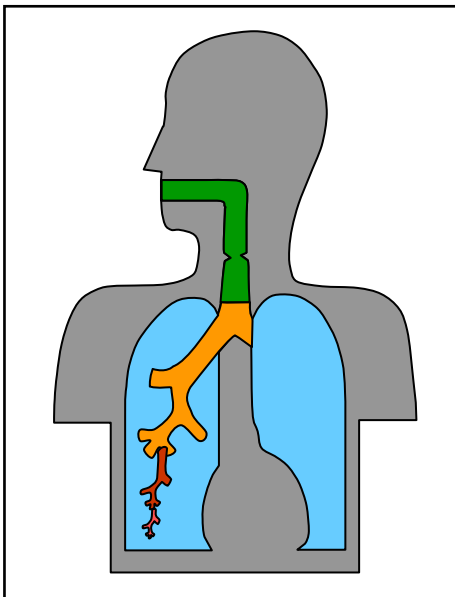
## Arbeitsgebiete

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

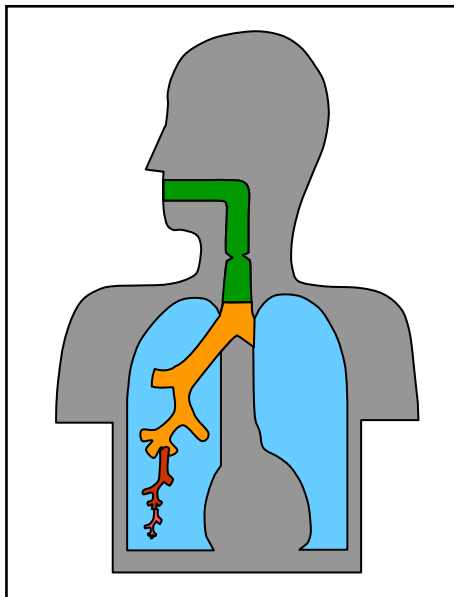
- **Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)**
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF<sup>3</sup>)
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes



- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- **Nanopartikeldynamik nach einer Leckage**
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF<sup>3</sup>)
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes

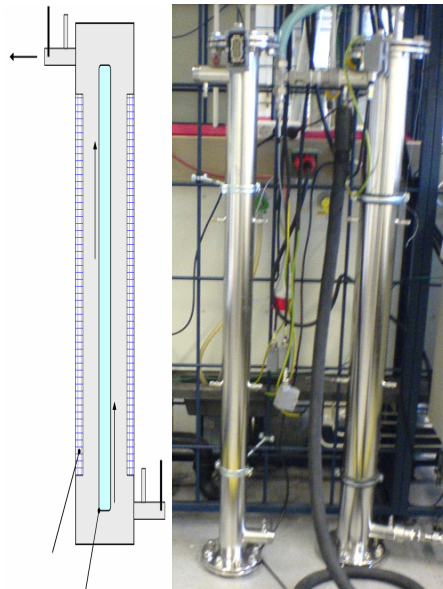


- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- **Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen**
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF<sup>3</sup>)
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes



# Aktuelle Forschungsaktivitäten Prof. Fissan

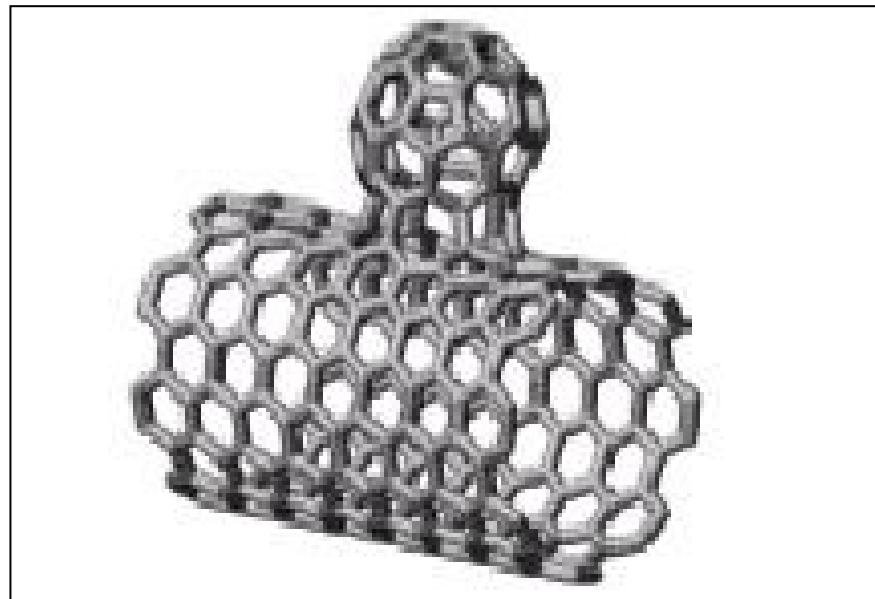
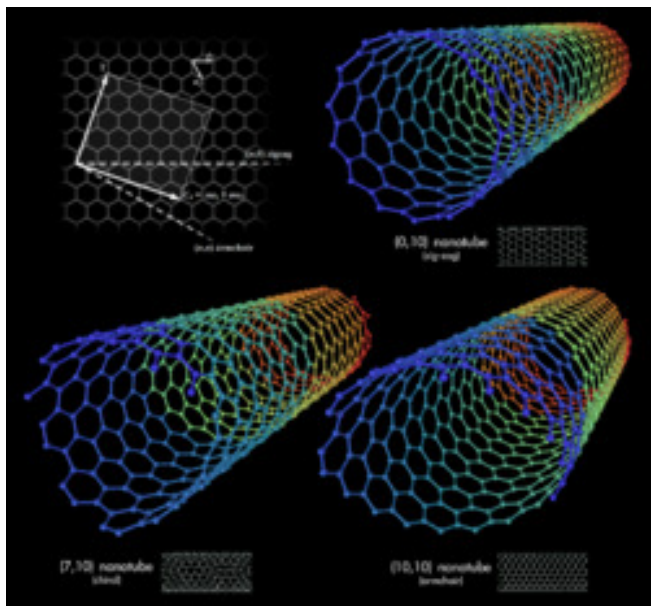
- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- **Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF<sup>3</sup>)**
- Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes



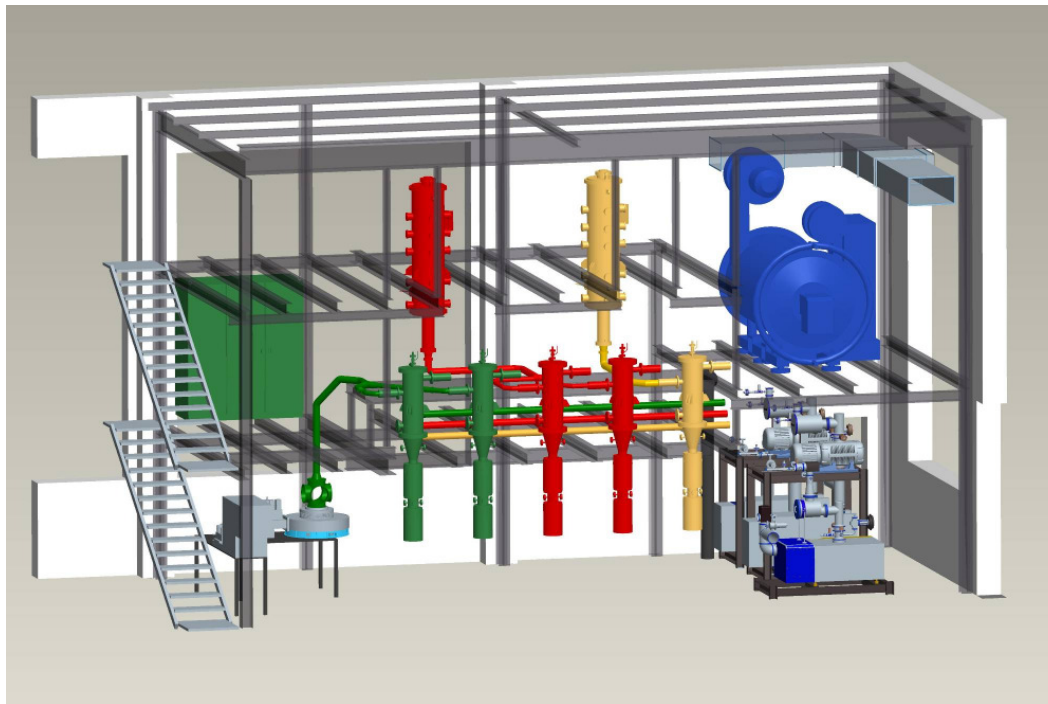
UV-Niederdruckstrahler  
Katalysator-Verbundmaterial



- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF<sup>3</sup>)
- **Untersuchungen zum Lebenszyklus von Carbon NanoTubes**



- Personengetragenes Sammelgerät (Thermalpräzipitator)
- Nanopartikeldynamik nach einer Leckage
- Nanoskalige Partikel an Schweißarbeitsplätzen
- Optimierung von funktionalen Oberflächen durch Nanopartikel (ZF<sup>3</sup>)
- 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

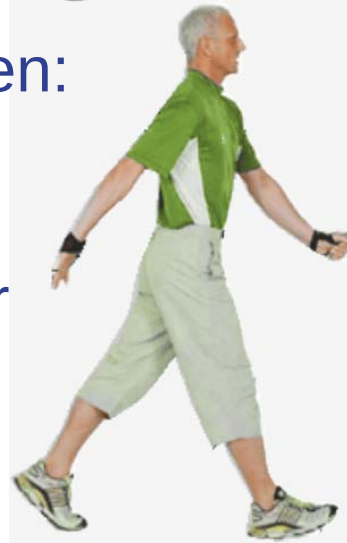
# Was heißt „Nano-“ ?

Nános (altgr.)= „Zerg“

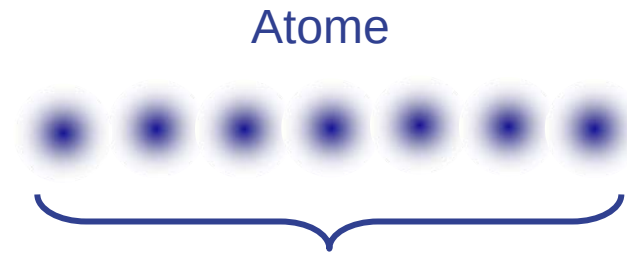


Vorsatz bei Größenangaben:

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



~ 1m



Atome

~ 1nm

# Ein Größenvergleich

Erde

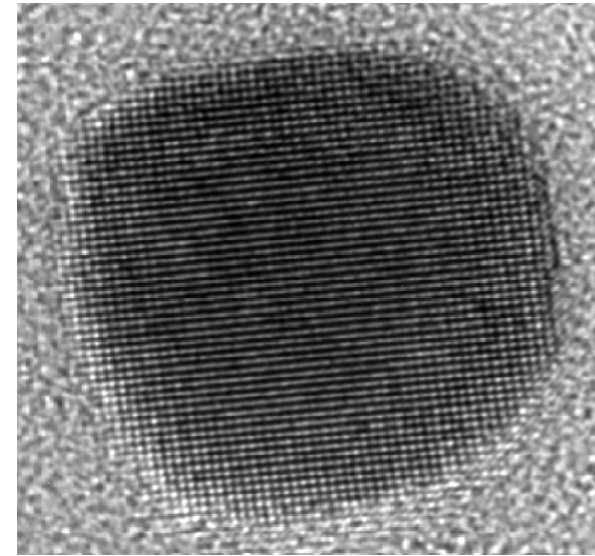


$\sim 10^8$  mal größer

Fußball



Nanopartikel



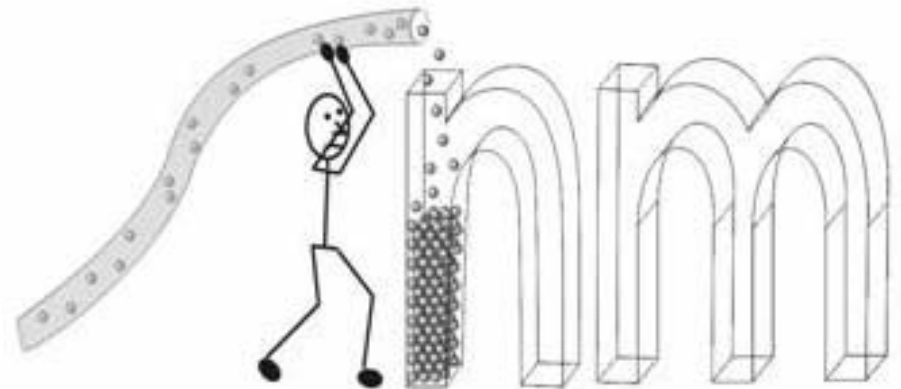
$\sim 10^8$  mal kleiner

# Wie erzeugt man Nano...?



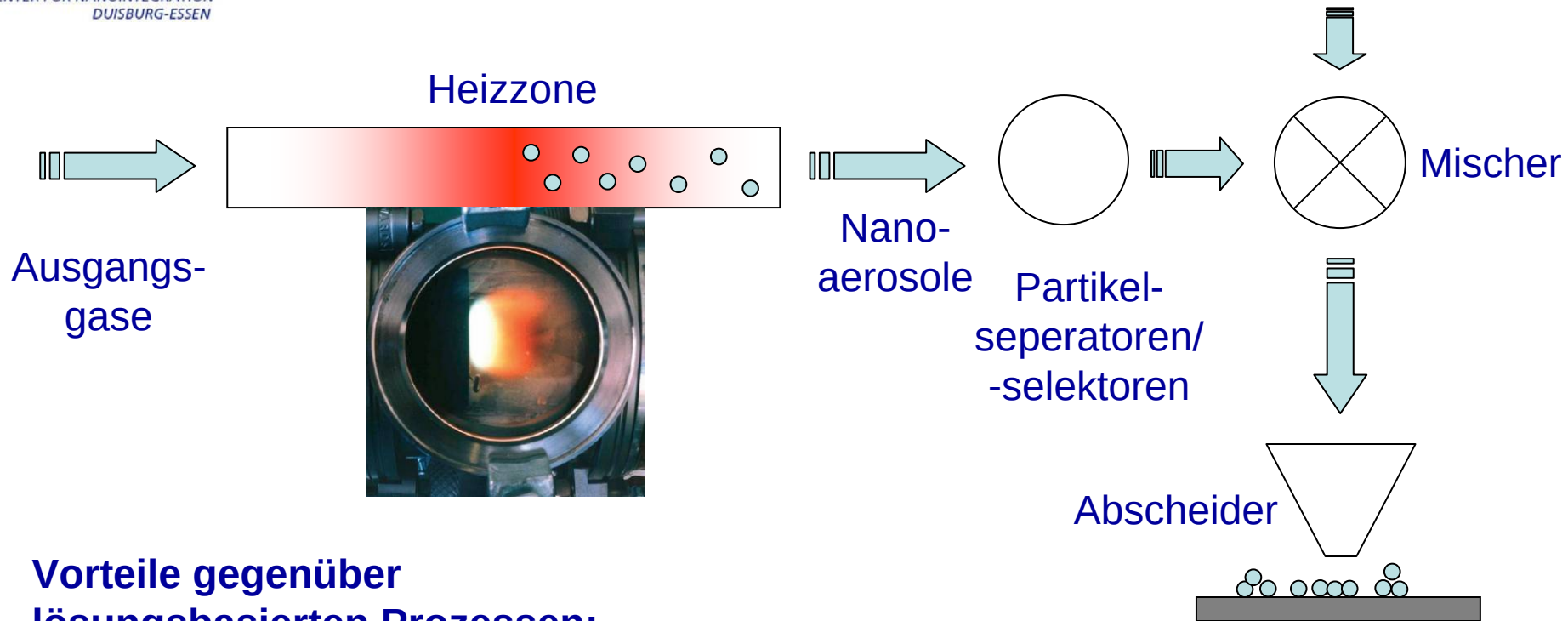
Top Down

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



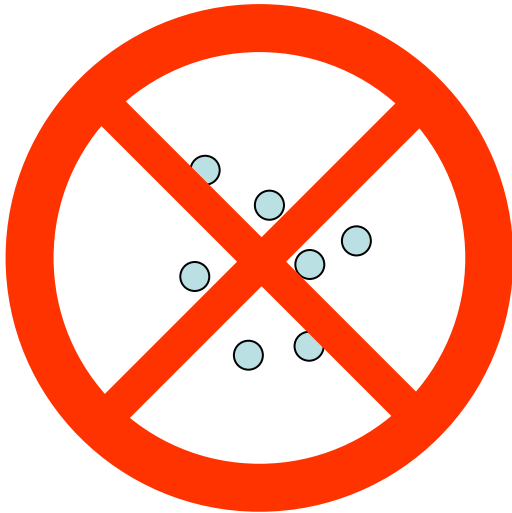
(Kruis /NST)

## Industrieller Einsatz



(Wiggers, Schulz /IVG)

# Partikel in der Spitzentechnologie ?

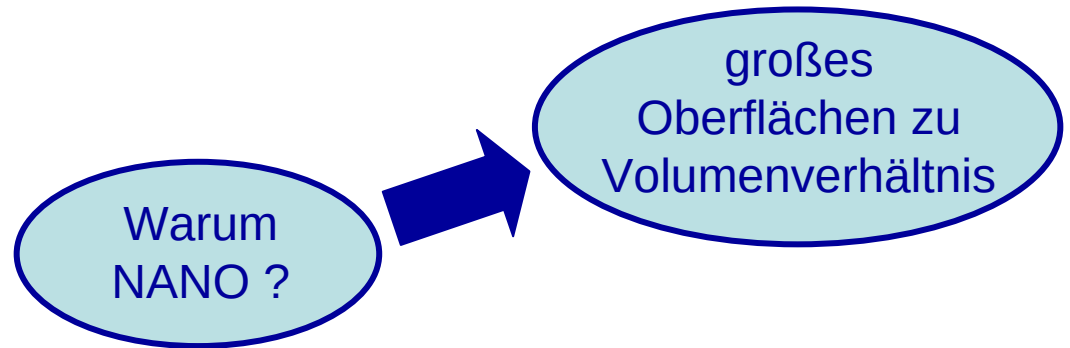


absolutes  
Partikelverbot



# Motivation

---



# Viel Oberfläche mit wenig Volumen

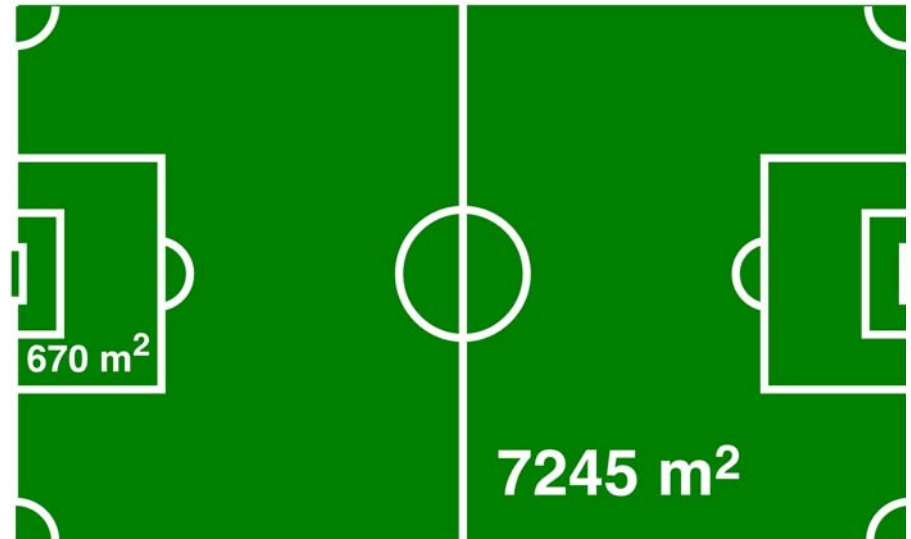
spezifische Oberfläche: 253 m<sup>2</sup>/g



1.3 g Zr(Y)O<sub>2</sub> / 40 cm<sup>3</sup>

(AG: Winterer)

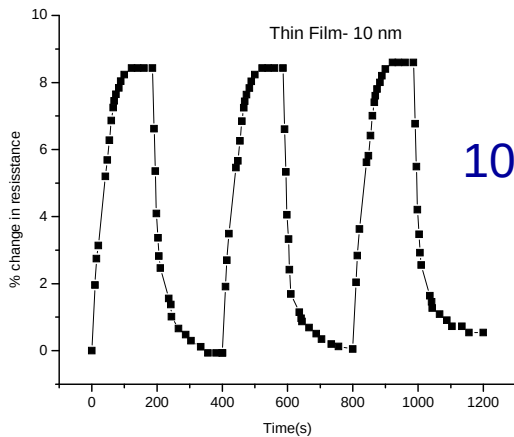
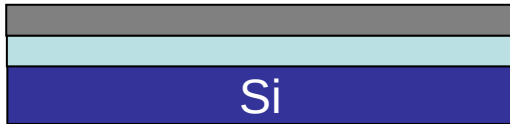
- 30g nano-Zr(Y)O<sub>2</sub> hat die Oberfläche eines Fußballfeldes !



- Oberflächen-/Grenzflächenphänomene werden dominant

# H<sub>2</sub>- Sensor

10nm Pd

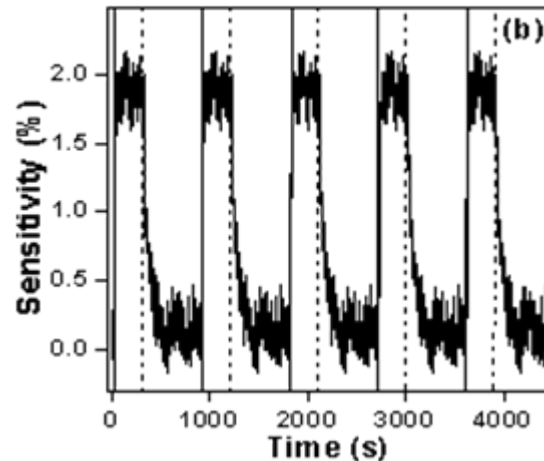
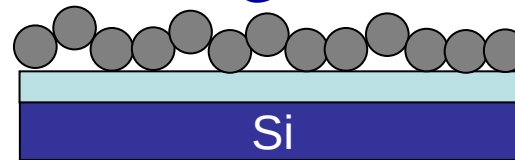


100% H<sub>2</sub>

Ansprechzeit ~ 100s

Ursache: Zusätzliche  
Streuzentren in Pd

Pd @ 15nm



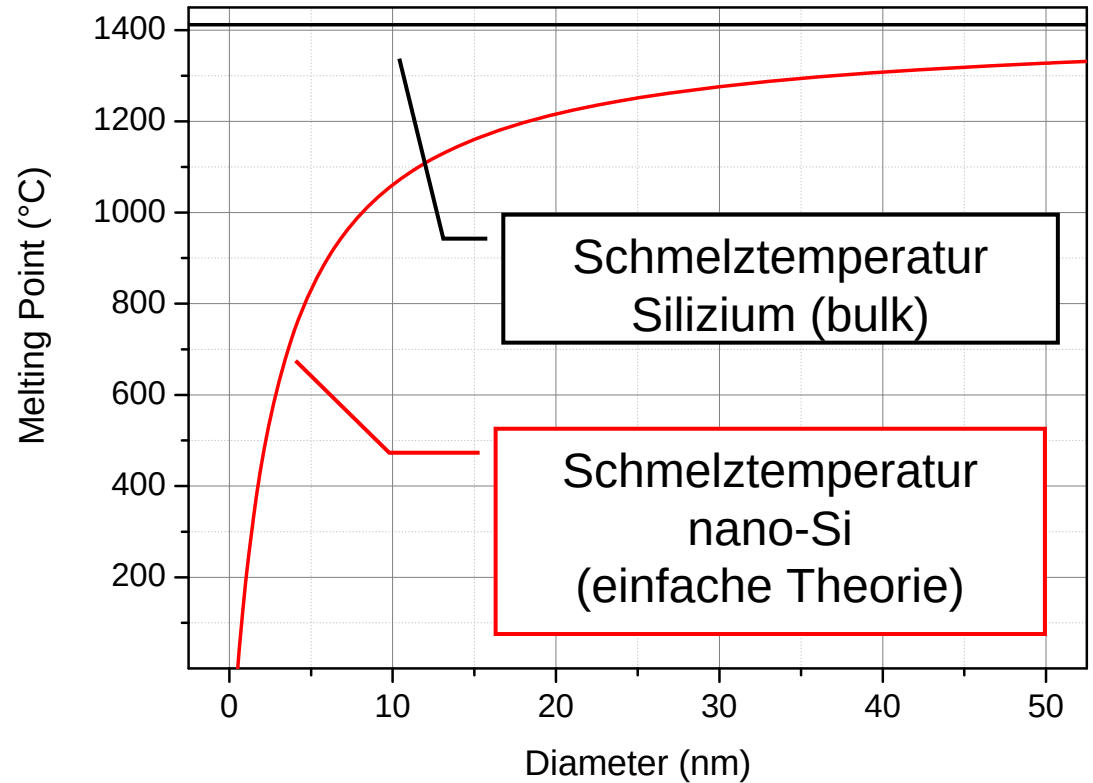
1% H<sub>2</sub>

Ansprechzeit < 20s

(Kruis / NST)

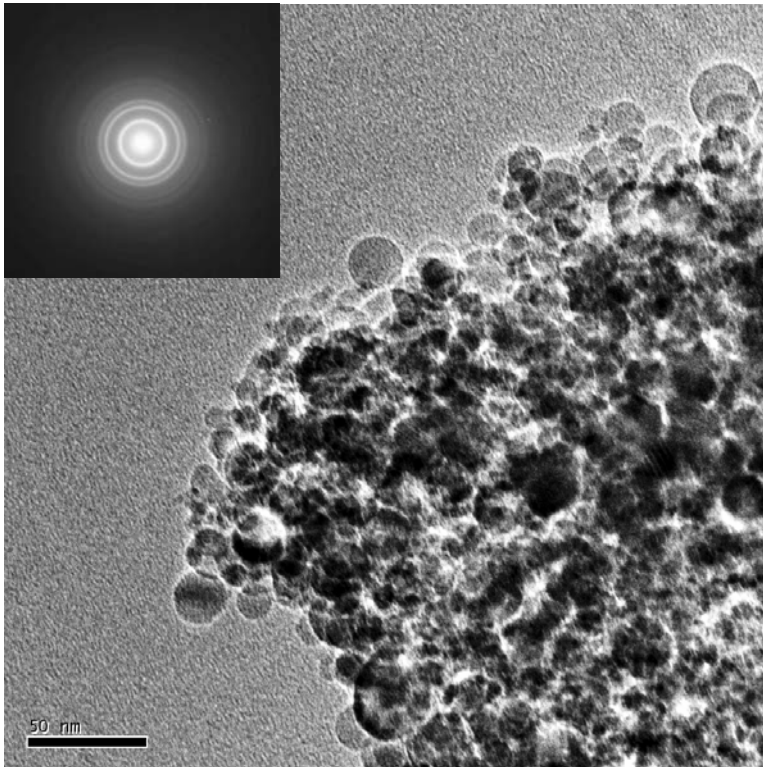
# Schmelzen / Sintern

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

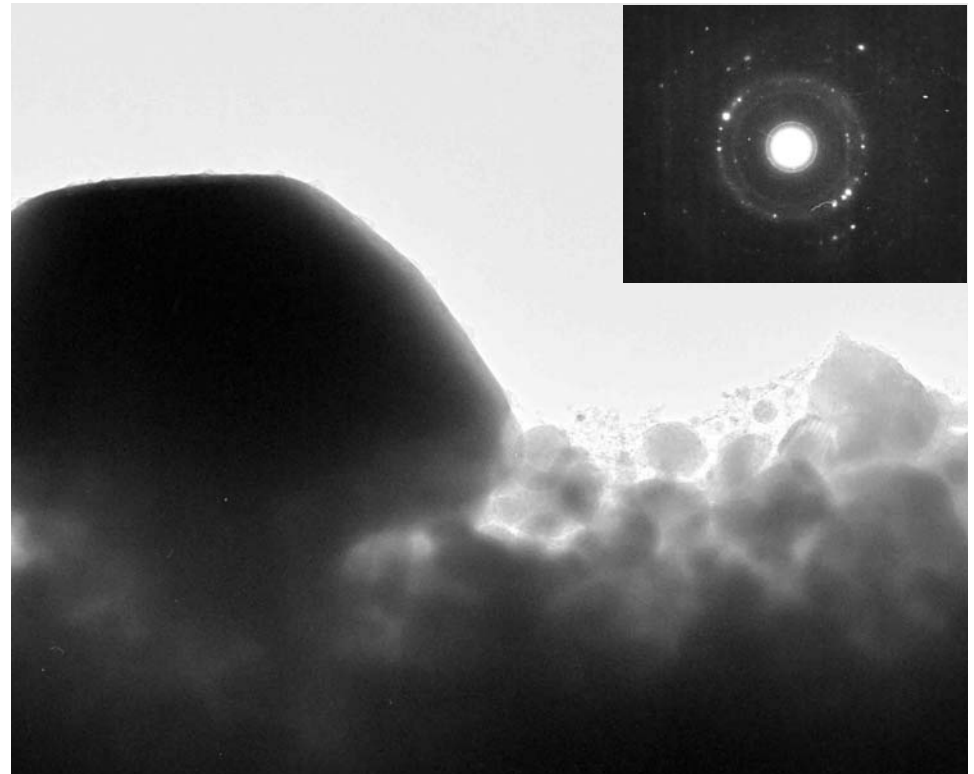


# Schmelzen / Sintern

vorher



nachher



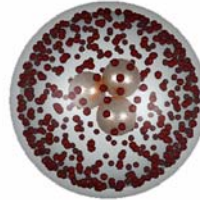
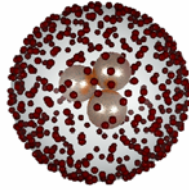
(Theissmann, Schierring /NST,  
Wiggers / IVG)

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

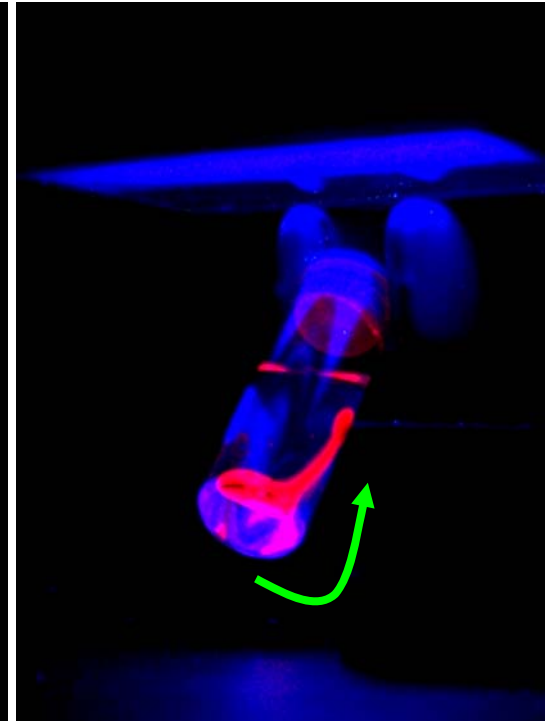
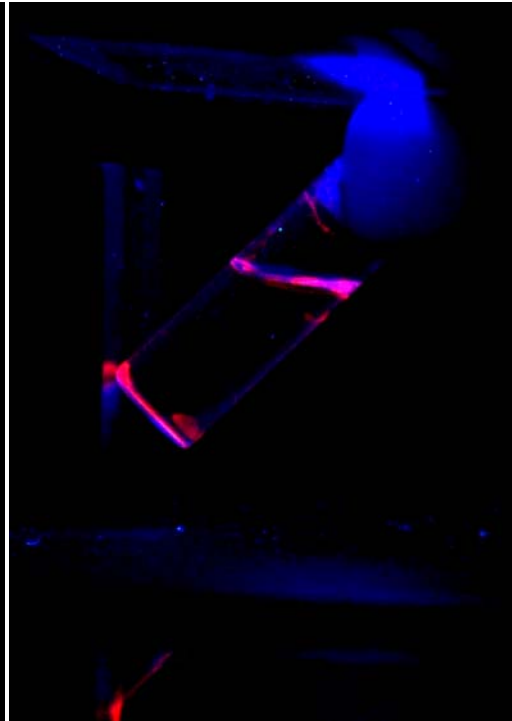
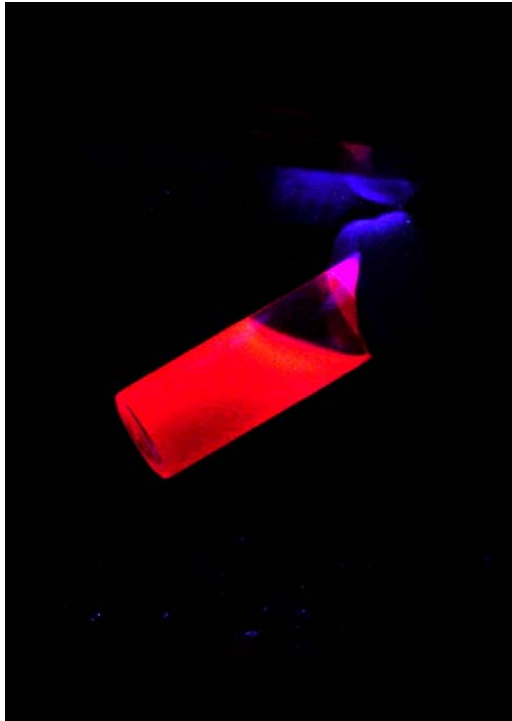
# Motivation



# Ferromagnetische Leuchtstoffe

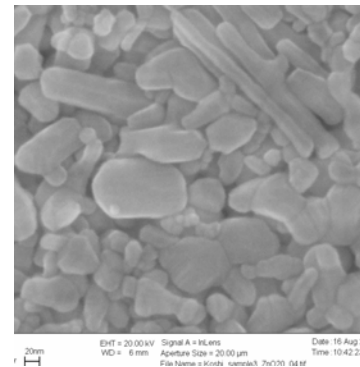
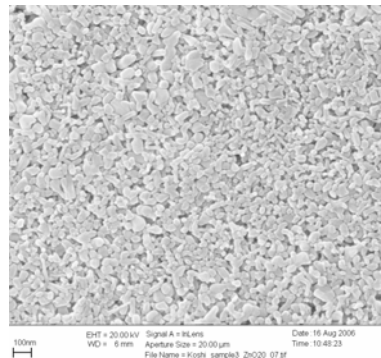
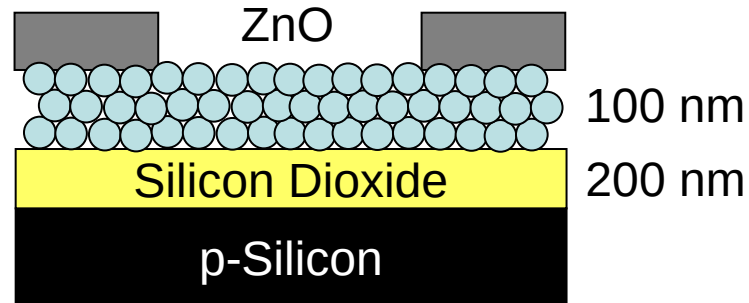


In  $\text{SiO}_2$  eingebetteter magnetischer Kern,  
benetzt mit CdTe Nanopartikeln  
passiviert durch  $\text{SiO}_2$  Hülle

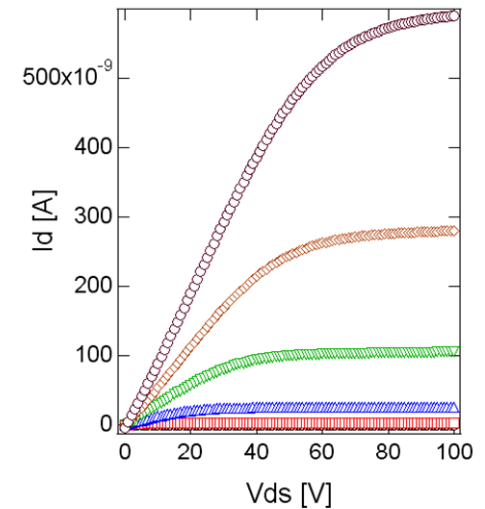


# ZnO-Transistor

## Druckbare Elektronik:

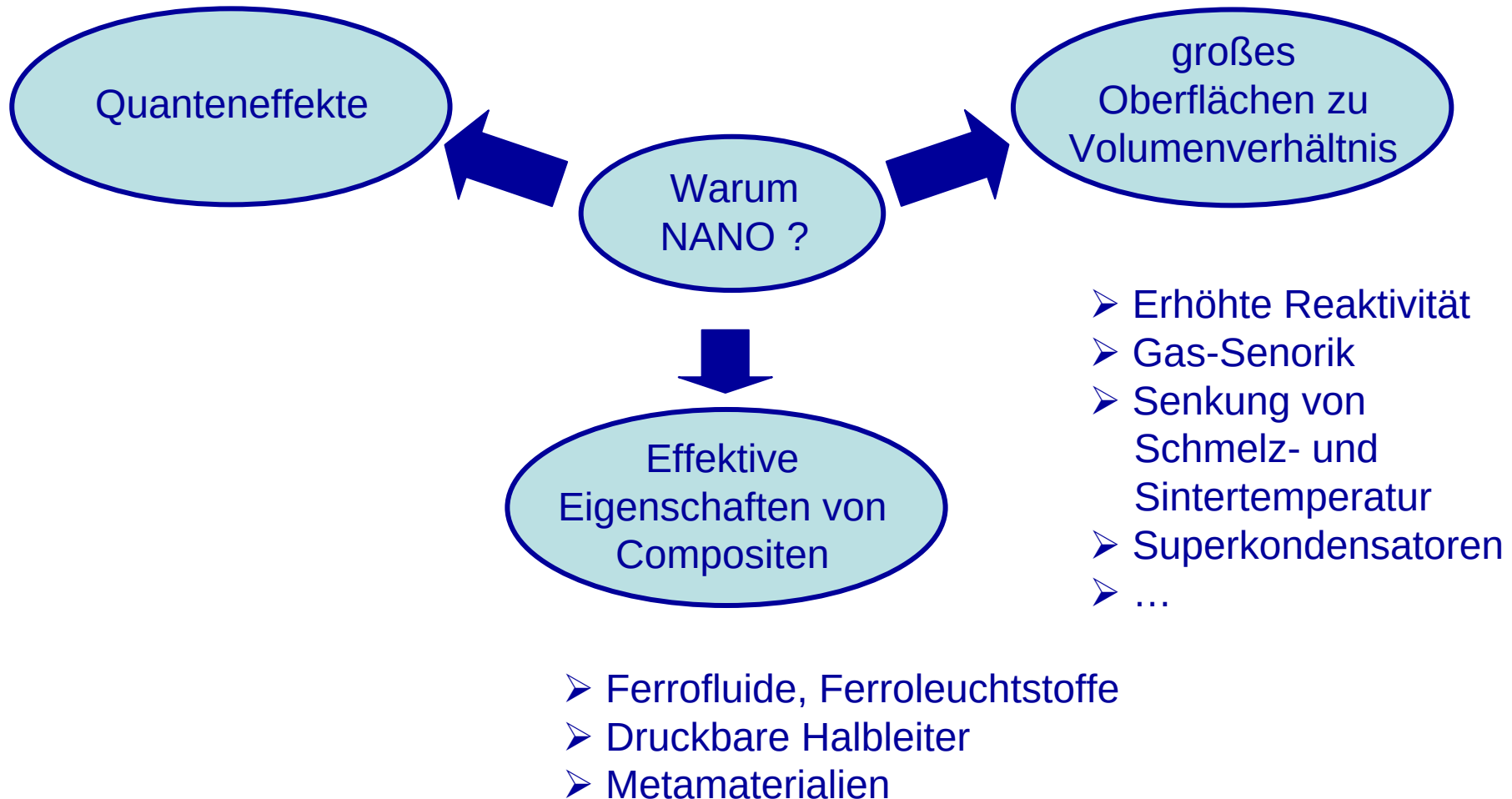


- hergestellt an Luft
- betrieben an Luft
- Prozesstemperatur  $< 90^\circ\text{C}$
- n-Kanal



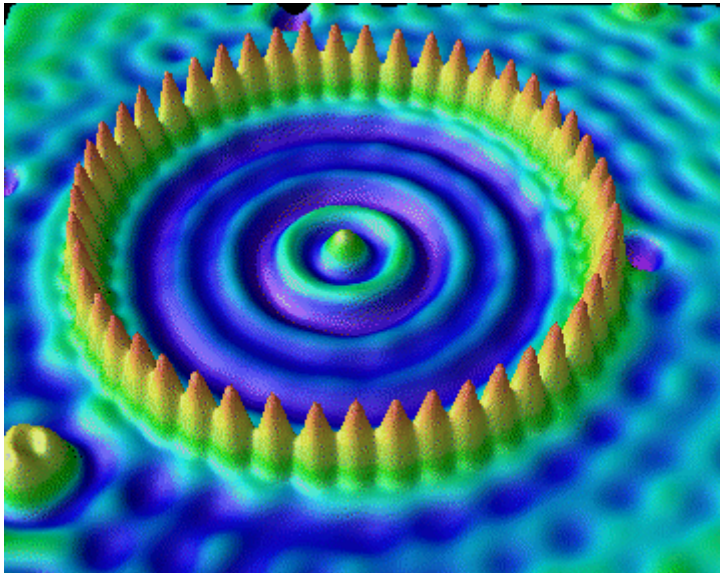
(Okamura / Schmechel/ NST)

# Motivation



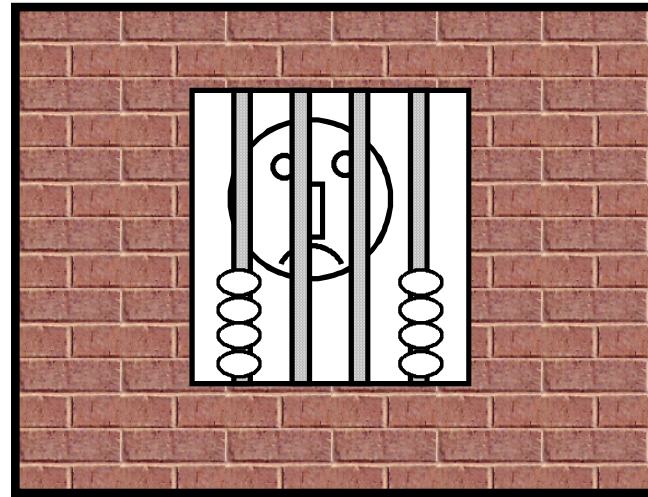
# Quantenphänomenen

Elektronendichte in  
einer „Quantenburg“



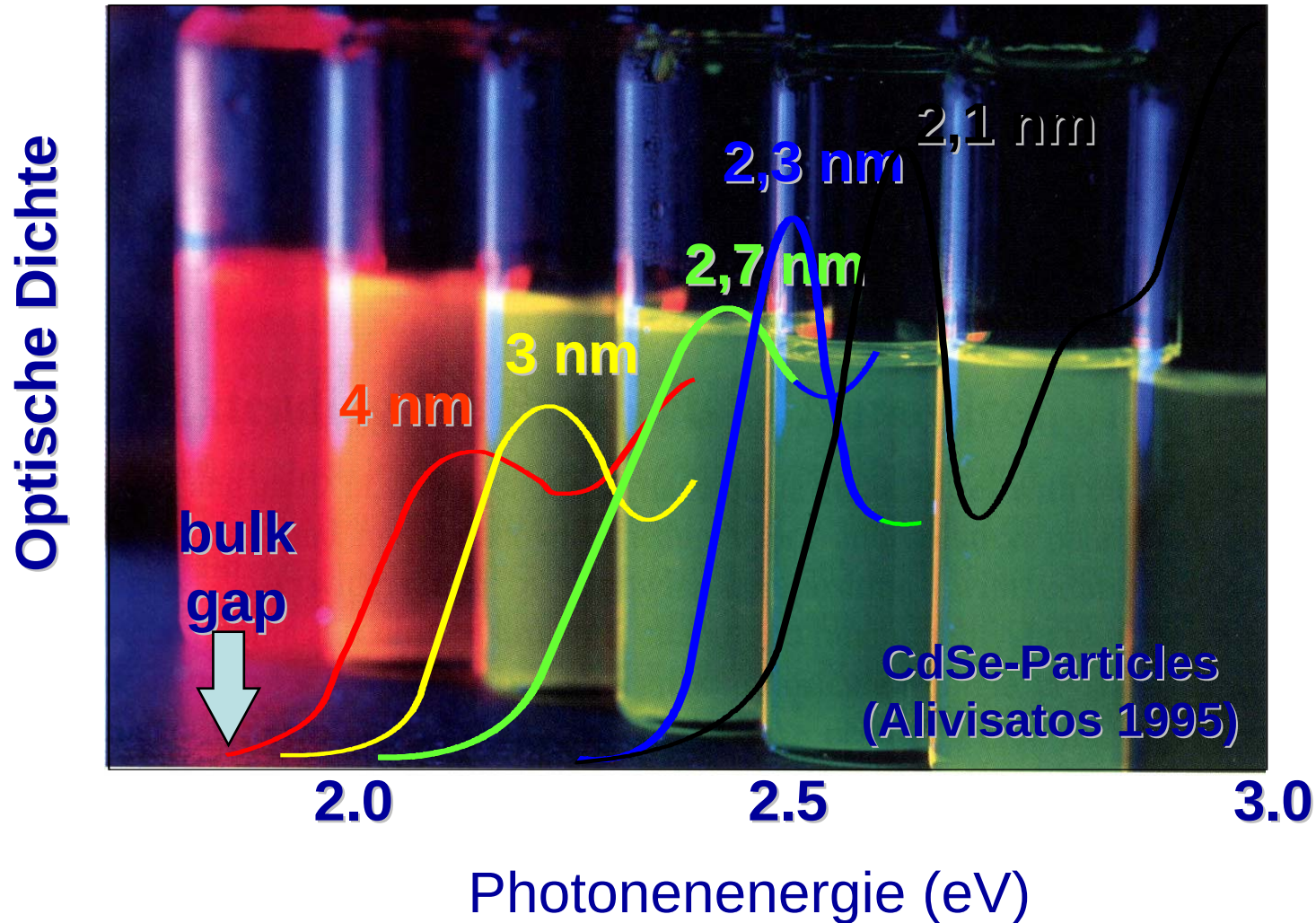
(Courtesy, IBM)

„eingesperrte Teilchen“



- Eigenschaften werden  
größenabhängig !

# Quantenphänomenen



# Quantenphänomenen



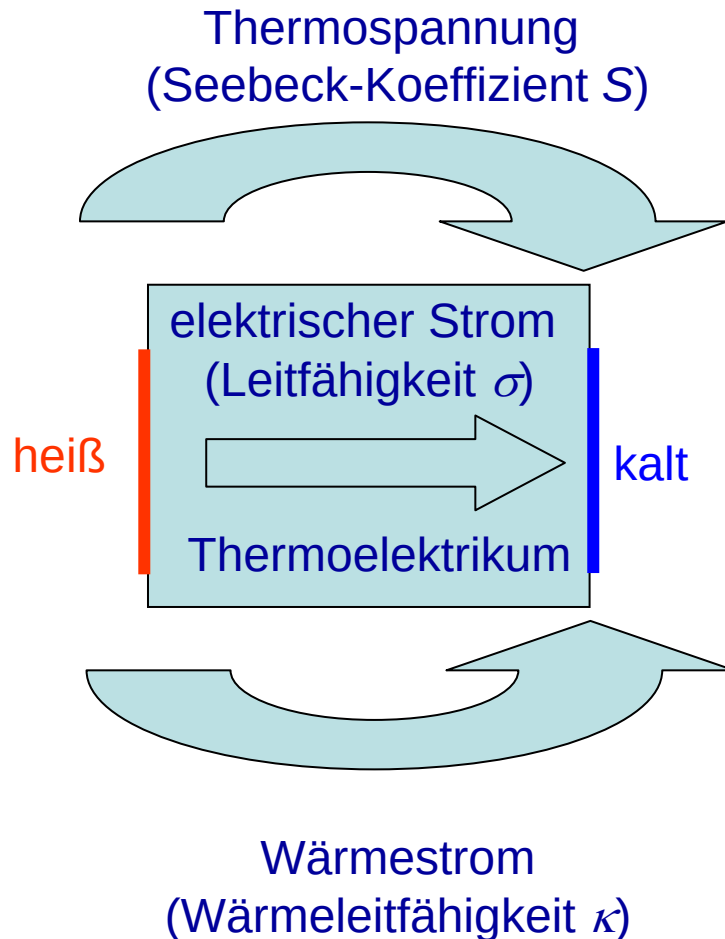
Siliziumpulver (mikrokristallin)

Siliziumpulver  
(nanokristallin)



(H. Wiggers /IVG)

# Thermoelektrika



Gütezahl:

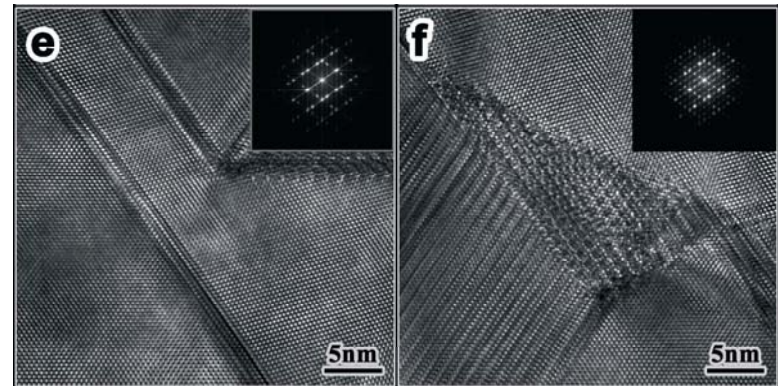
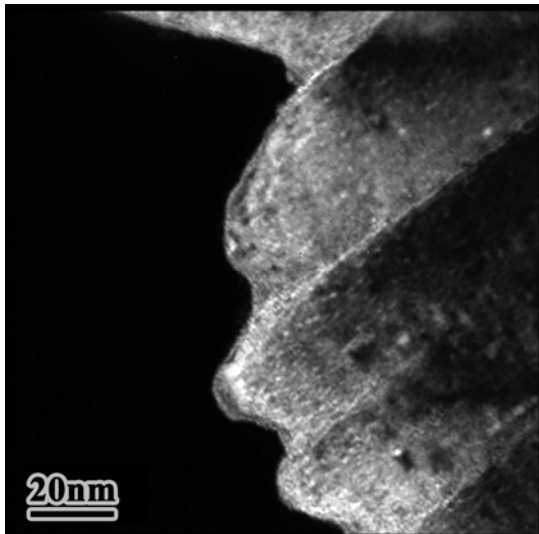
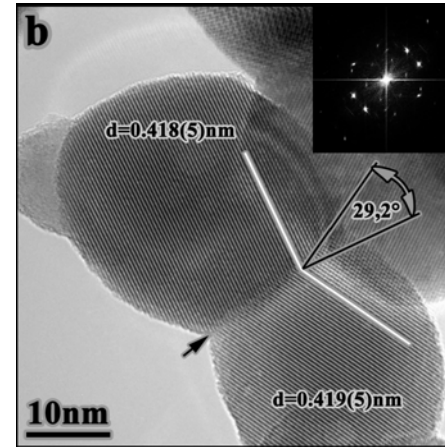
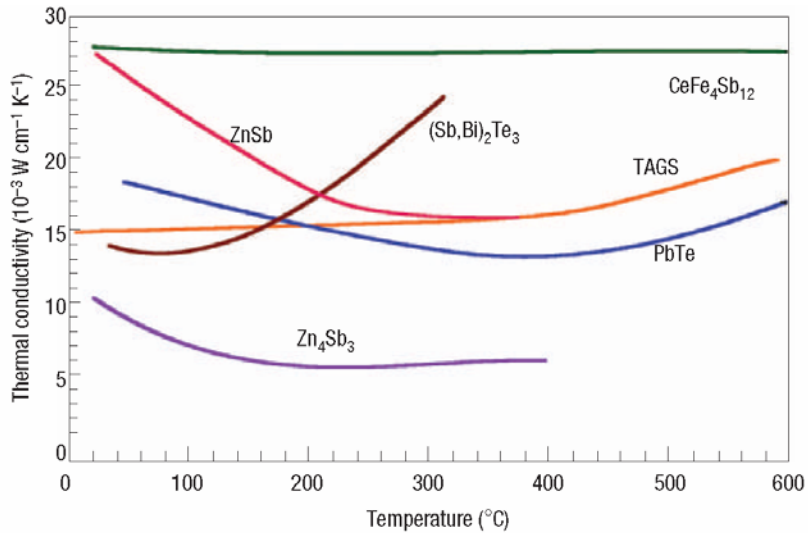
$$Z = \frac{S^2 \sigma}{\kappa}$$

- Entkopplung von Wärmeleitfähigkeit und elektrischer Leitfähigkeit

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

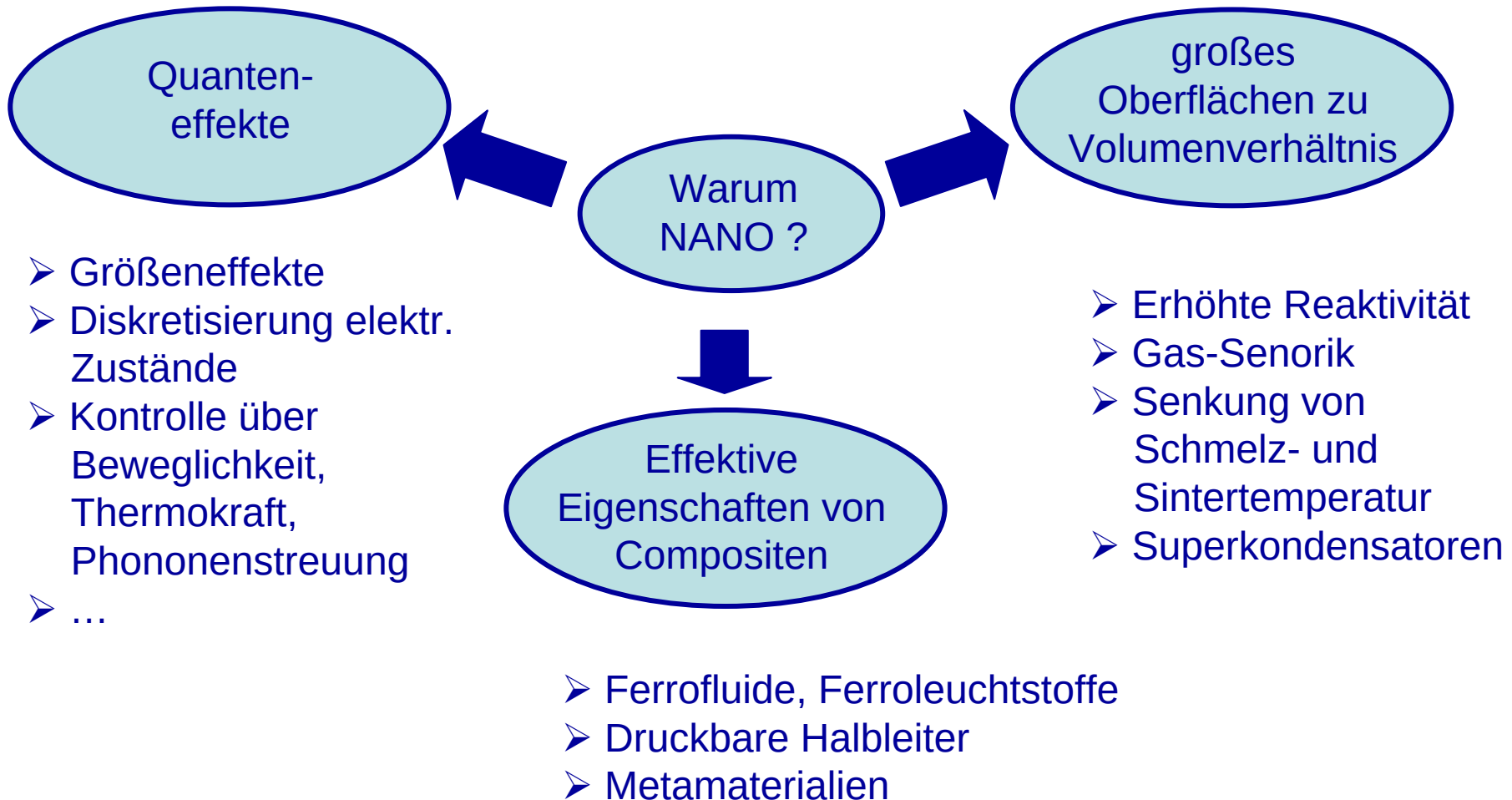
- Modifikation der Zustandsdichte

# Thermoelektrika



(Schierning, Theissmann / NST)

# Motivation



# Nano-Forschung an der Universität Duisburg-Essen

**SFB  
445**



Nanopartikel aus der Gasphase



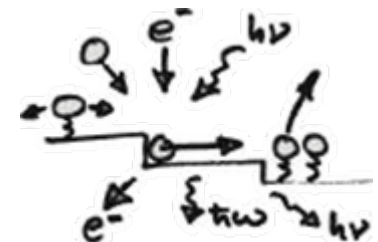
Magnetische Heterostrukturen



**Graduiertenkolleg 1240 / 1  
Nanotronics**

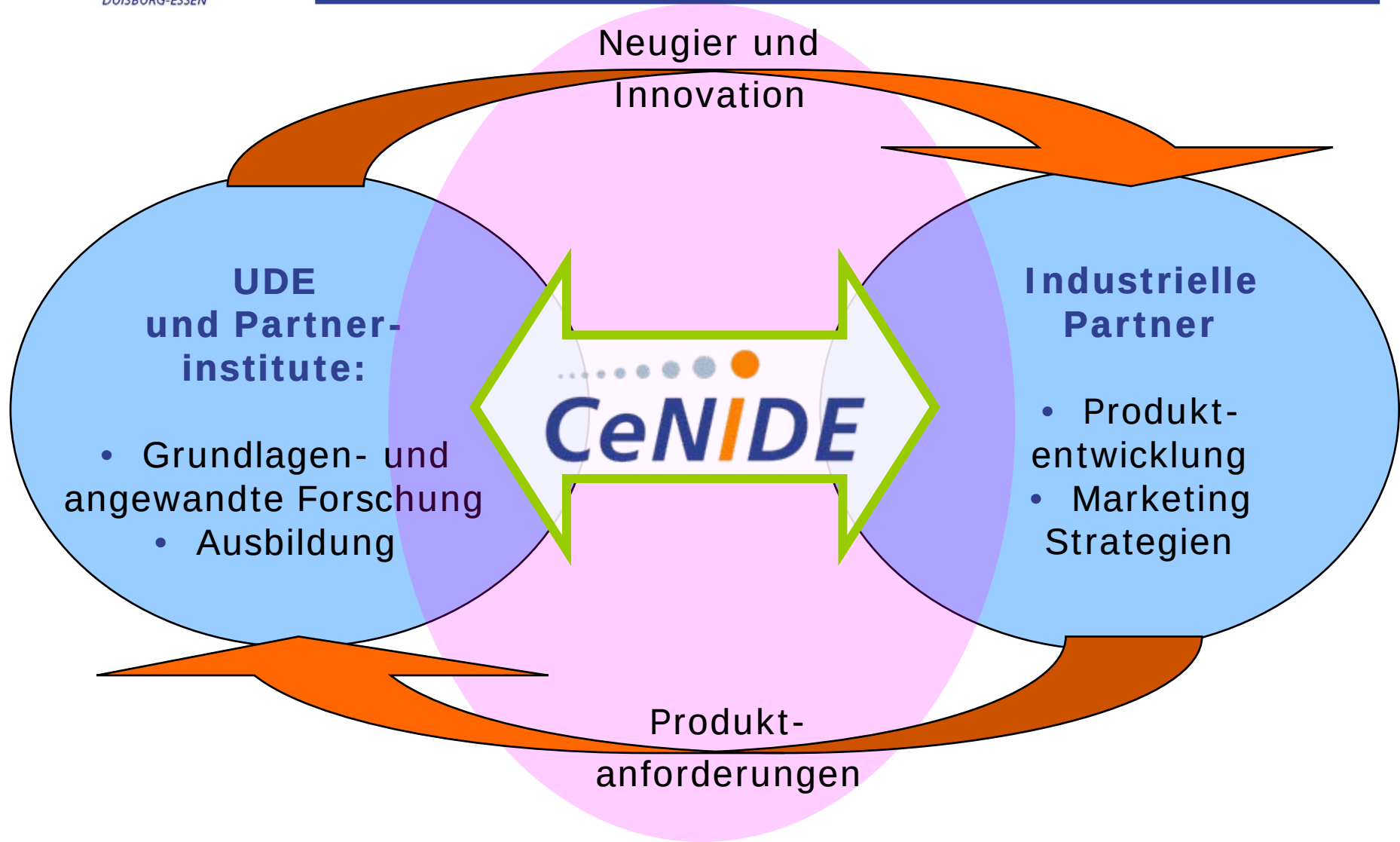
Photovoltaic und Optoelektronik  
auf der Basis von Nanopartikeln

**SFB  
616**



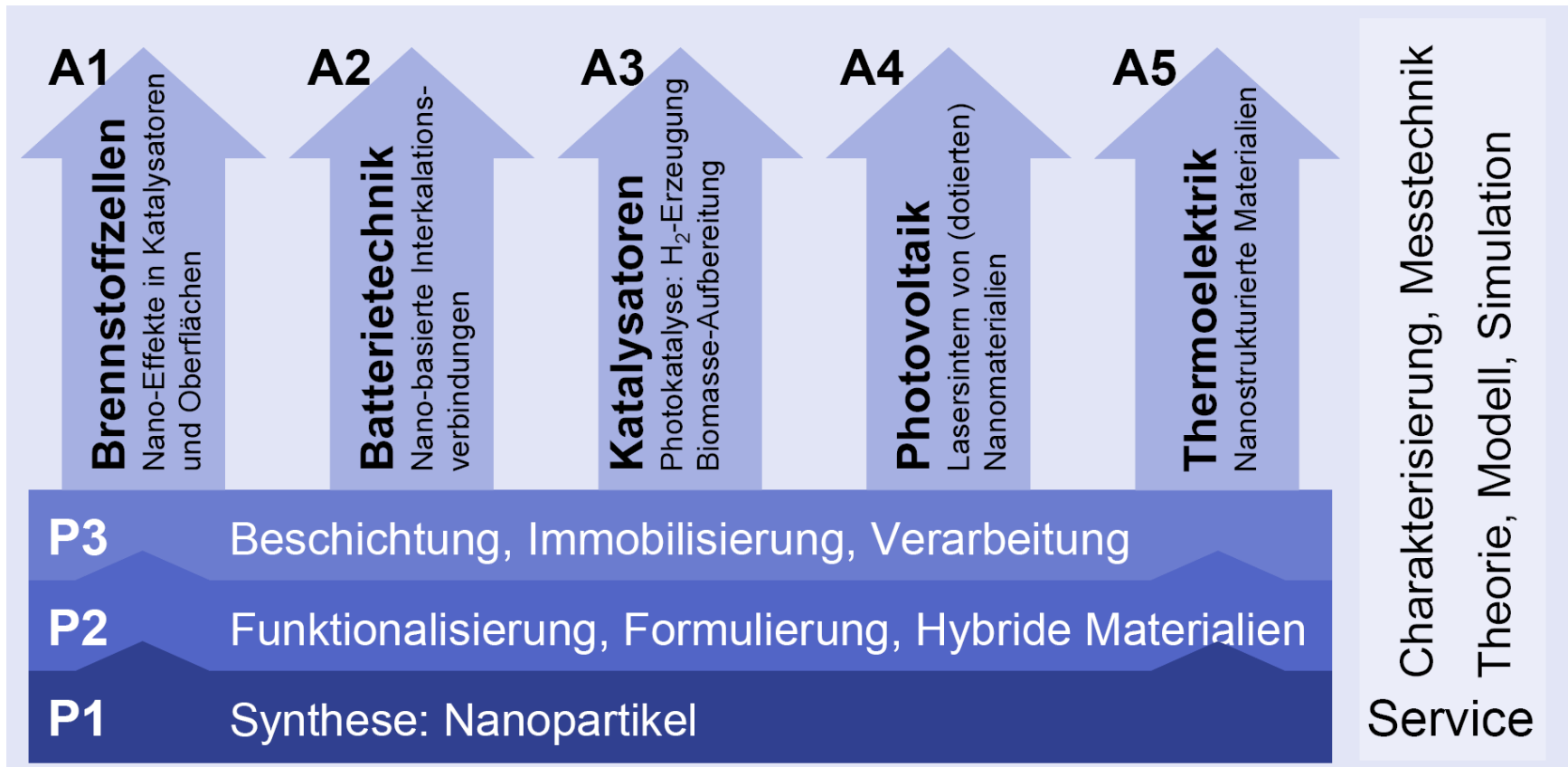
Dissipation an Oberflächen

# 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

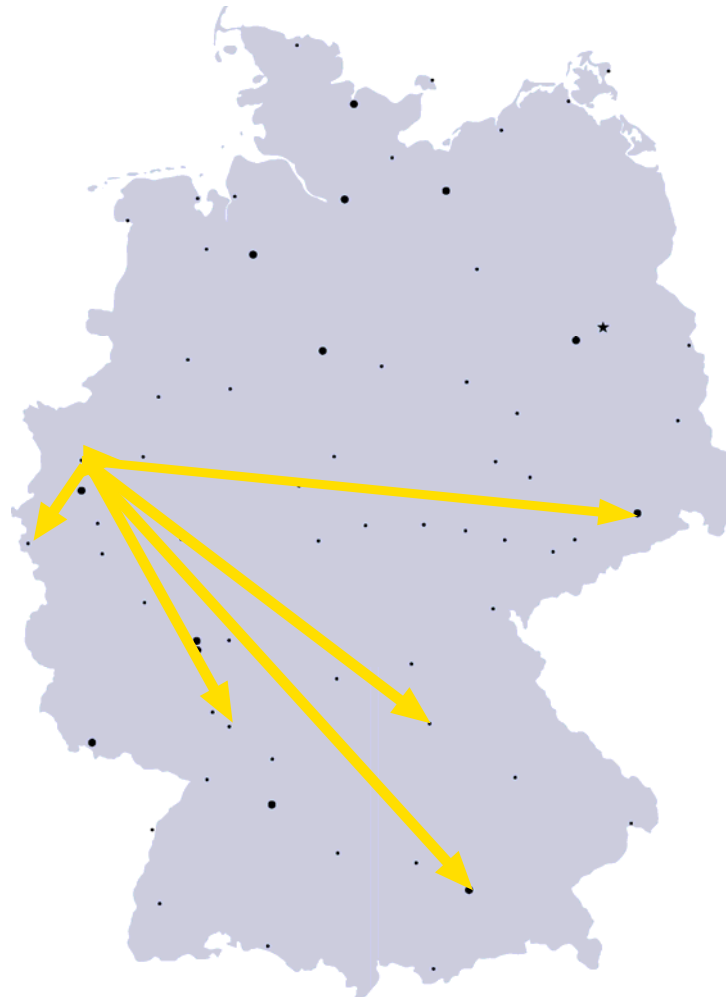
Fraunhofer IWS  
Dresden

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

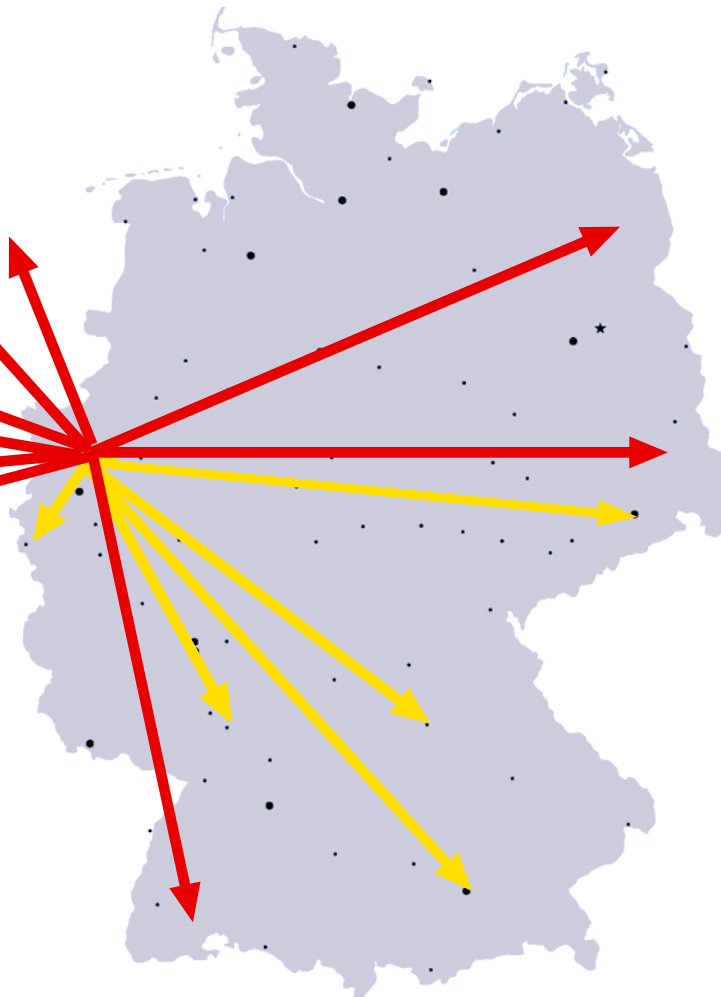
EMPA Ceramics  
Dübendorf, CH

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

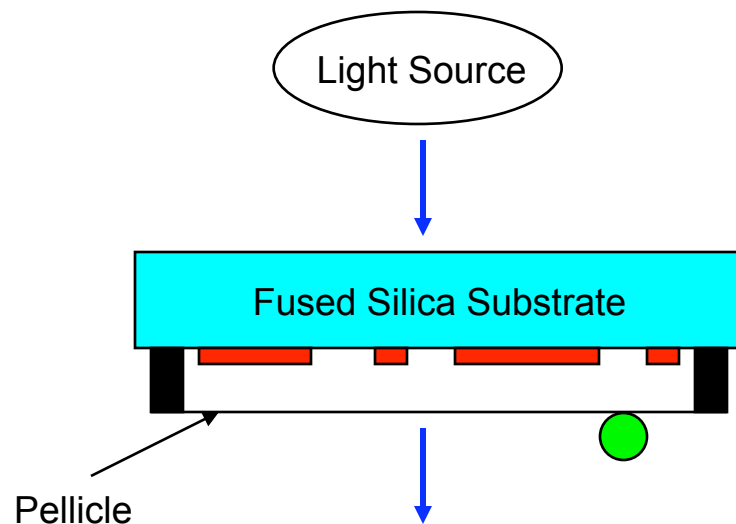
Distinguished McKnight University Professor  
LM Fingerson/TSI Inc Chair in Mechanical Engineering  
Director of the Particle Technology Laboratory  
University of Minnesota

# Outline

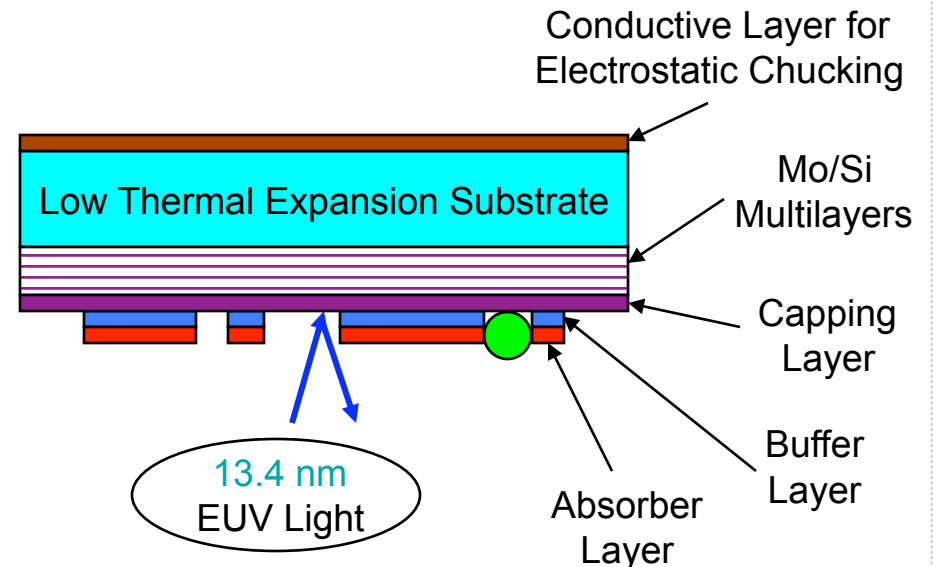
- Background and Motivation
- Protection Schemes for EUVL Masks
  - Carriers at Atmospheric Pressure
  - Scanners at below 100 mTorr
- Mask Deposition and AMC Issues – on-going investigation

# Background and Motivation

## Conventional Optical Lithography



## Extreme Ultraviolet Lithography

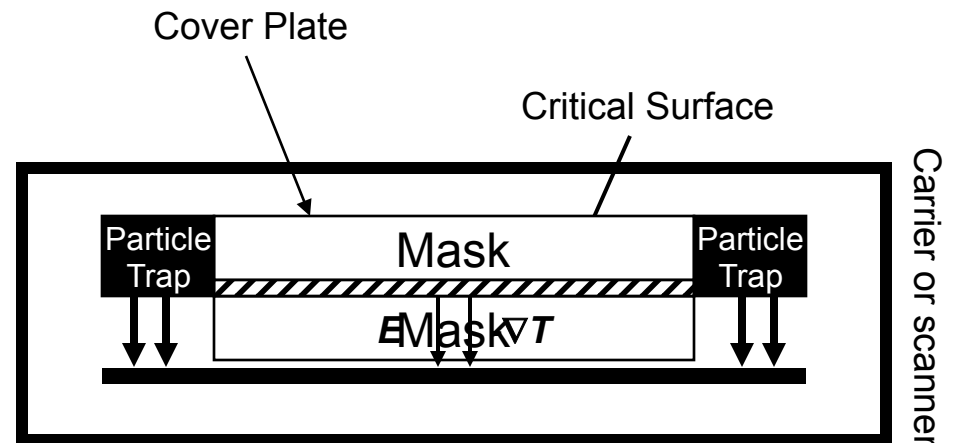


- Pellicles are unavailable for protecting the EUVL masks due to high absorption of EUV beam in most solid materials
- EUVL masks need to be protected against all particles > about 20 nm

# 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**

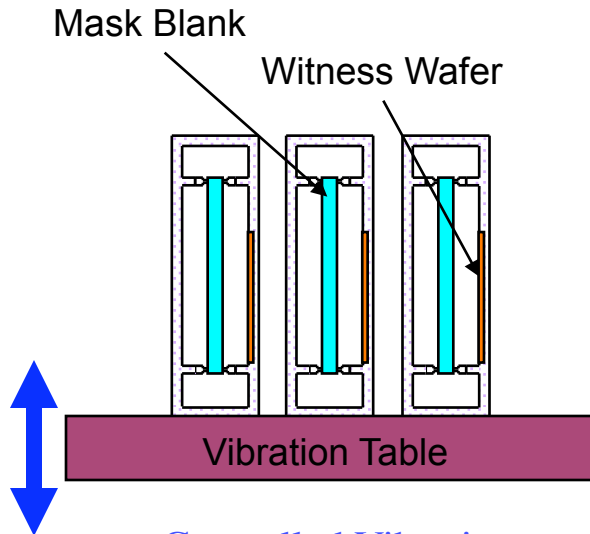
1. Asbach, C., Kim, J. H., Yook, S. J., Pui, D. Y. H., and Fissan H. (2005) Modeling of protection schemes for critical surfaces under low pressure conditions: comparison of analytical and numerical approach. *Journal of Vacuum Science & Technology B* **23(6)**: 2419-2426.
2. Asbach, C., Kim, J. H., 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 SiO<sub>2</sub> 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

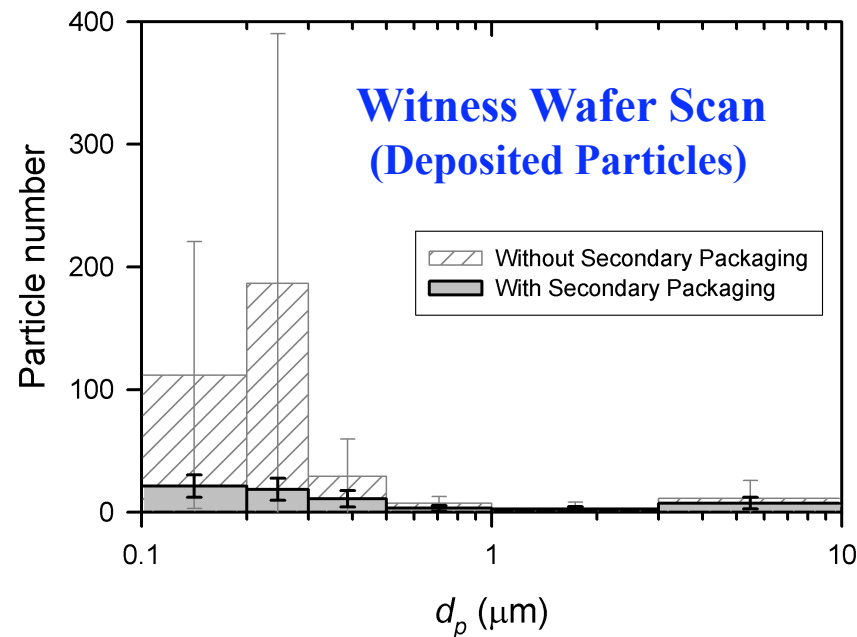
# Effect of Secondary Packaging



## Controlled Vibration

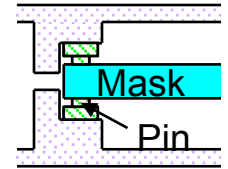
- ISTA Procedure 1G at  $1.15 G_{rms}$
- Vertical position
- Particle detection on 4" wafers

• This work was done in cooperation with Entegris.



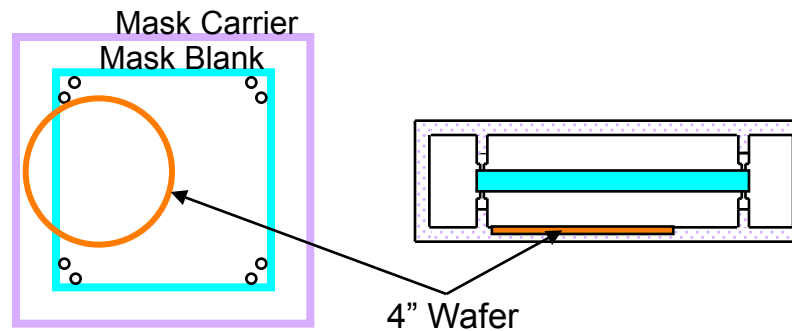
• Secondary packaging is helpful in reducing particle generation

# Particle Detection Methods



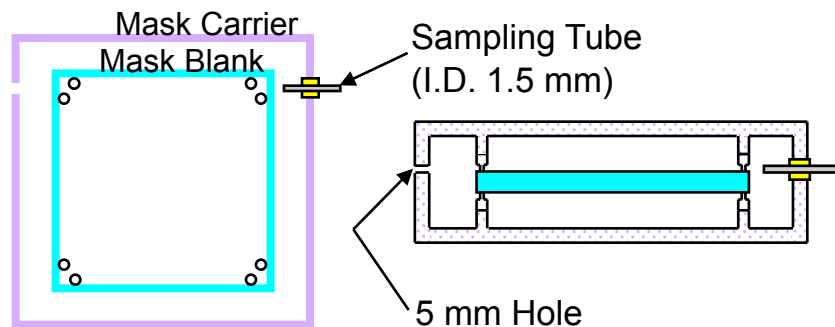
## ■ Surface particle detection

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

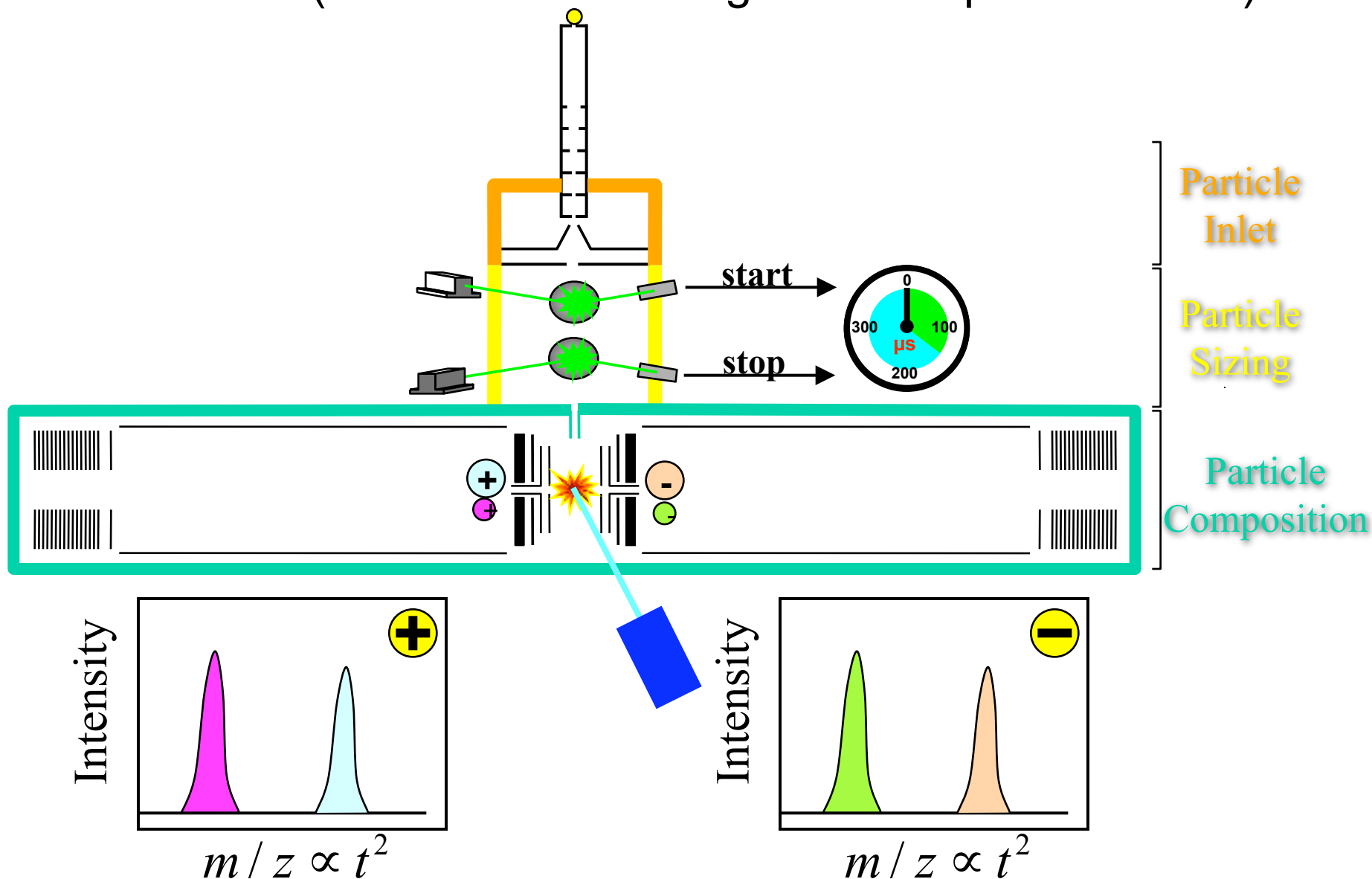


## ■ Airborne particle detection

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

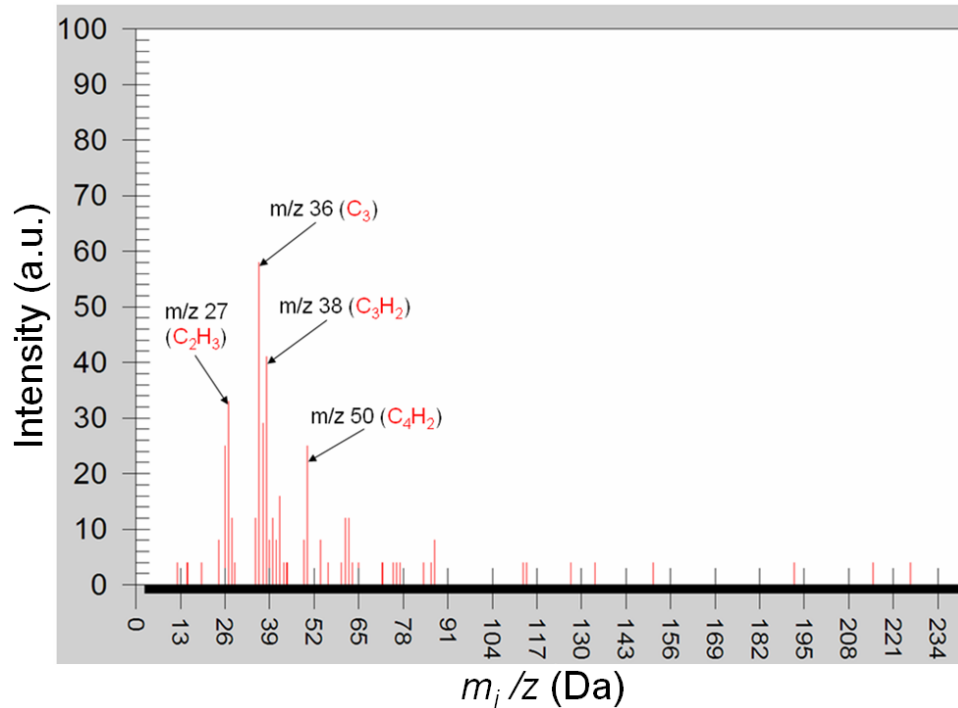


# ATOFMS (Aerosol Time-of-Flight Mass Spectrometers)



# Particle Source Identification

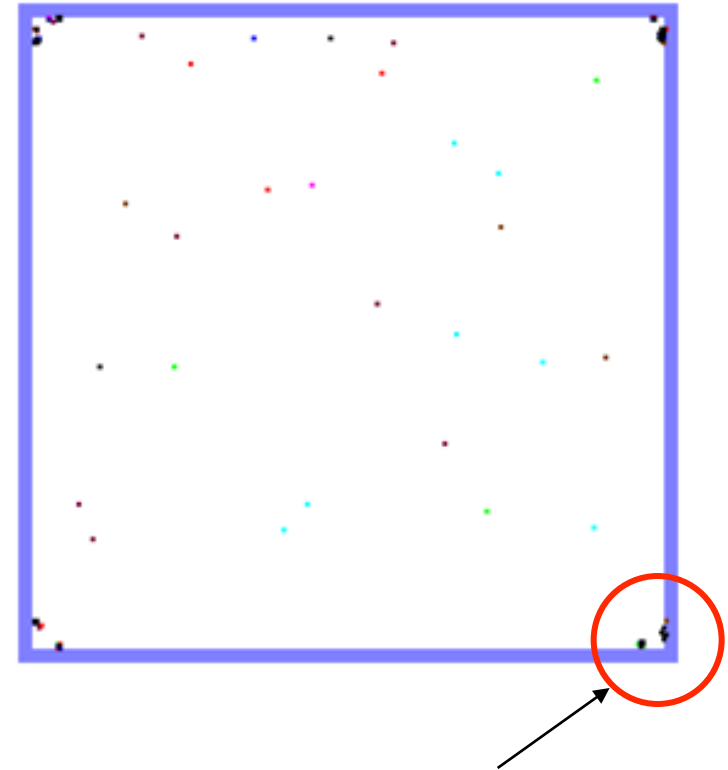
## ATOFMS



- Complex organic compound or mixture
- Possibly polymer

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

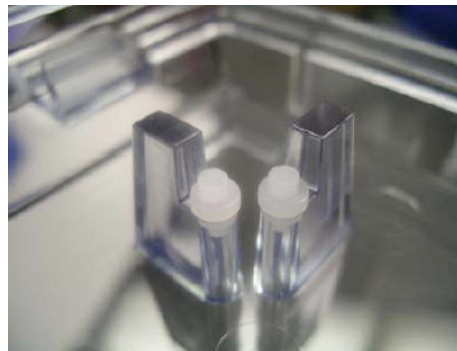
## Mask Scan



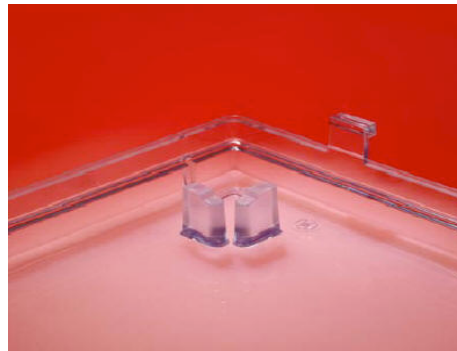
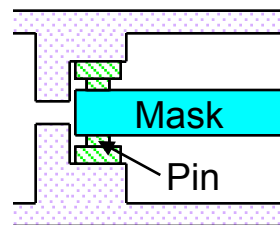
- Contact points between the mask surface and pins

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

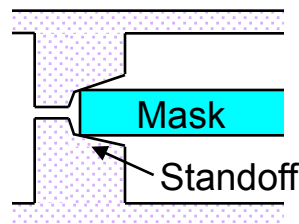
# Validation of Pozzetta Carrier Design on Particle Generation during Real Shipping



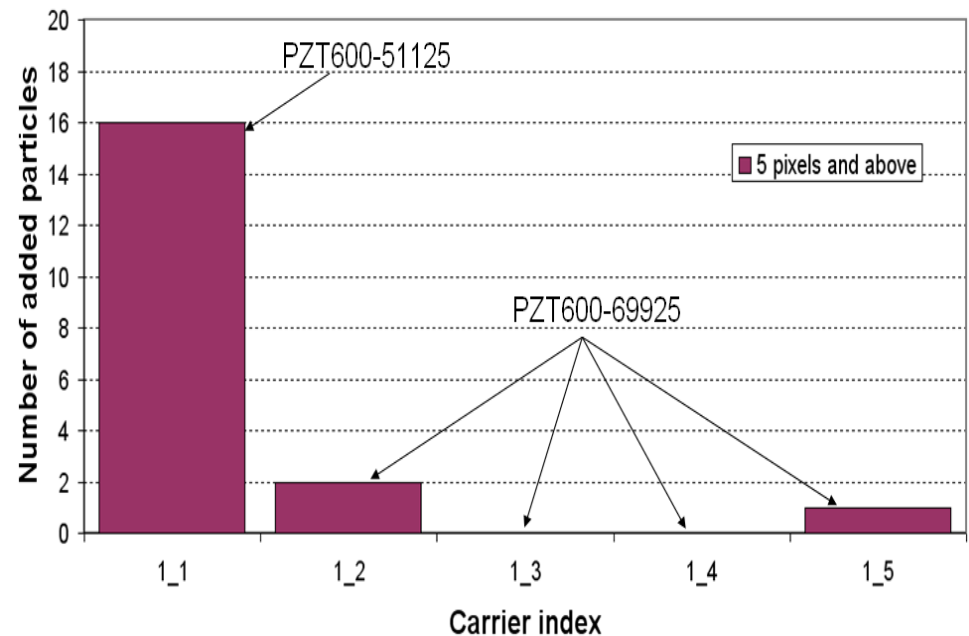
PZT600-51125



PZT600-69925



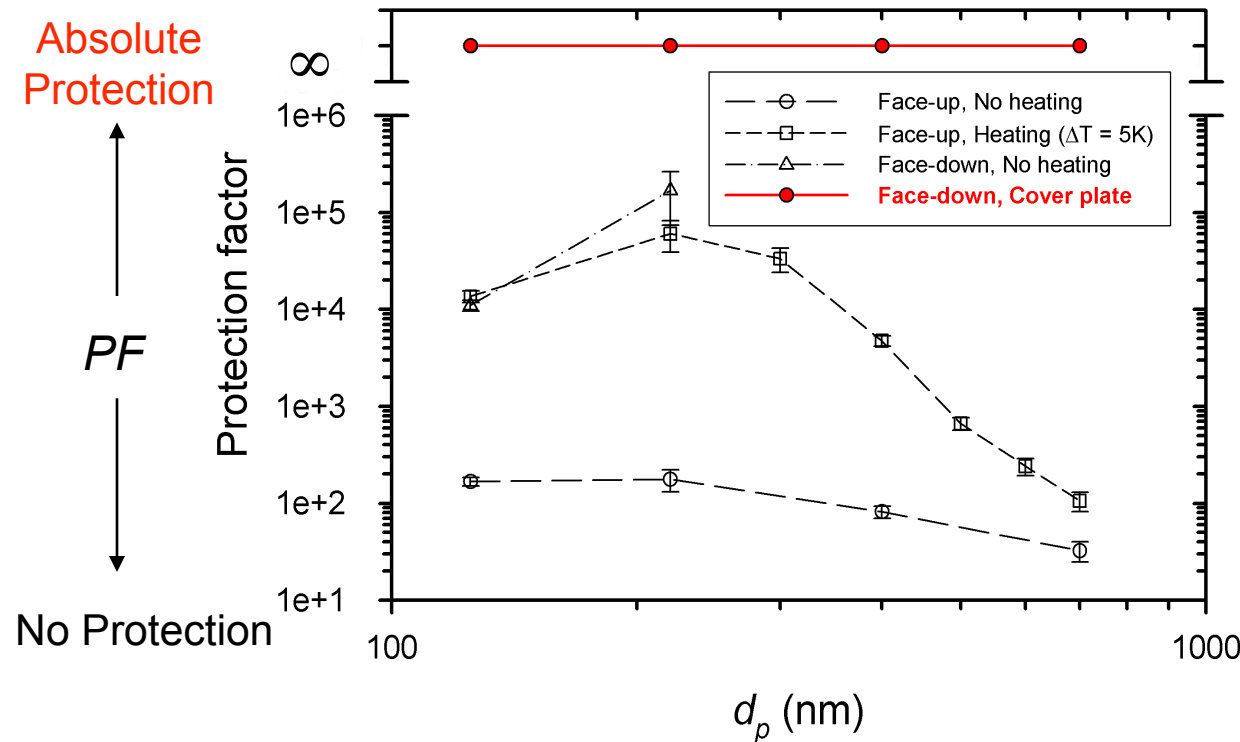
## Mask Scan



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

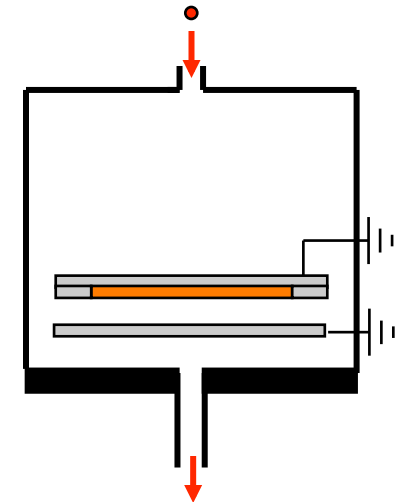
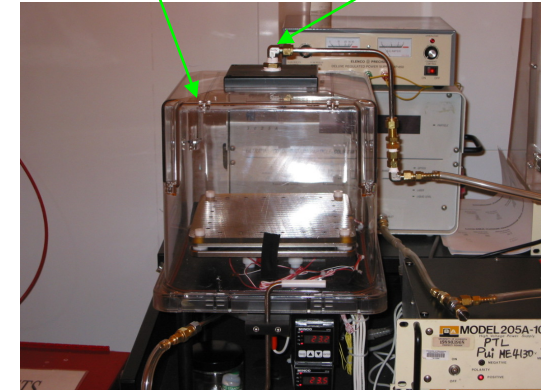
# Study of Various Protection Schemes inside a Carrier

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



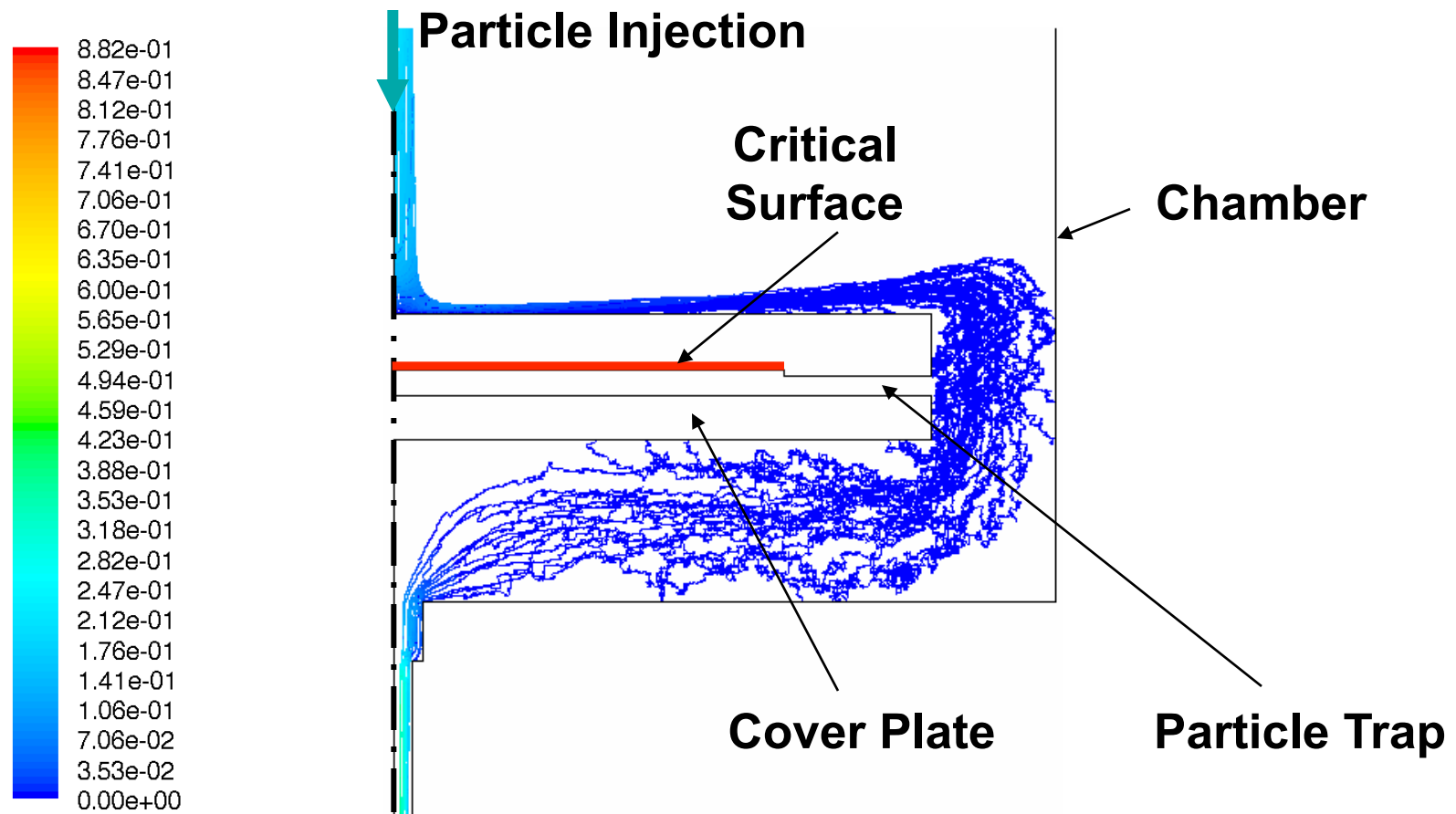
Yook et al., J. Aerosol Sci. 38:211-227 (2007).

Chamber Cover Top Injection



- 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)

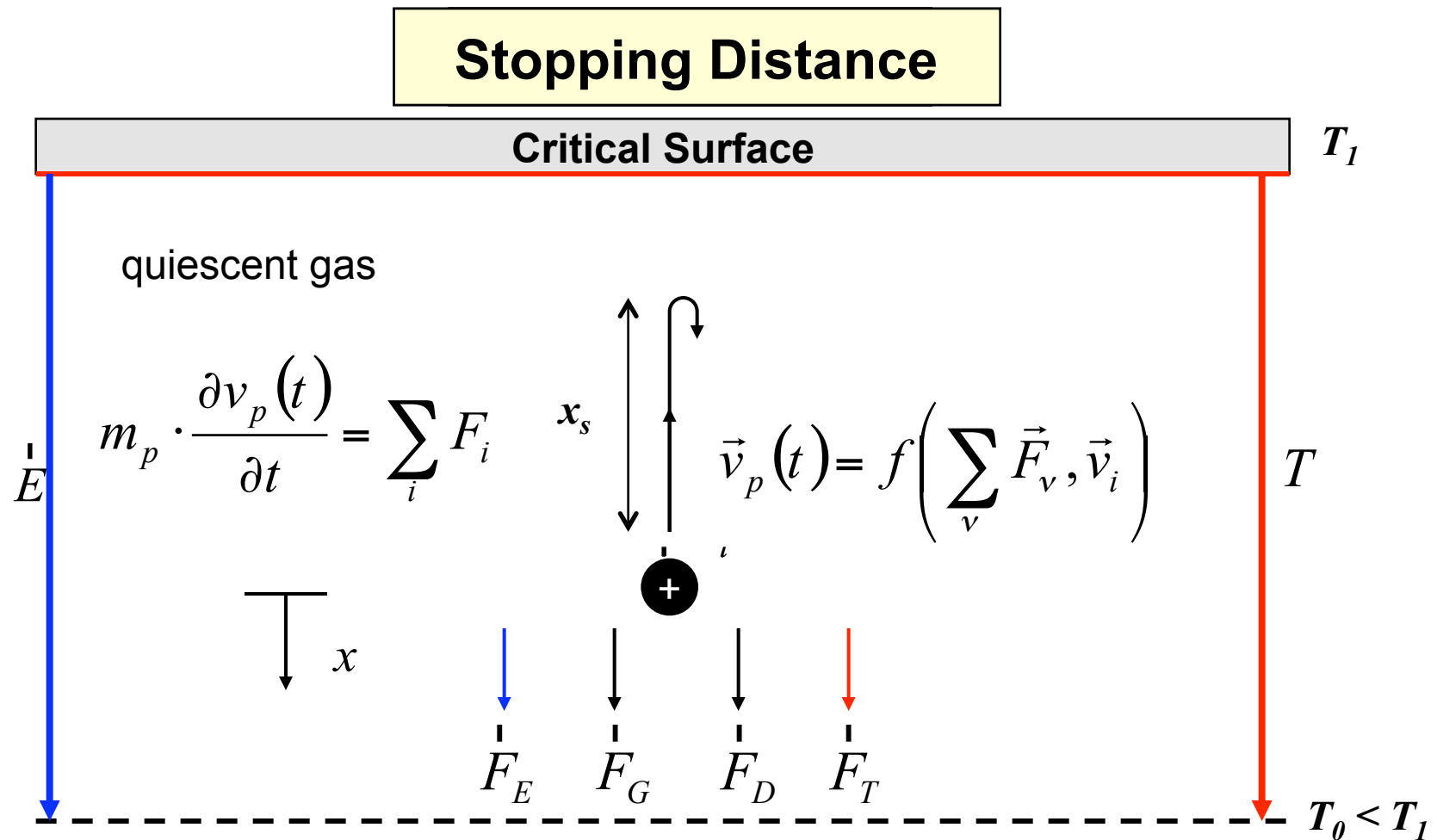
May 15, 2006  
FLUENT 6.2 (axi, dp, segregated, lam)

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

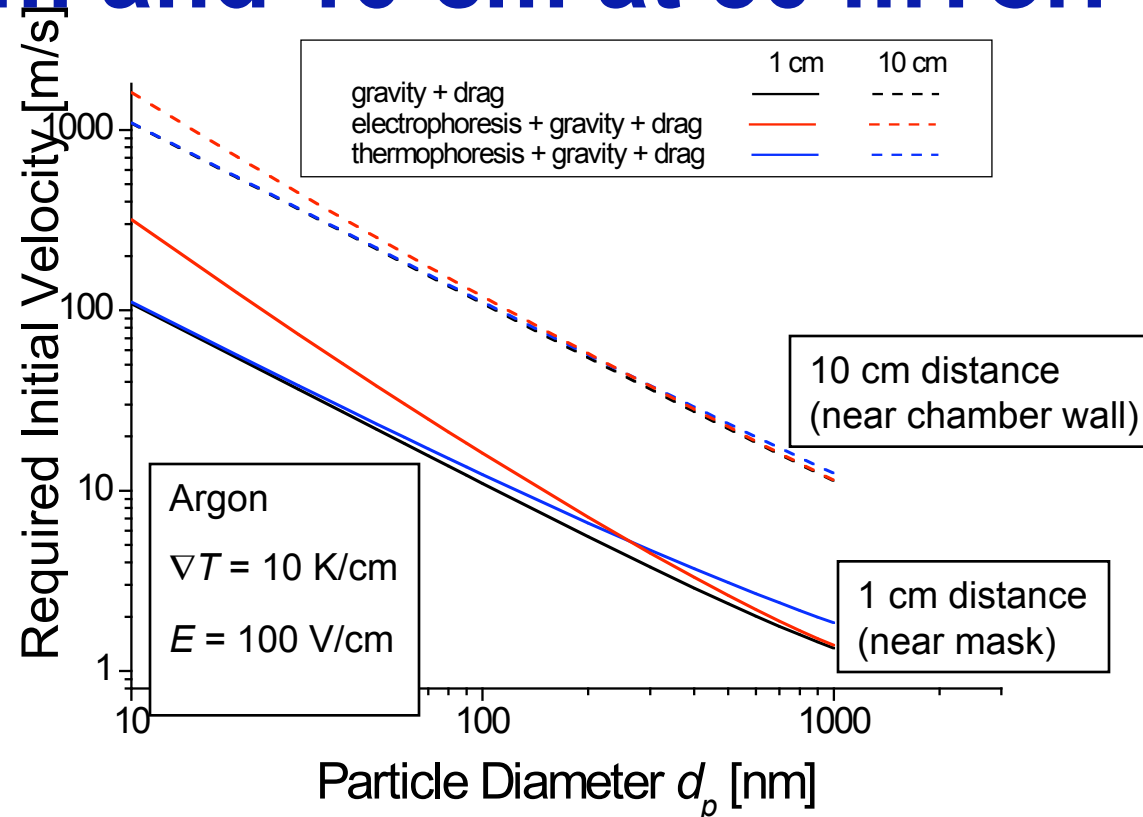
# Outline

- 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

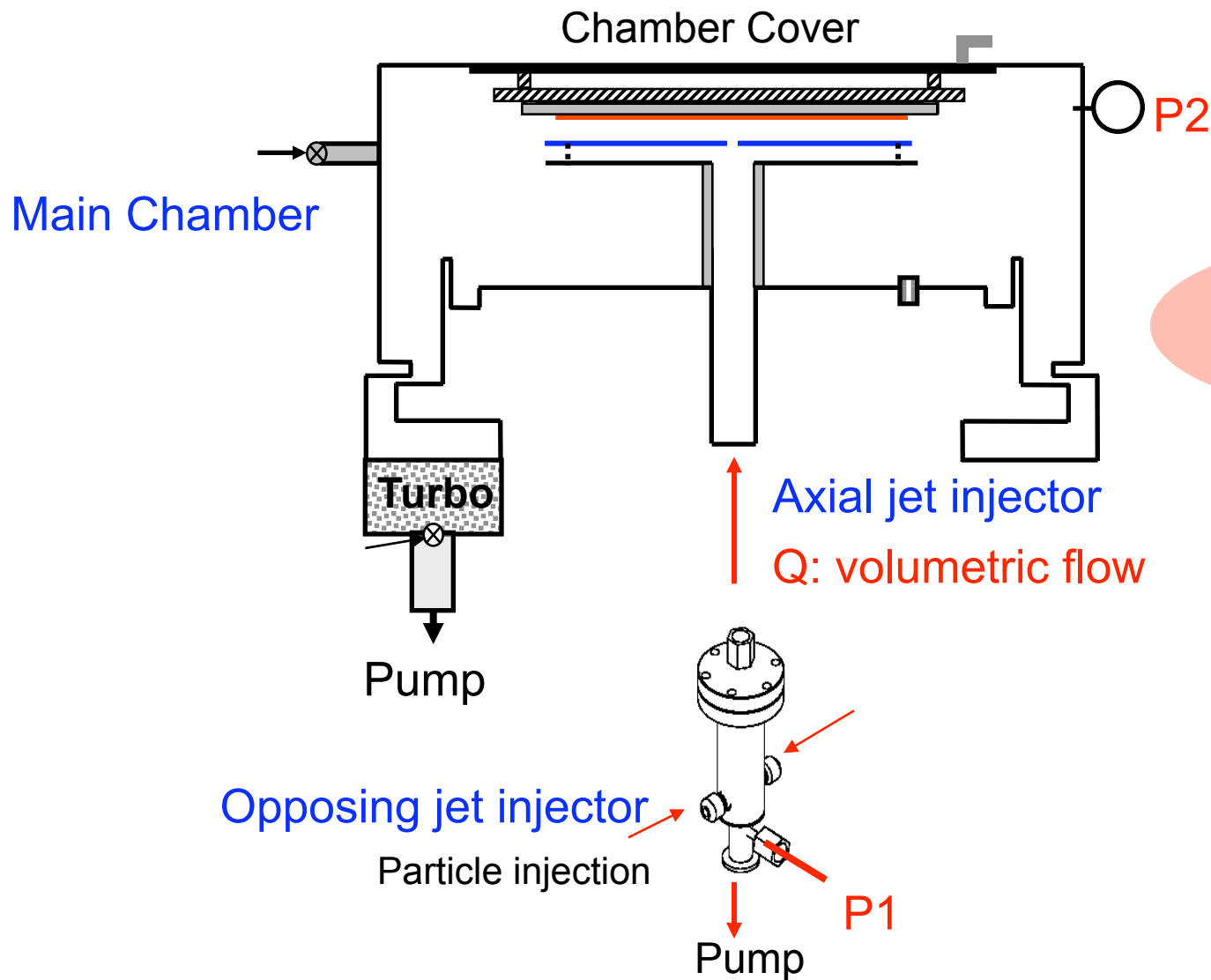


# Required Initial Velocities to Travel 1 cm and 10 cm at 50 mTorr



- 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.

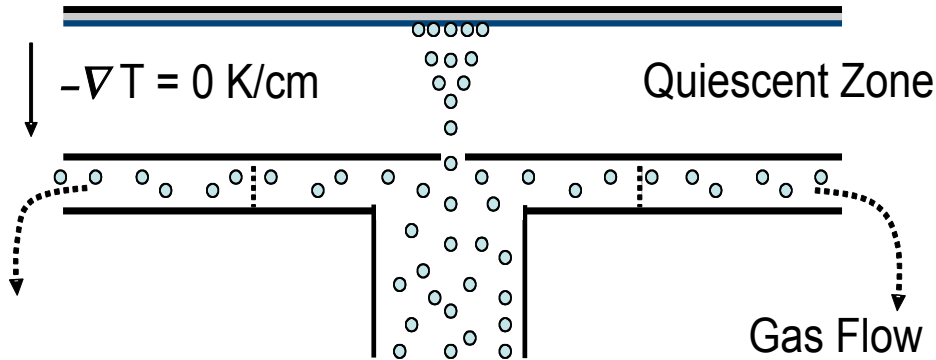
# Experimental Setup



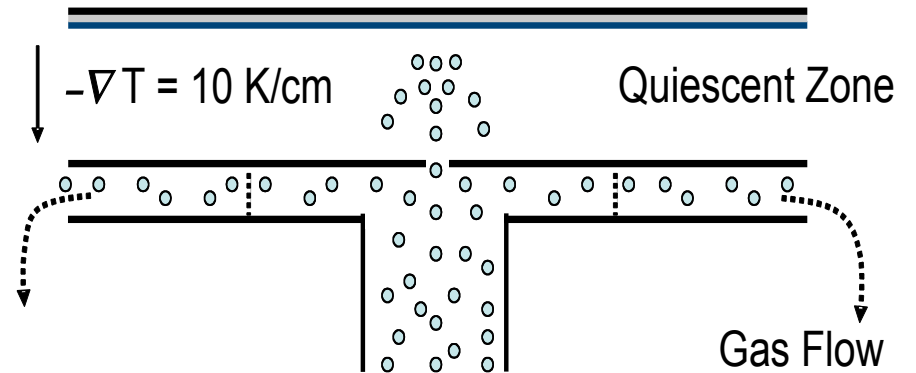
$$v_P = \frac{Q}{A} \cdot \frac{P_1}{P_2}$$

# Thermophoresis Test Set Up

No Gradient



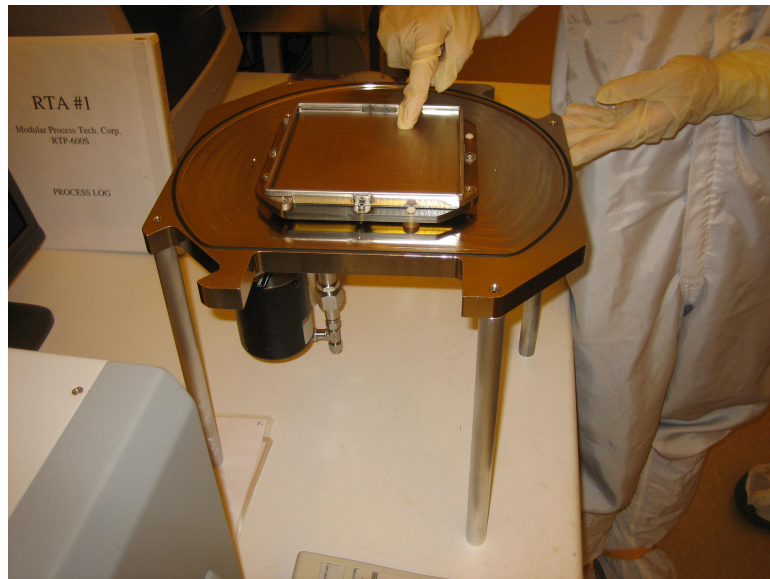
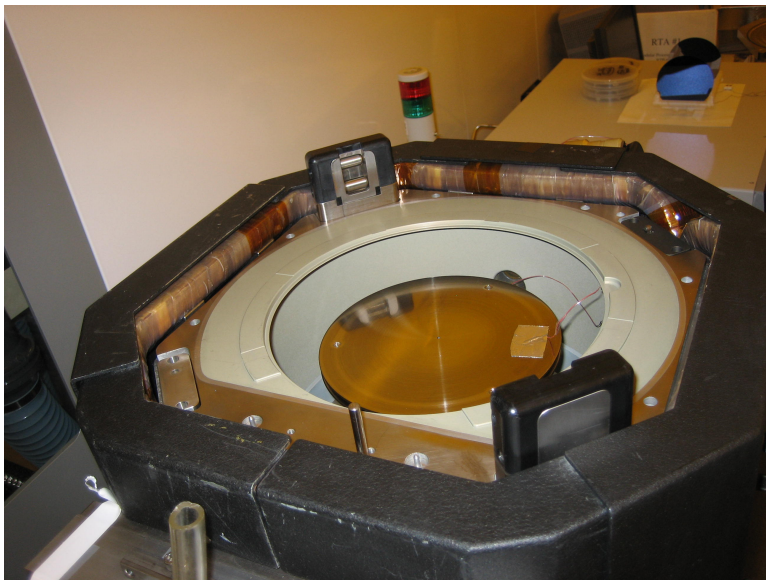
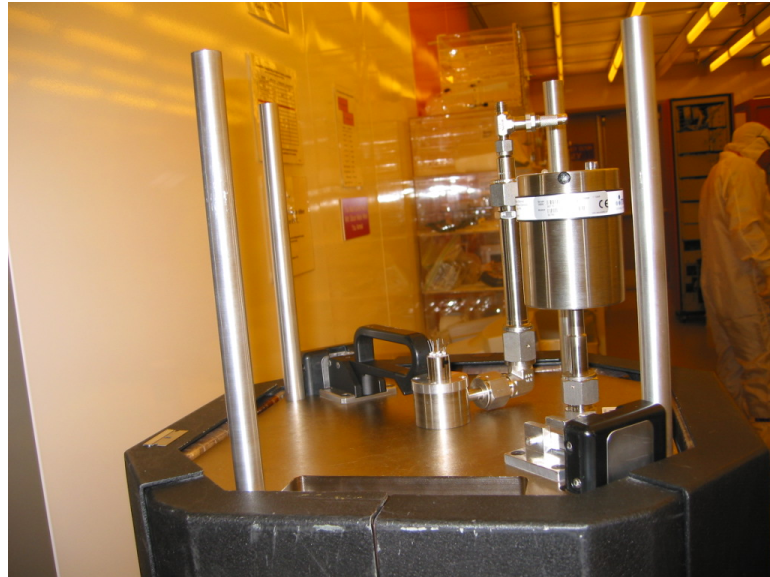
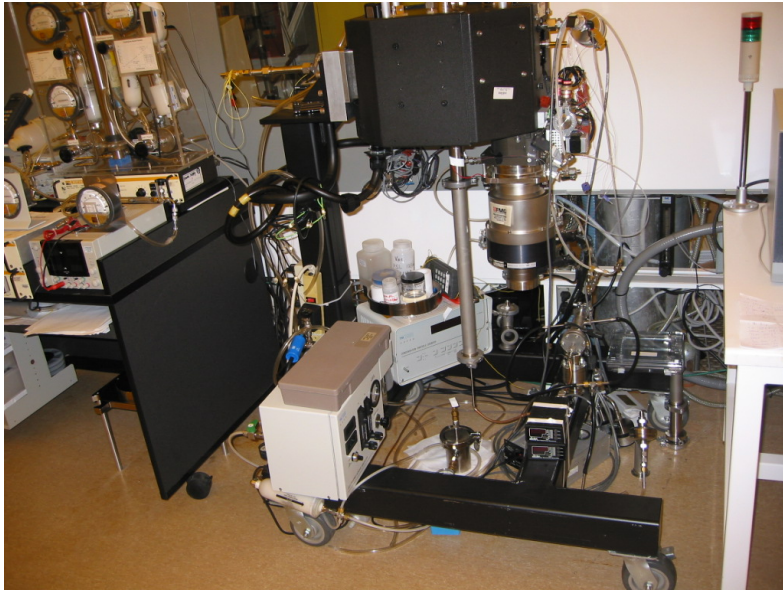
With Gradient



## Experimental cases:

$P$ : 100 mTorr, 50 mTorr  
 $\nabla T$ : 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

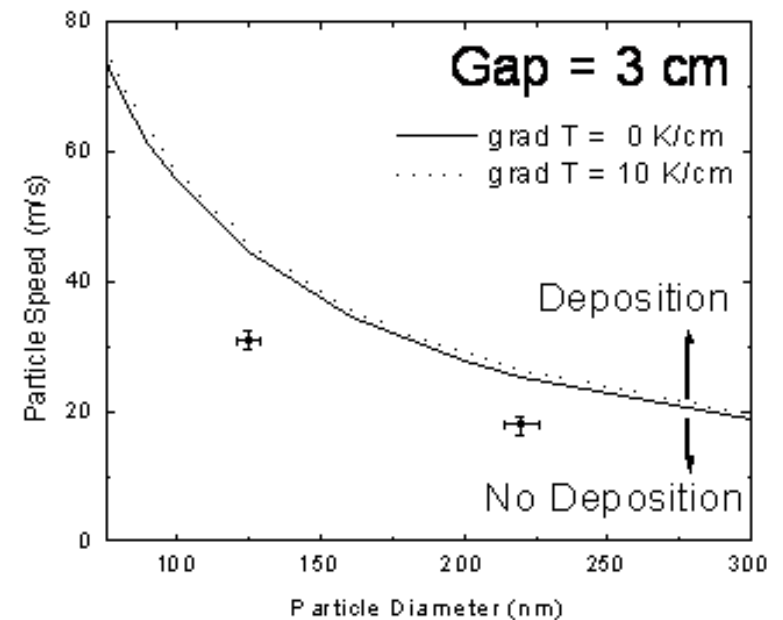
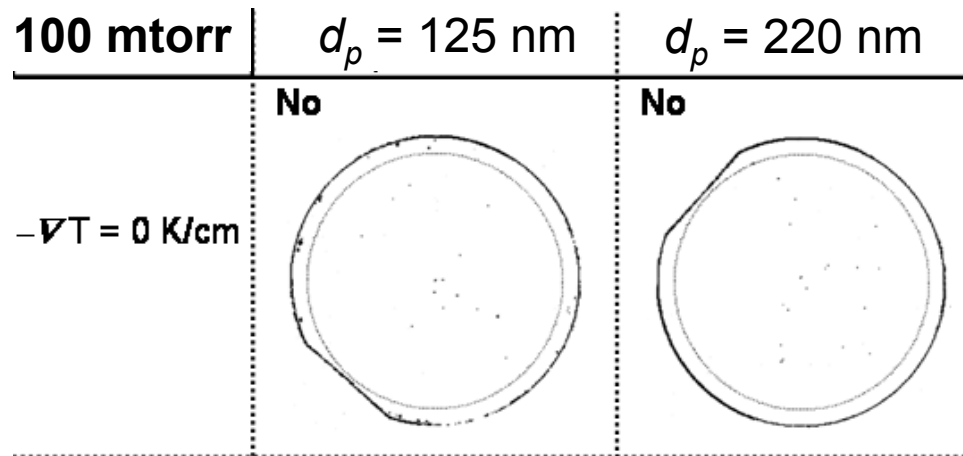
# Vacuum chamber



# Thermophoresis at 100 mTorr, 3 cm Gap

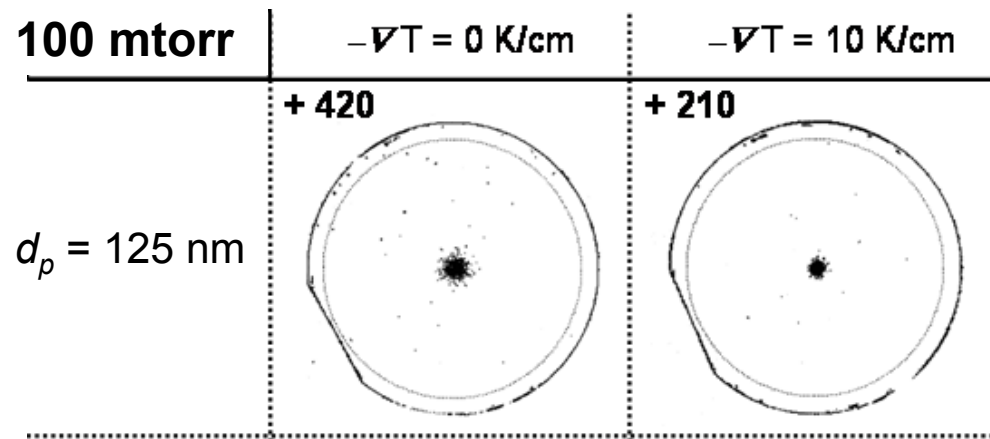
$v_p = 31$  m/s for 125 nm

$v_p = 18$  m/s for 220 nm



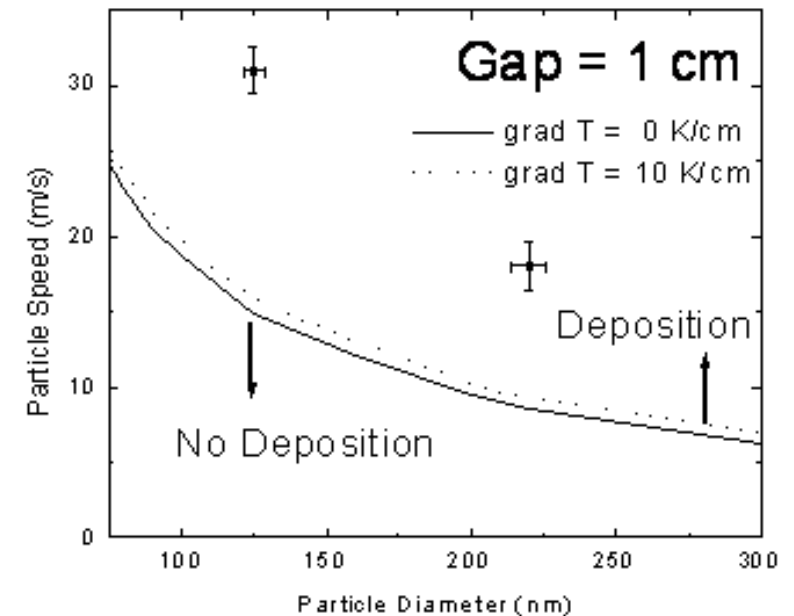
- No particles deposited as predicted by the analytical model.

# Thermophoresis at 100 mTorr, 1 cm Gap



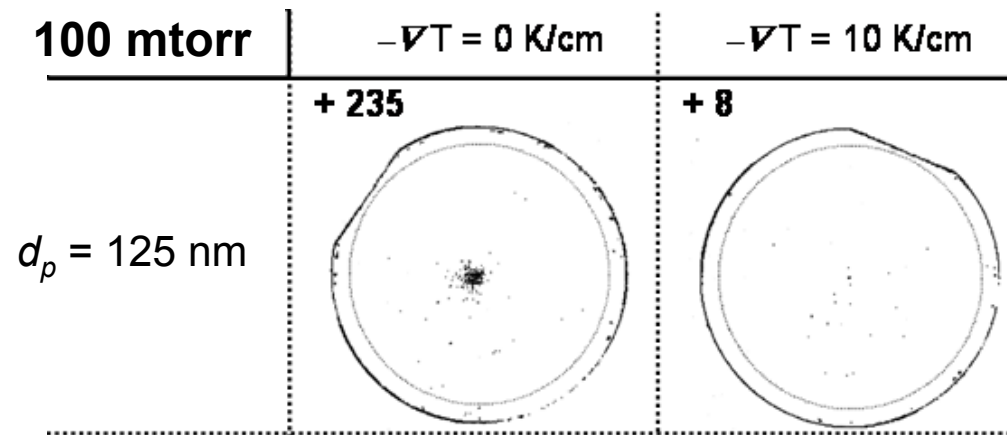
$v_p = 31 \text{ m/s}$  for 125 nm

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



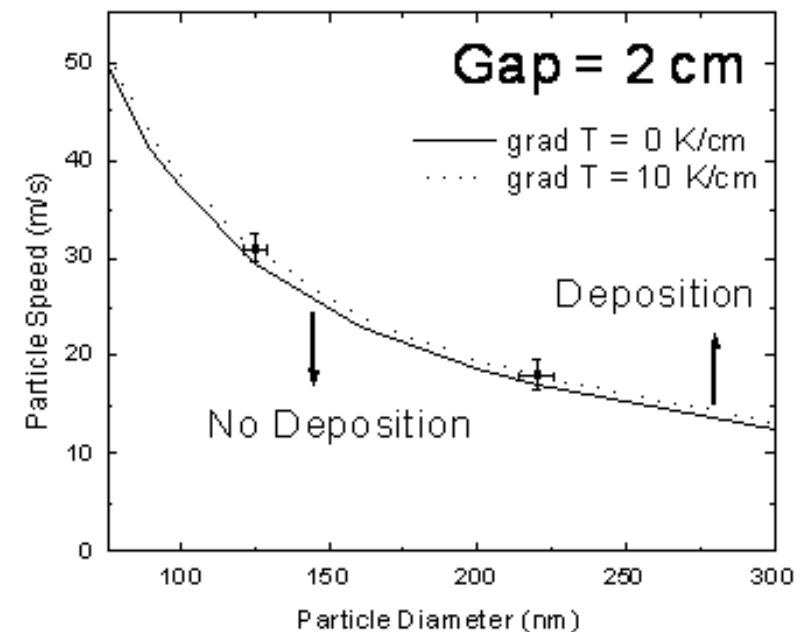
- Particles deposited as predicted. Evidence of bouncing and diffusion is seen.

# 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

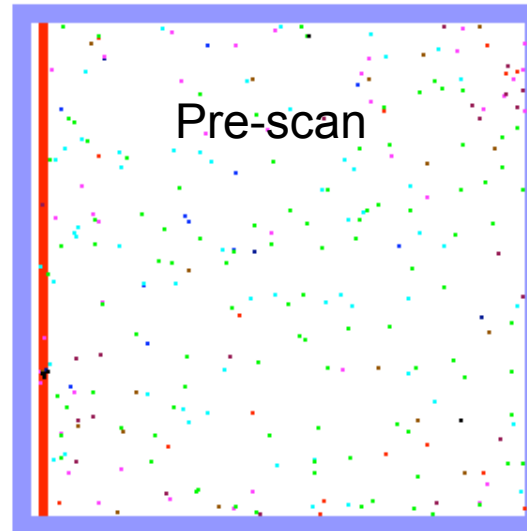
Flow rate = 0.075 lpm

Particle C = 600 p/cc

Testing time: 40 min

Particle speed: 24.2 m/s

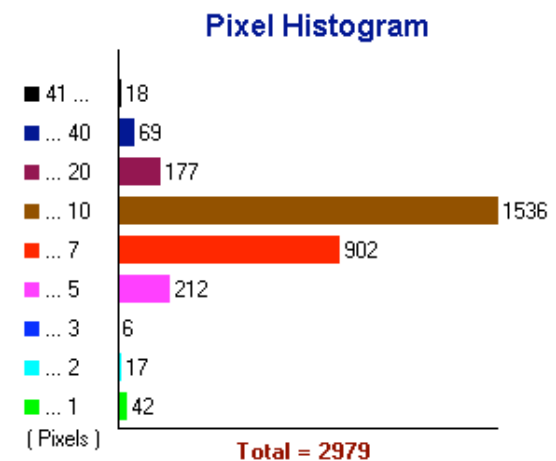
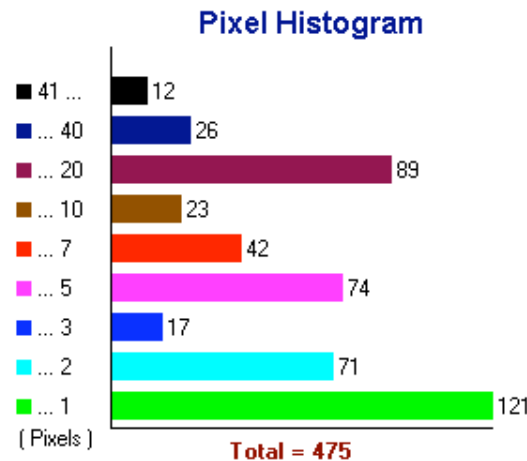
Critical speed: 13.304 m/s



Particles deposited  
in confined area

- 70 nm particles mainly correspond to 10 pixel particles.

- About 1500 10-pixel particles are added.



# Real Mask Deposition

## 50 mTorr, 70 nm, 0 K/cm

Main Chamber p = 50 mTorr

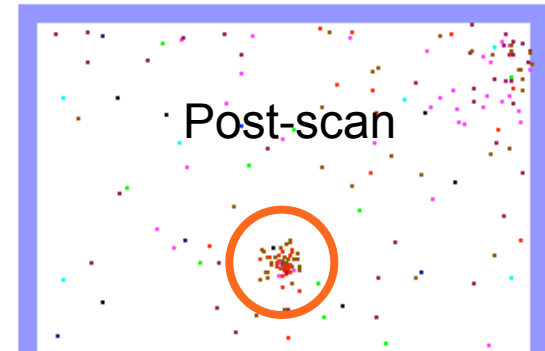
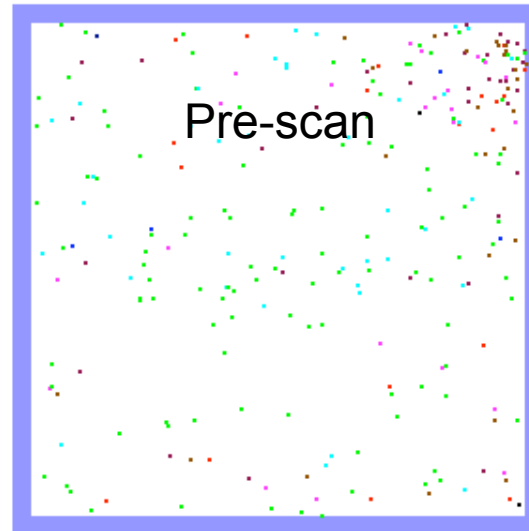
Flow rate = 0.075 lpm

Particle C = 330 p/cc

Testing time: 40 min

Particle speed: 9.0 m/s

Critical speed: 13.304 m/s

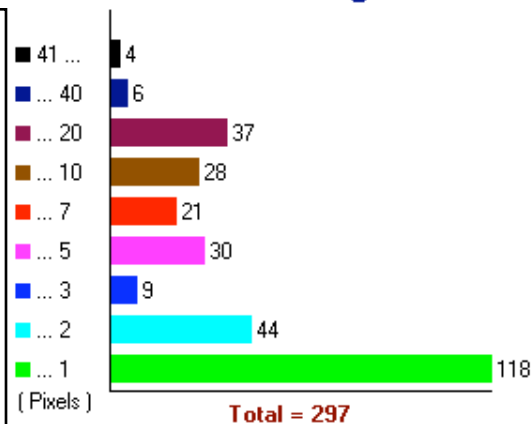


Enhanced diffusion  
obvious

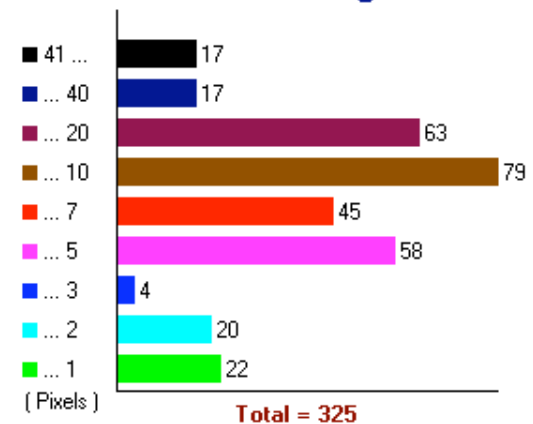
• About 50 10-pixel particles are added near the center.

• These particles first stop then diffuse to the mask surface. Small particles show strong diffusion effect.

Pixel Histogram

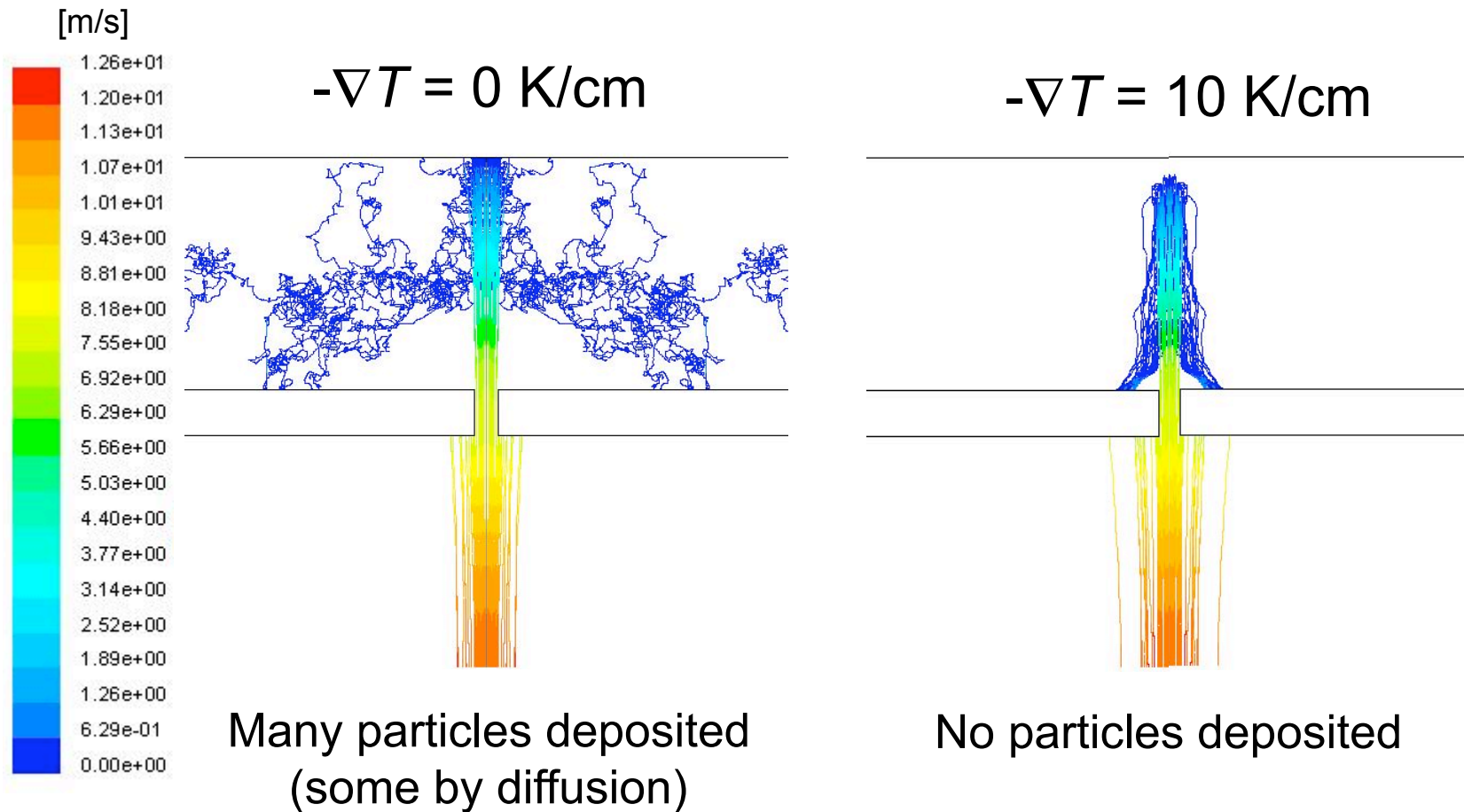


Pixel Histogram



# Simulations at 50 mTorr

## 125 nm, 1 cm Gap, $v_i = 6.5$ m/s



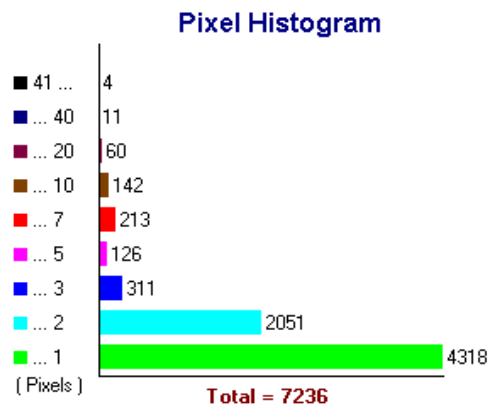
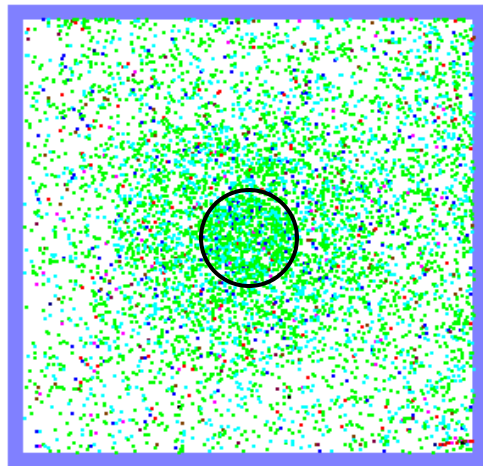
- Thermophoresis overcomes diffusion.

# Outline

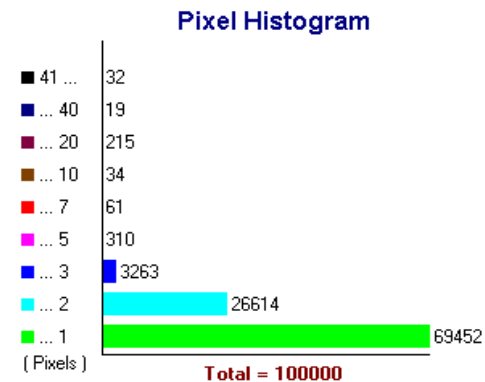
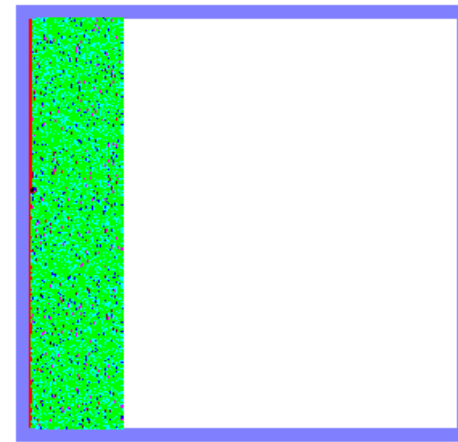
- Background and Motivation
- Protection Schemes for EUVL Masks
  - Carriers at Atmospheric Pressure
  - Scanners at below 100 mTorr
- **Mask Deposition and AMC Issues – on-going investigation**

# Haze Observed under Atmospheric and Vacuum Conditions

50nm SiO<sub>2</sub>. Target deposition area:  
1inch spot size at the center. Testing  
time: 2 min. (Atmospheric Pressure)

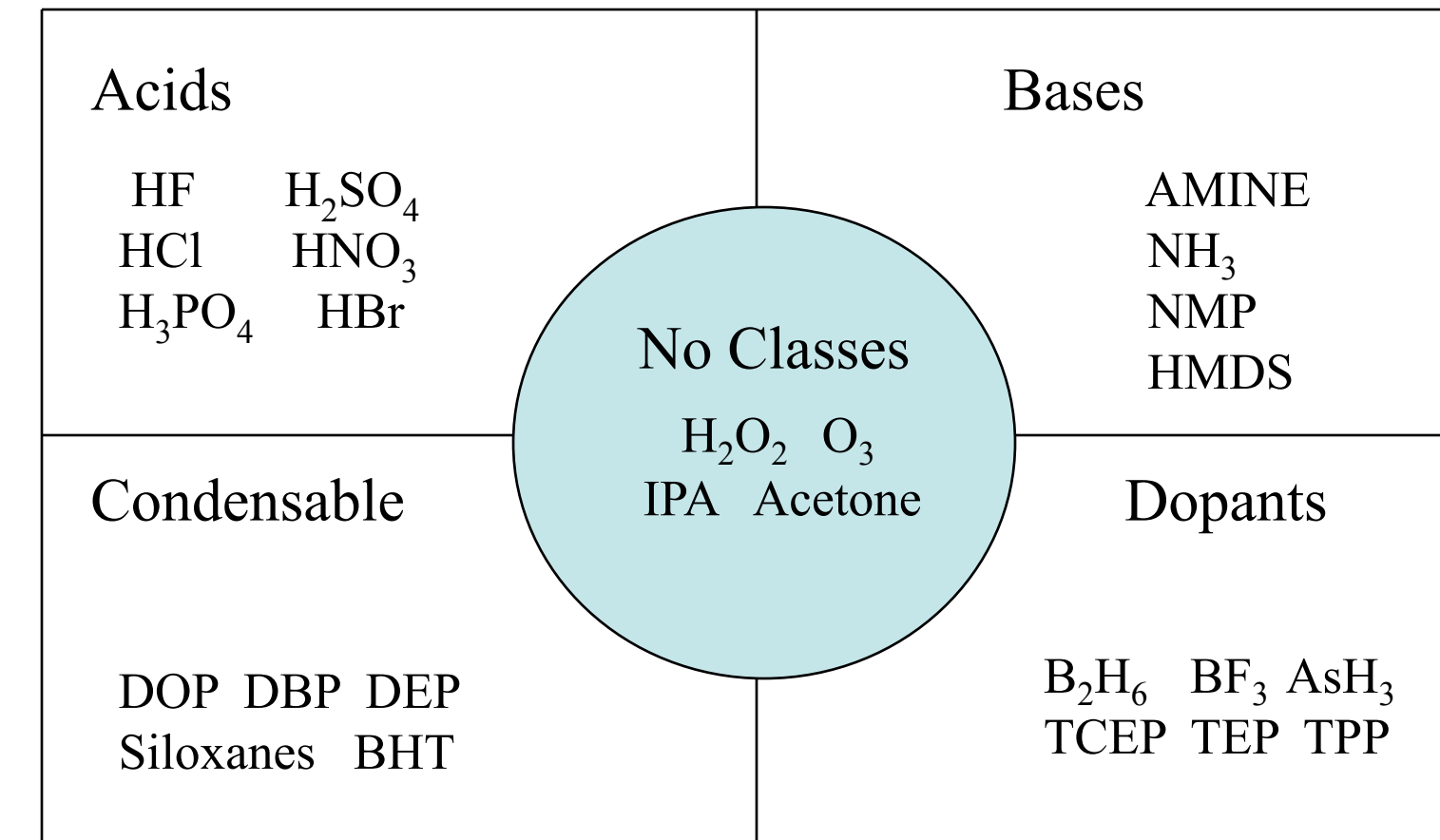


100 nm PSL particle. (Main Chamber p = 50 mTorr). Testing  
time: 1.5 hours



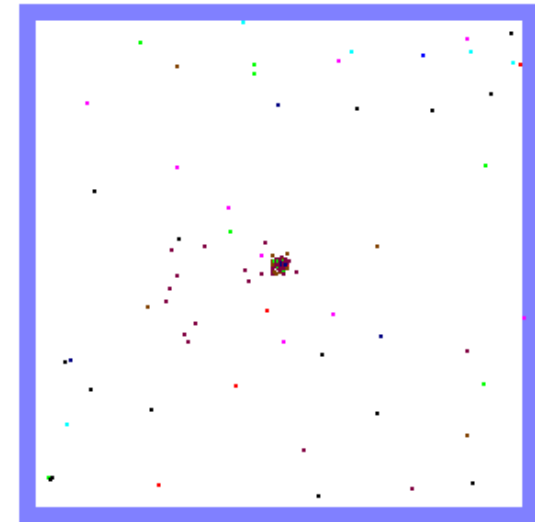
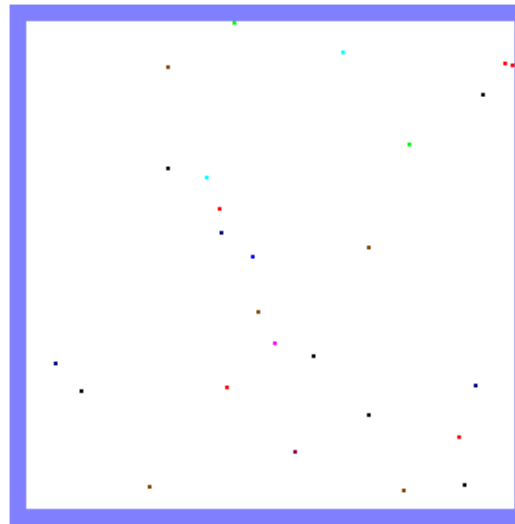
# Airborne Molecular Contaminants (AMCs)

## Classification of AMCs

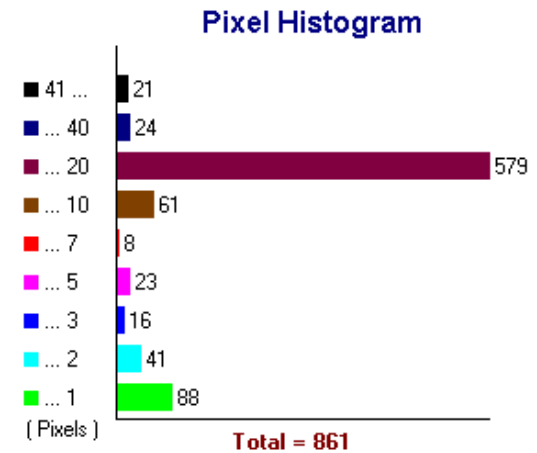
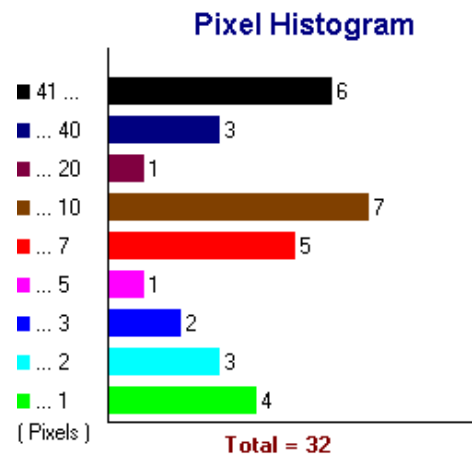


# High speed injection, 100 nm, 10 K/cm (Vacuum)

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

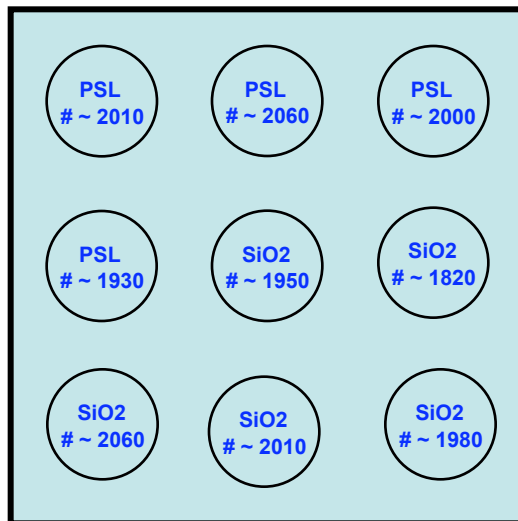


100 nm particles mainly correspond to 20 pixel particles. About 500 20-pixel particles are added.



# Controlled Particle Deposition on Mask Blanks

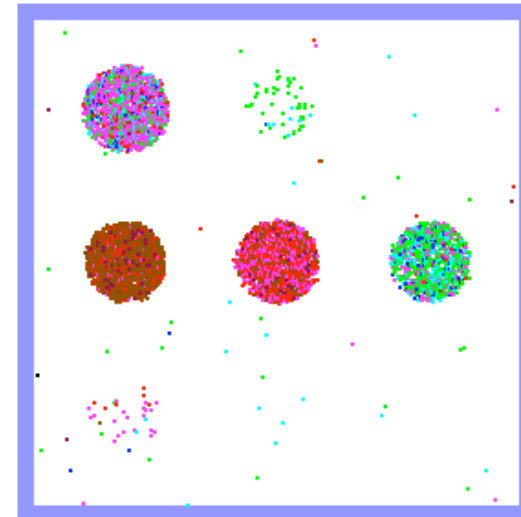
Deposition Plan  
(~ 2000 particles)



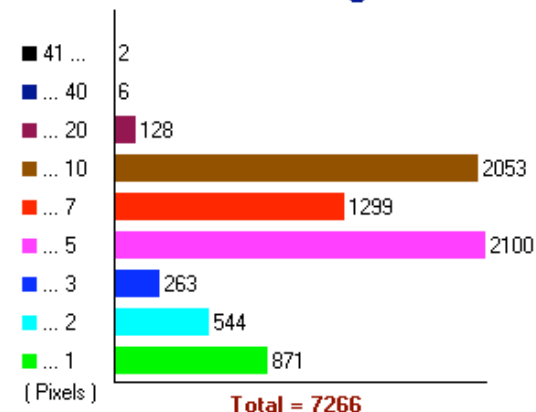
Mask Scan Area  
(140 mm x 140 mm)

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

Detection of Particles  
on a Quartz Mask



Pixel Histogram

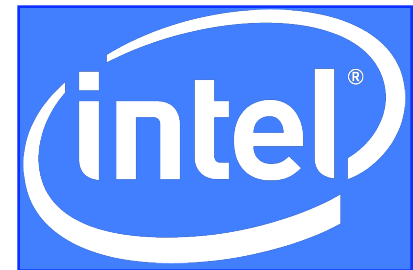


# Summary

- 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](mailto:kreyling@helmholtz-muenchen.de); [www.helmholtz-muenchen.de/en/ihb/](http://www.helmholtz-muenchen.de/en/ihb/);  
[www.helmholtz-muenchen.de/aerosols/](http://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

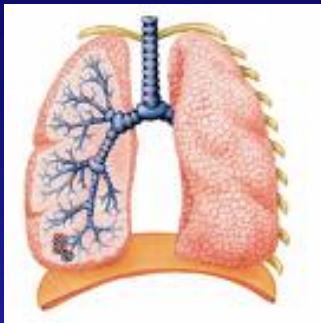


**NP Dosimetrie**

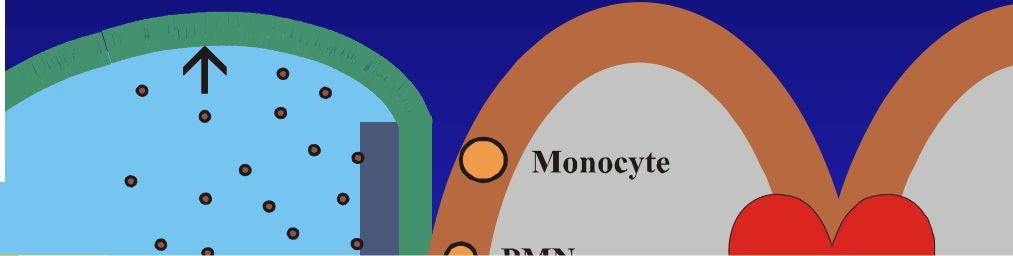
**Toxikologische Reaktionen auf NP**



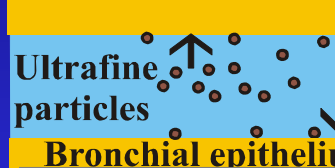
# Nanoparticles (NP): Access to blood circulation



Alveolar epithelium



~2 m<sup>2</sup>



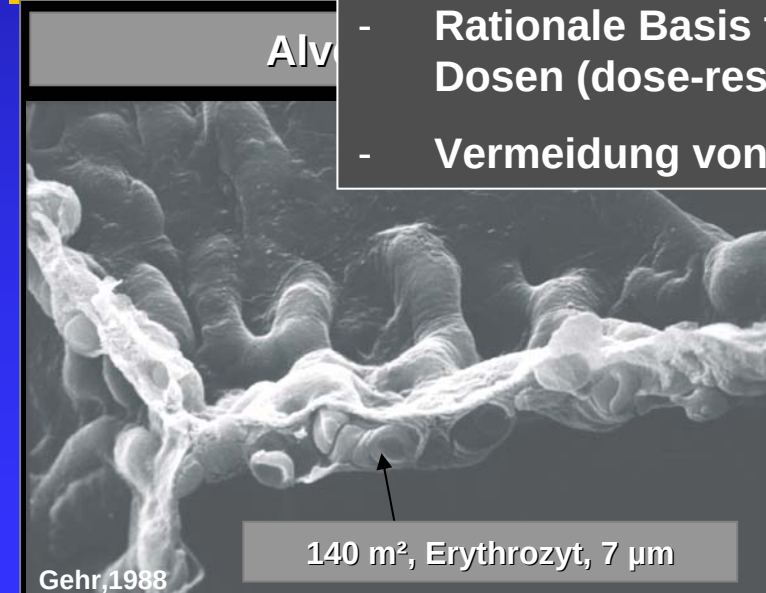
Ultrafine particles

Bronchial epithelium

Alveoli

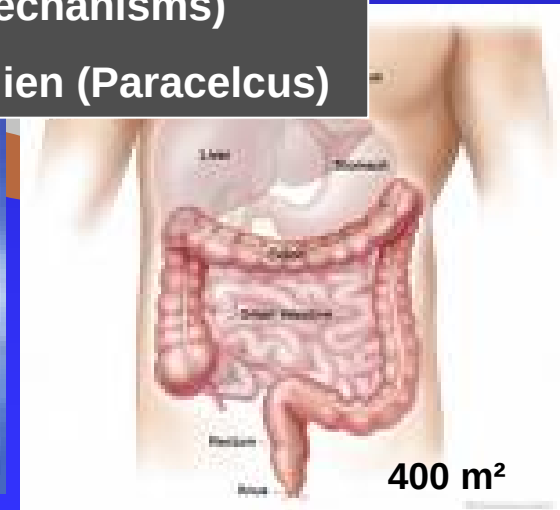
**Daher liefern Biokinetikstudien mit inkorporierten NP:**

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



140 m<sup>2</sup>, Erythrozyt, 7 µm

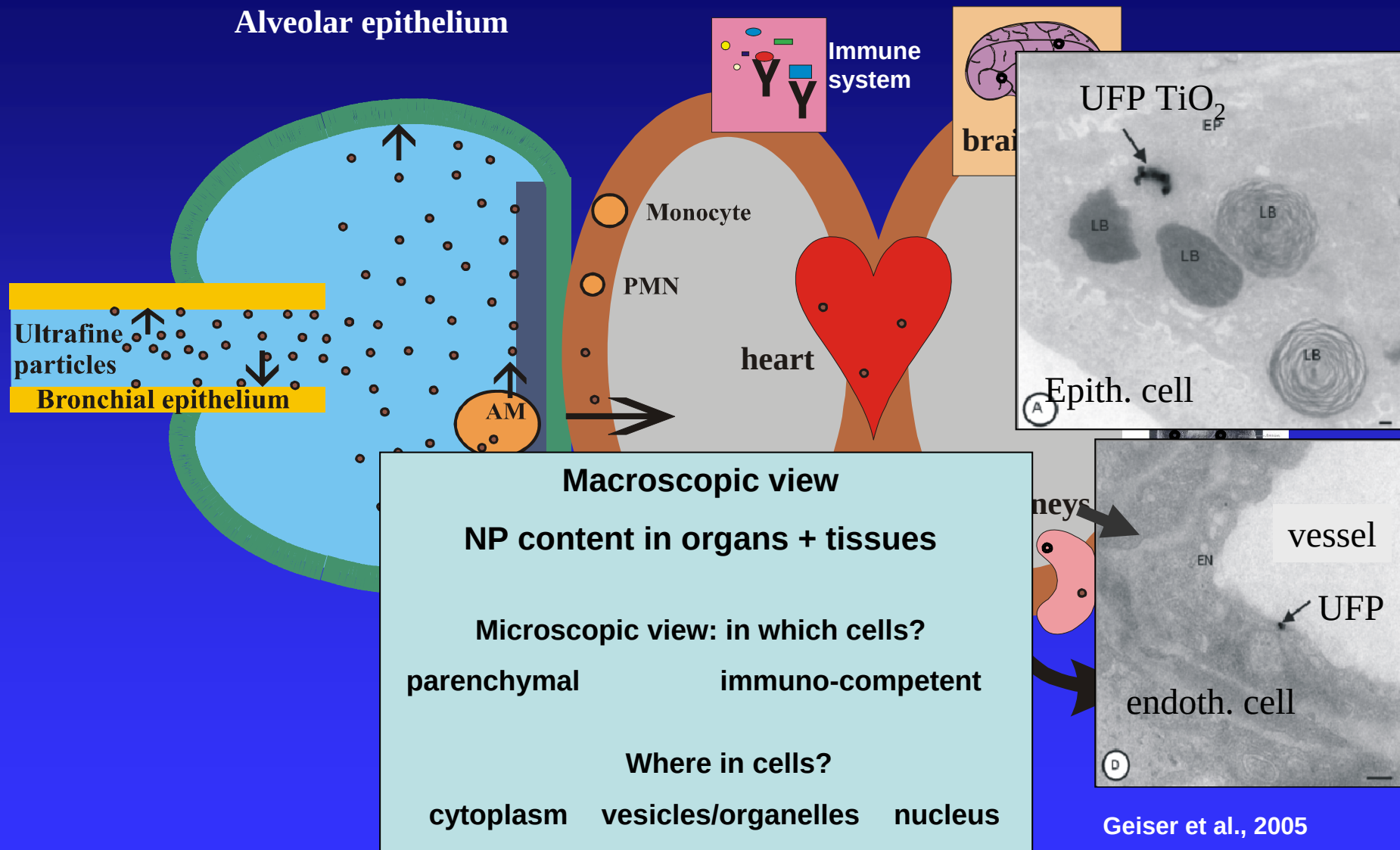
Gehr, 1988



400 m<sup>2</sup>



# 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

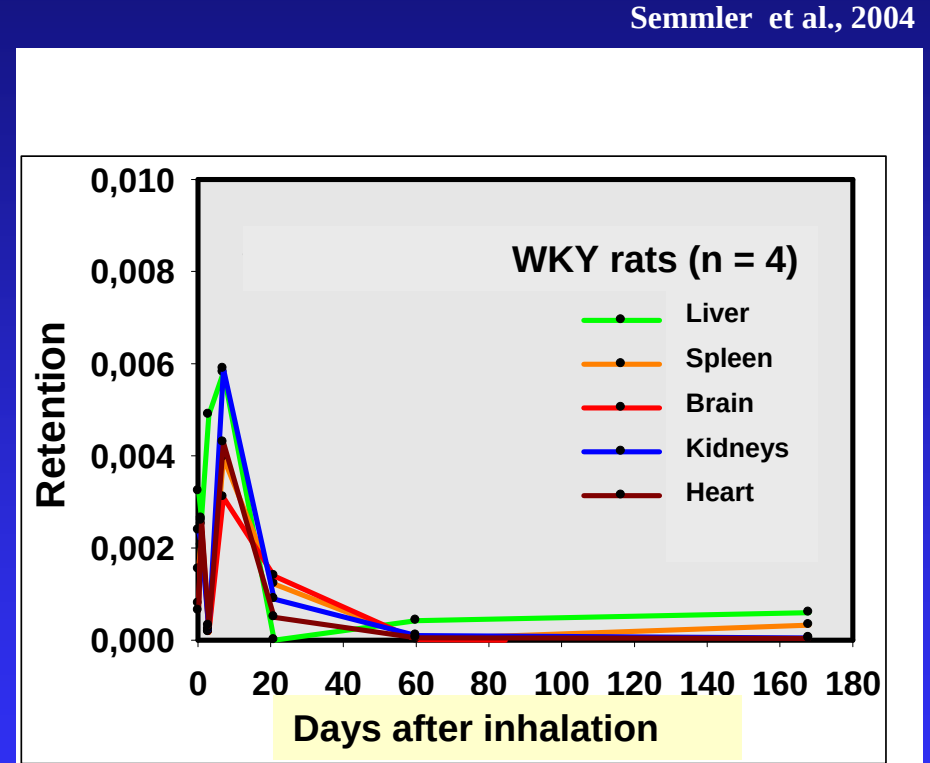
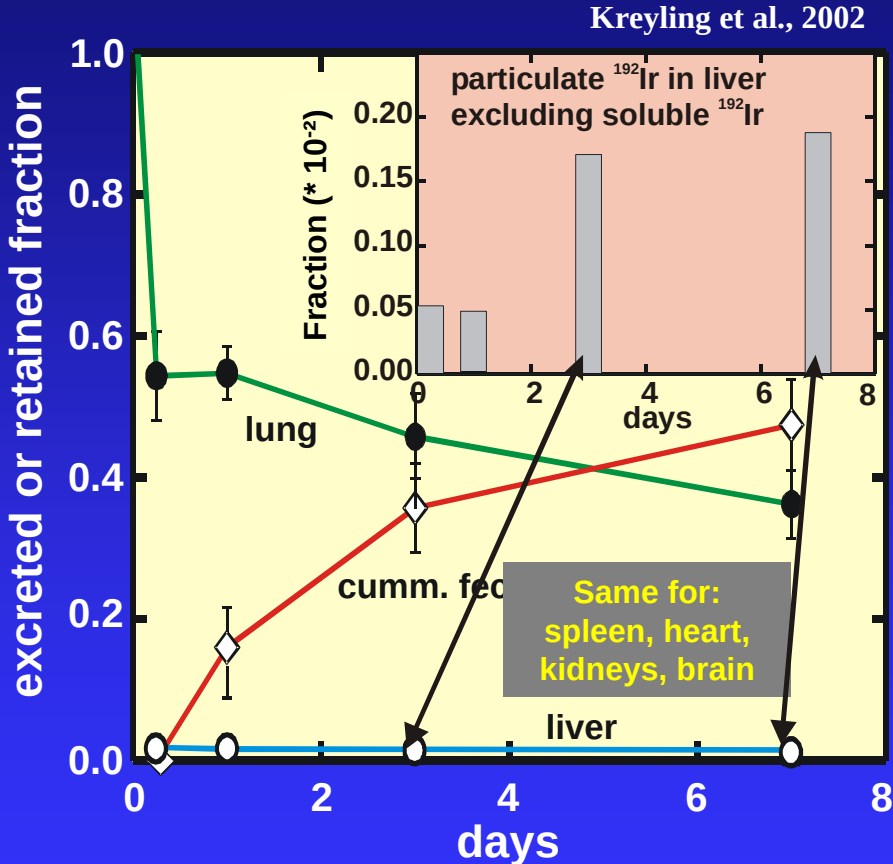
Gamma-spectroscopic radio-analysis



# Systemic translocation of Ir NP towards 2<sup>nd</sup> target organs

WKY rat,  $^{192}\text{Ir}$  NP, 1 hr exposure  
15 nm CMD,  $10^7 \text{ cm}^{-3}$ ,  $0.2 \text{ mg/m}^3$

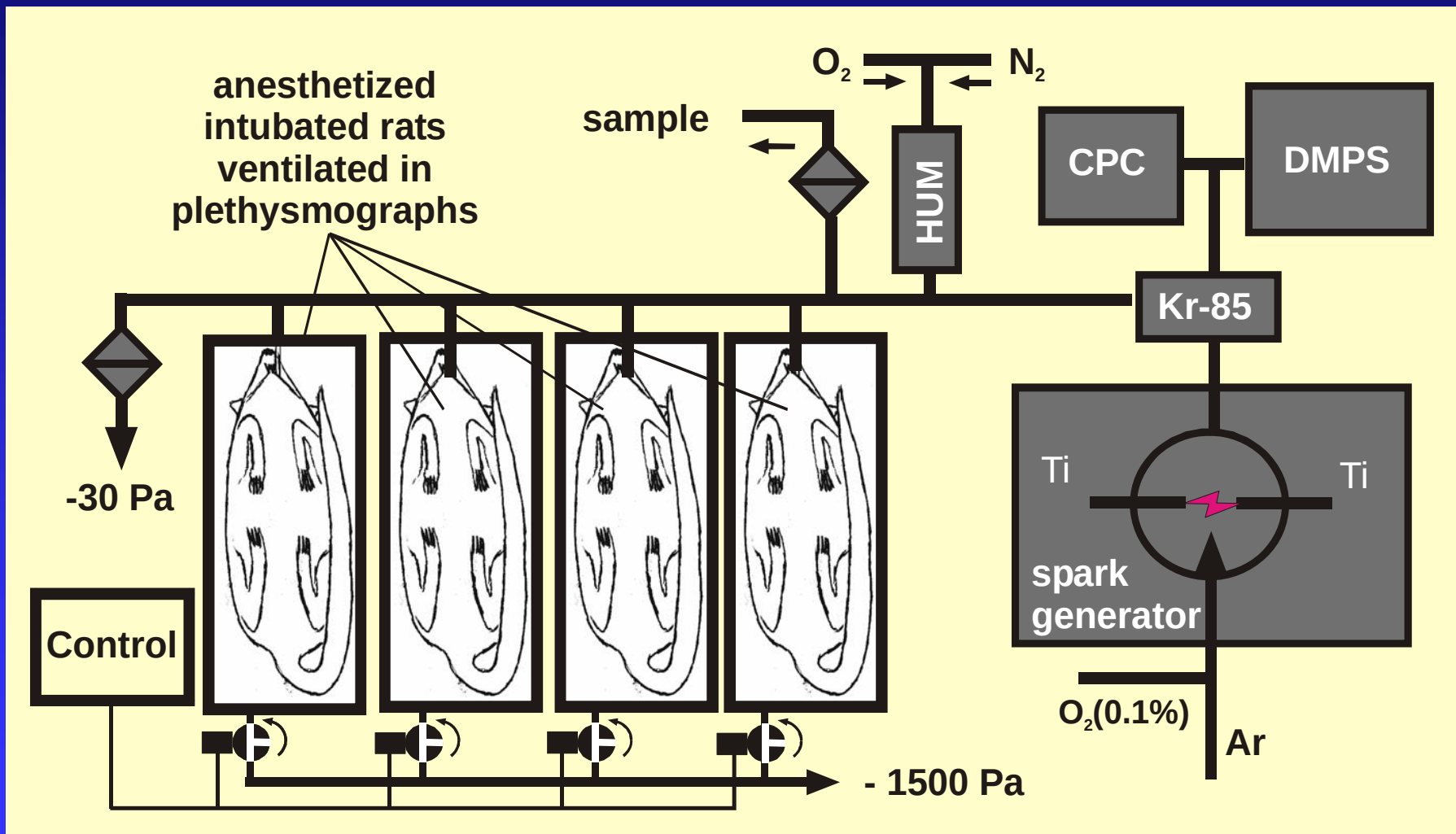
Long-term translocation kinetics  
same exposure



There is little but persistent accumulation of Ir-NP in secondary target organs  
Ir NP mass < 1 ng, but number >  $10^8$  NP per organ

# Ventilation-inhalation system of $\text{TiO}_2$ NP

## Morphological characterisation of NP distribution in the lungs

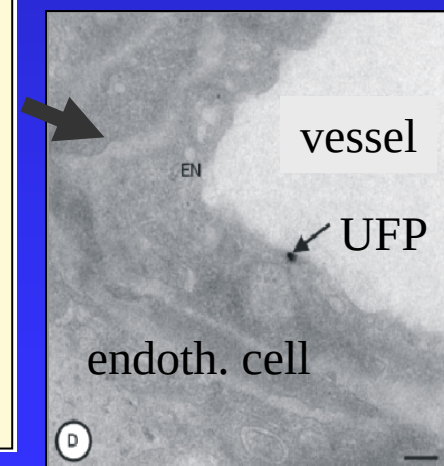
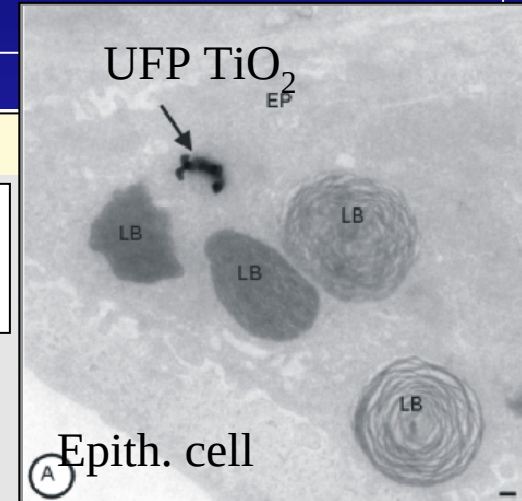
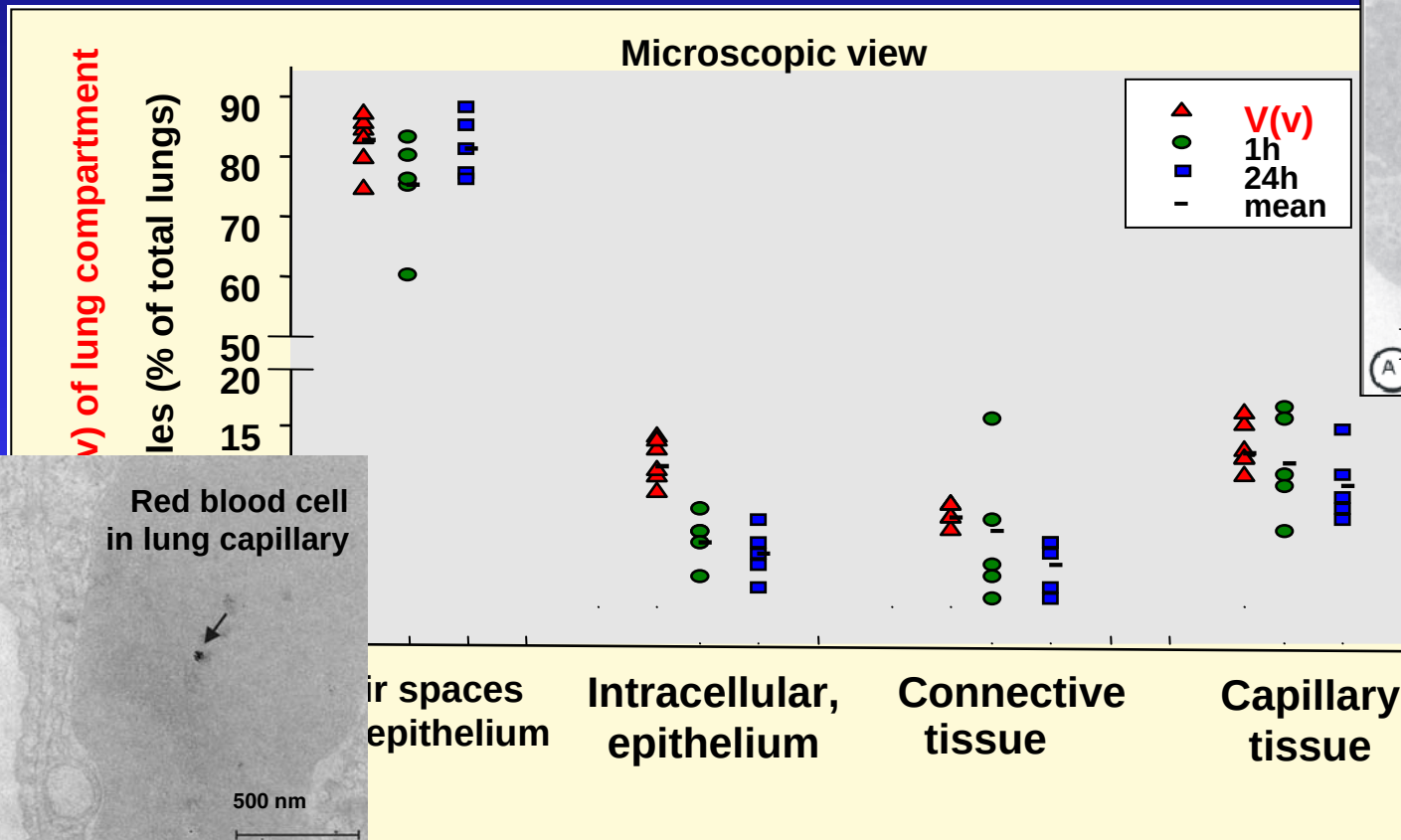


# Morphometry of inhaled $\text{TiO}_2$ nanoparticles in rat lungs

Intubated ventilated WKY rat,  
 $\text{TiO}_2$  NP, 1 hr exposure  
 22 nm CMD,  $10^7 \text{ cm}^{-3}$ ,  $0.1 \text{ mg/m}^3$   
 morphometry 0 + 24 h after inhalation

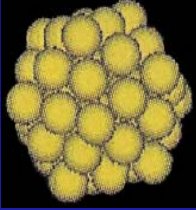
- Rapid translocation of ~ 20% NP fraction
- Volume proportional re-distribution: by which mechanism?

M. Geiser et al., EHP 2005



# Translocation of gold nanoparticles: Effect of particle size

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



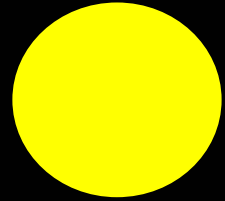
Intratracheal instillation or intravenous injection in WKY rats

1-10  $\mu\text{g}$   $^{198}\text{Au}$  particles in 50  $\mu\text{L}$  saline, negative ionic surface charge

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

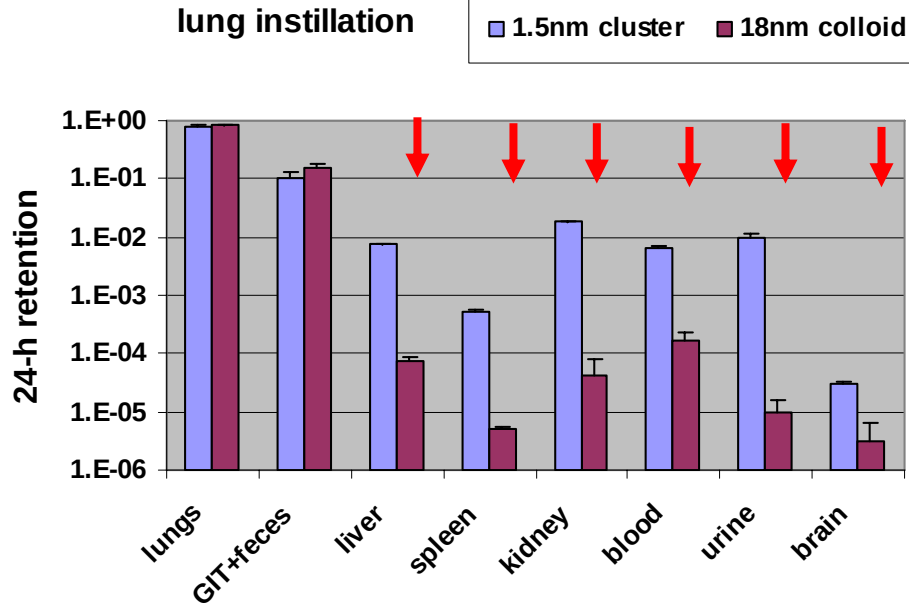
G. Schmid, Univ of Essen, Germany

$^{198}\text{Au}$   
colloid  
18 nm

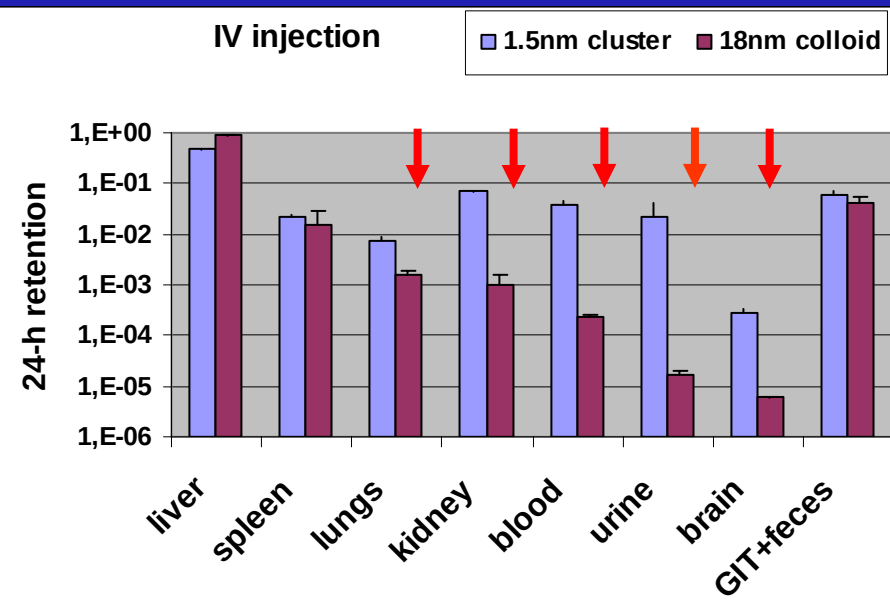


➤ Mass fractions of gold nanoparticles in different organs after 24 h

lung instillation



IV injection



Indeed, size matters!!

Semmler-Behnke, Small, 2008

# Toxikologische Reaktionen auf NP:

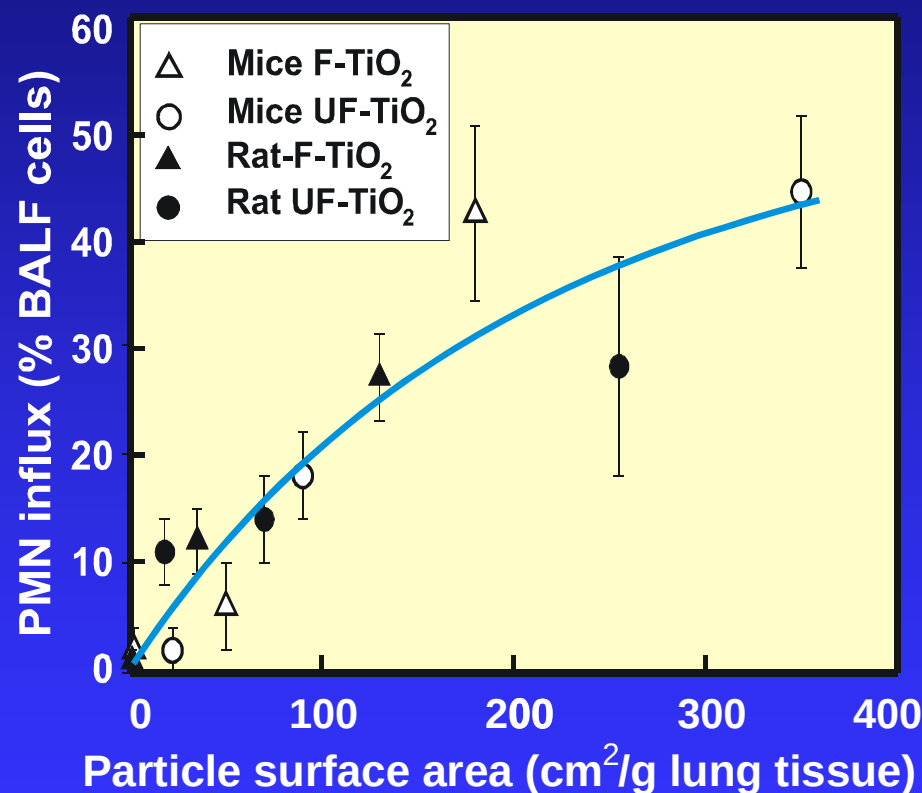
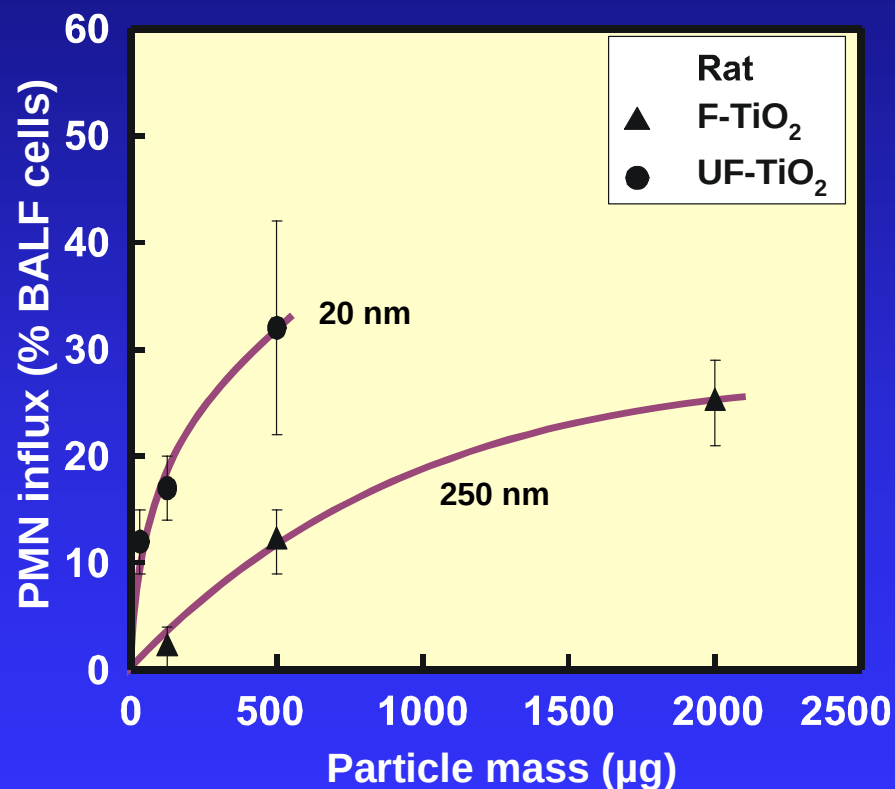
## Rolle verschiedener NP Parameter



# Surface area of NP is associated with inflammatory response

Influx of neutrophils (PMN) : indicator of inflammation

Instillation of ultrafine UF-TiO<sub>2</sub> (20 nm) or fine F-TiO<sub>2</sub> (250 nm) into rat lungs

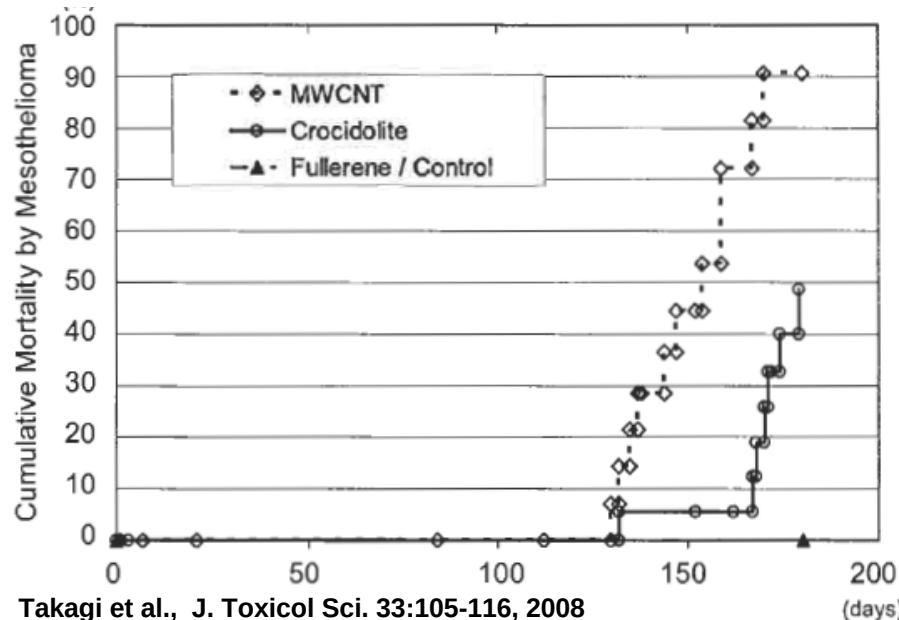


Oberdörster et al., HEI 2000



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

## Lebenszeitverkürzung durch Mesotheliome



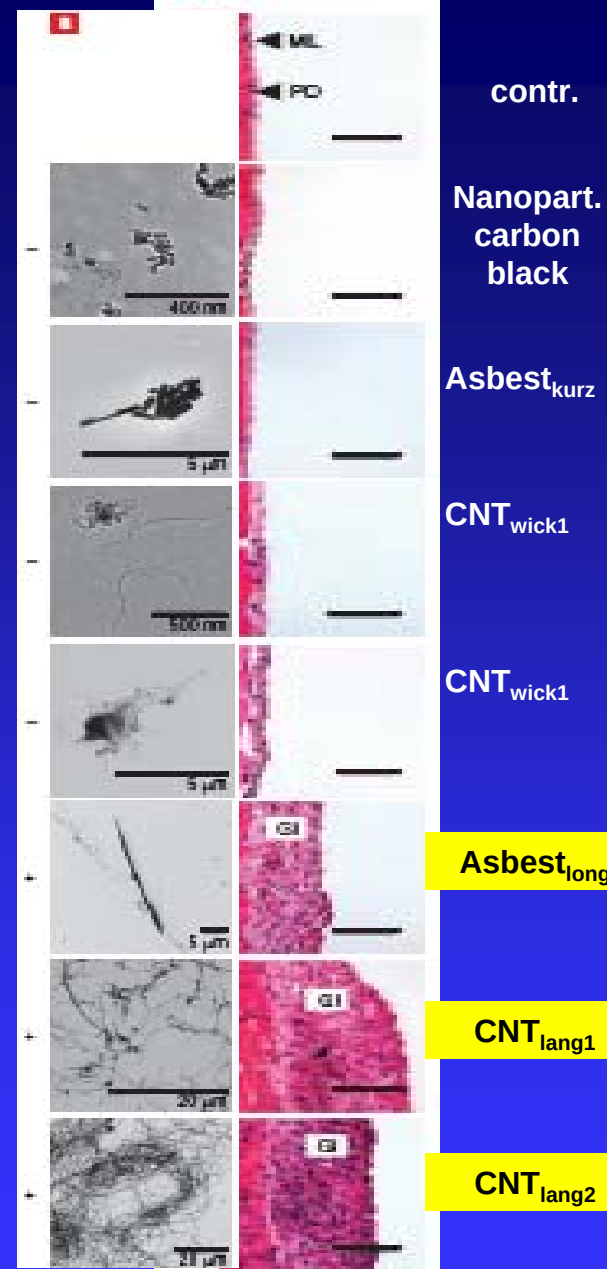
Bildung von Granuloma :  
nur bei Asbest<sub>lang</sub> und CNT<sub>lang1+2</sub>

Entzündungsparameter nur bei  
Asbest<sub>lang</sub> und CNT<sub>lang1+2</sub> :  
Neutrophilen Zelleinstrom  
Erhöhtes Gesamtprotein

Alv. Macroph: frustrierte  
Phagocytose von CNT<sub>lang</sub>

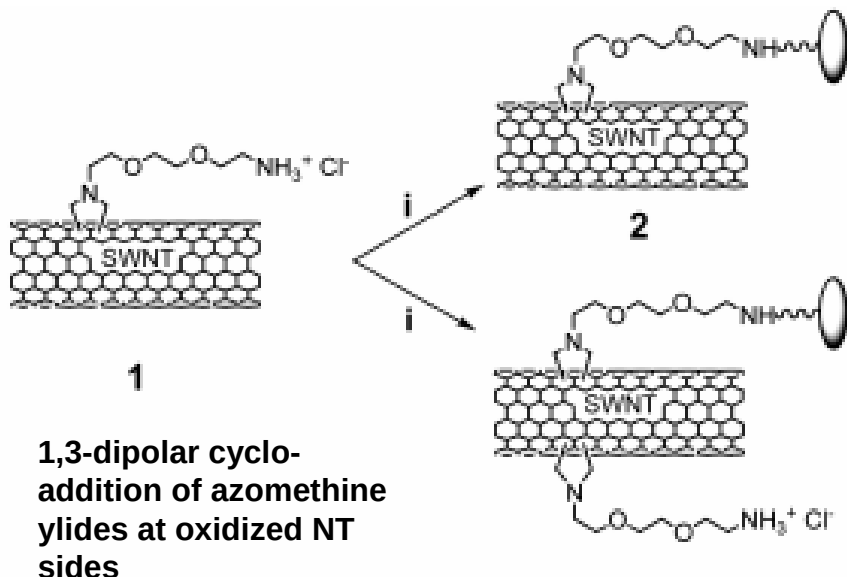


Poland et al. Nature Nanotechnology, (online) 2008



# Less toxicity of functionalized nanotubes

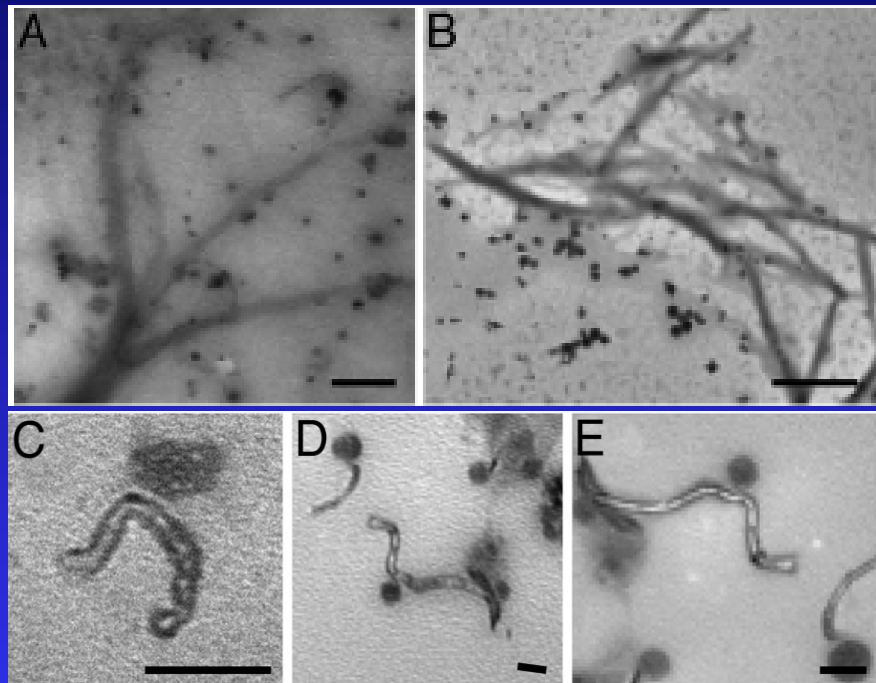
Functionalized SWNT & MWNT lead to high solubilization + no toxic response



Singh et al. PNAS (2006)

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

## SWNT in urinary supernatant

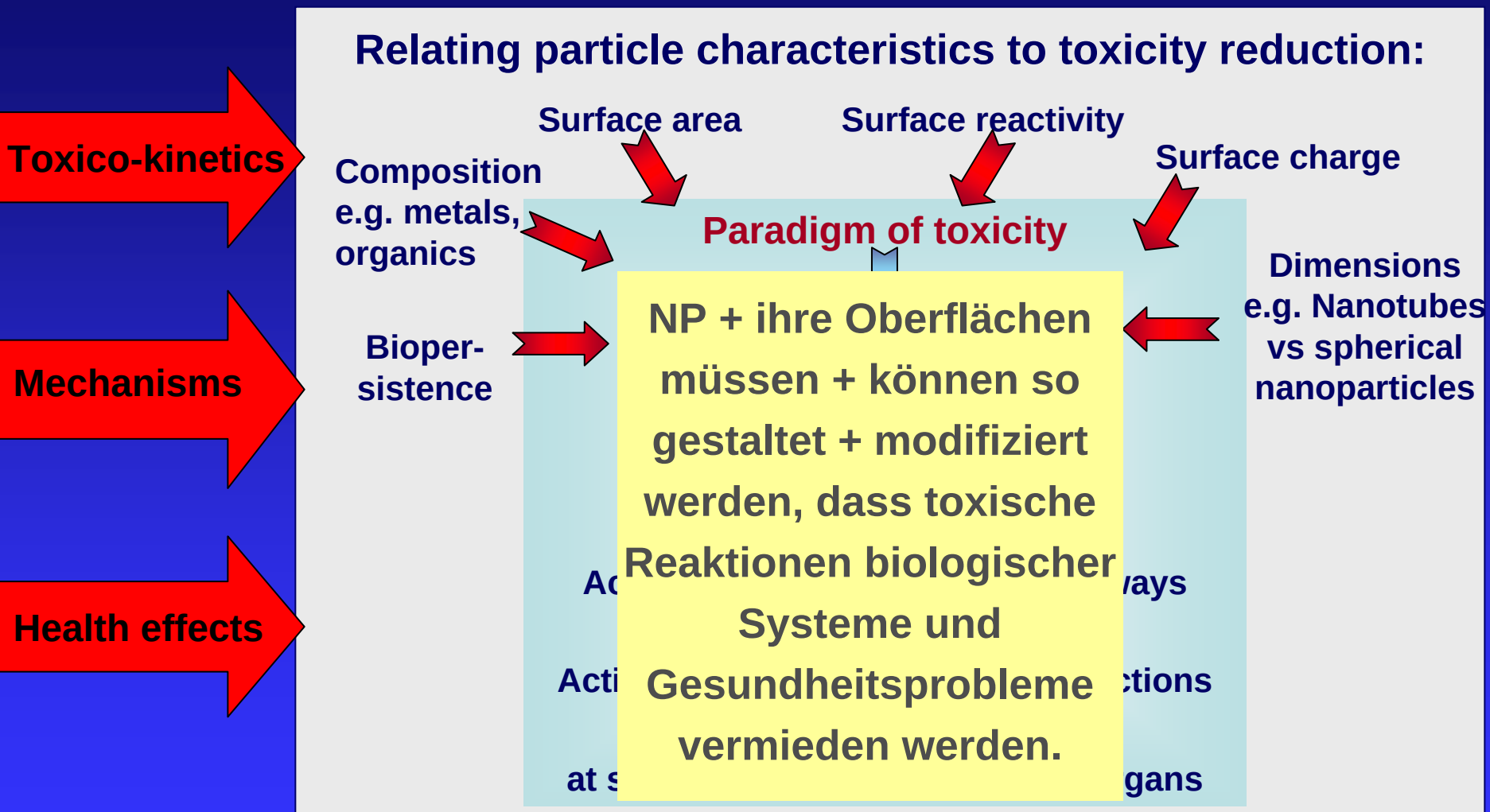


## MWNT in urinary supernatant

Virtually no organ & tissue retention after 3 hours

→ No signs of inflammation

# Search for Safe Nanomaterials



# 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*

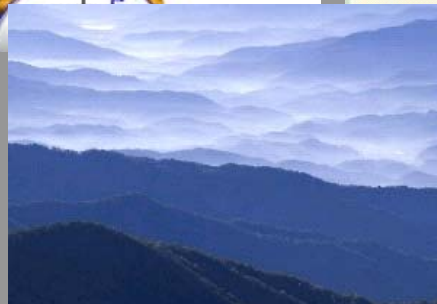
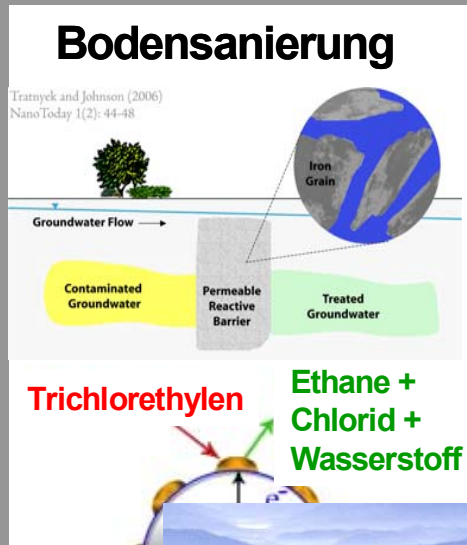


*Institut für Energie  
und Umwelttechnik*

*Bereich  
"Luftreinhaltung &  
Nachhaltige  
Nanotechnologie"*



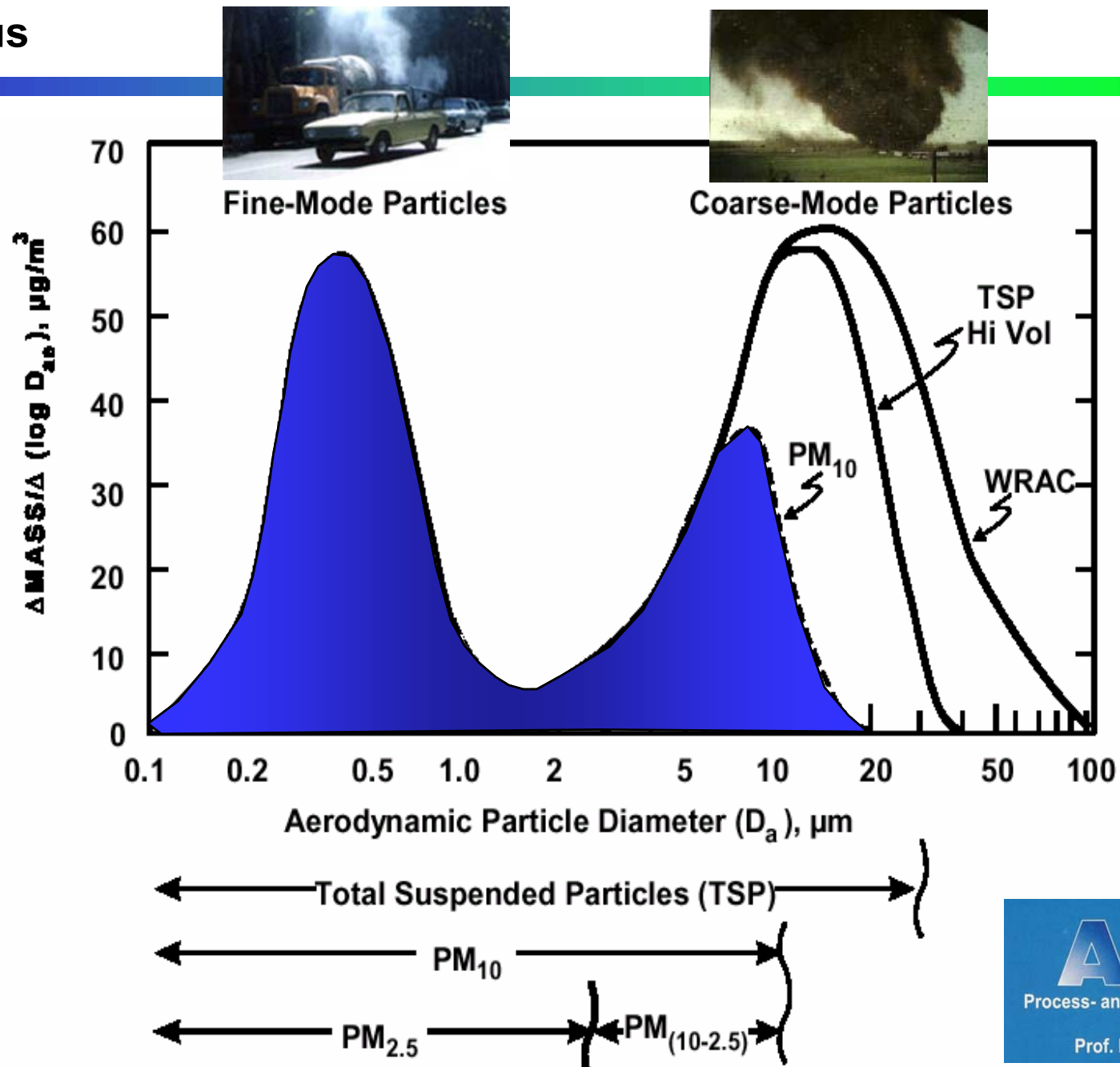
Handhabung von  
Nanopulvern

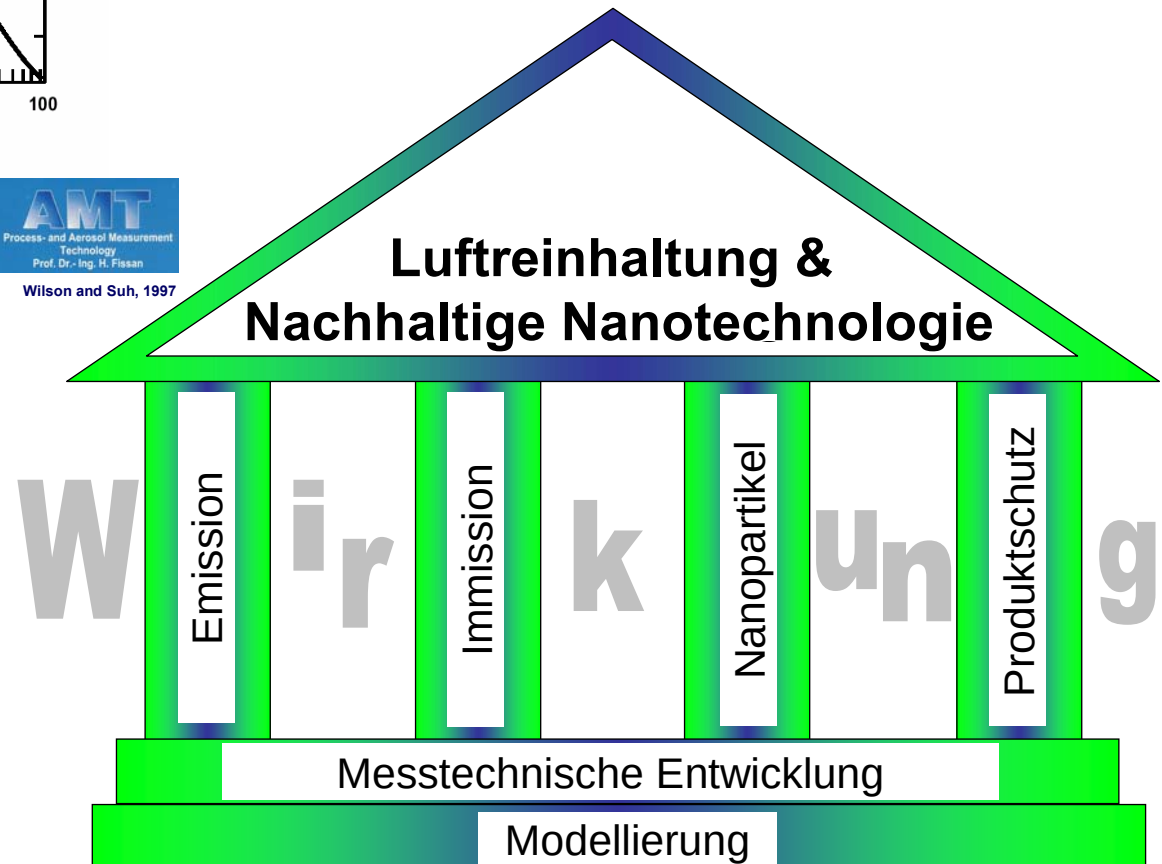
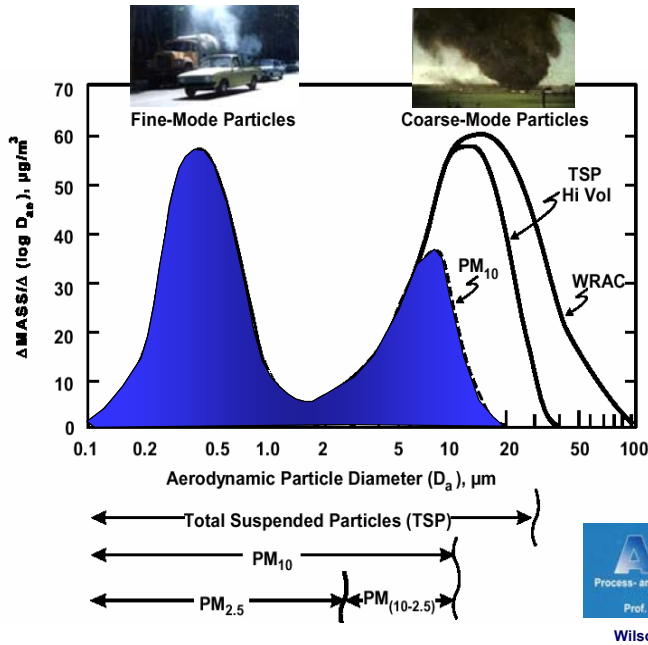


Smog



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





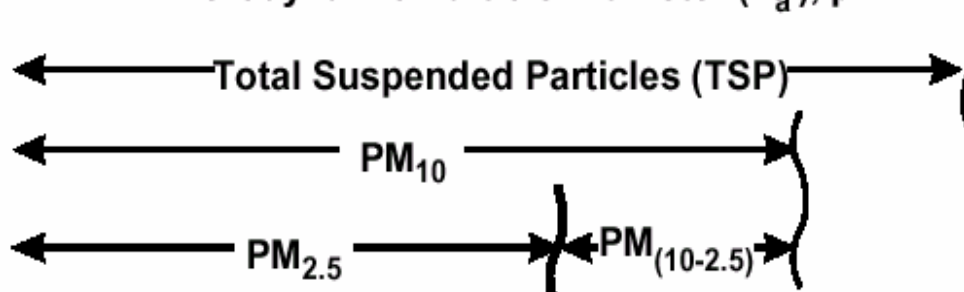
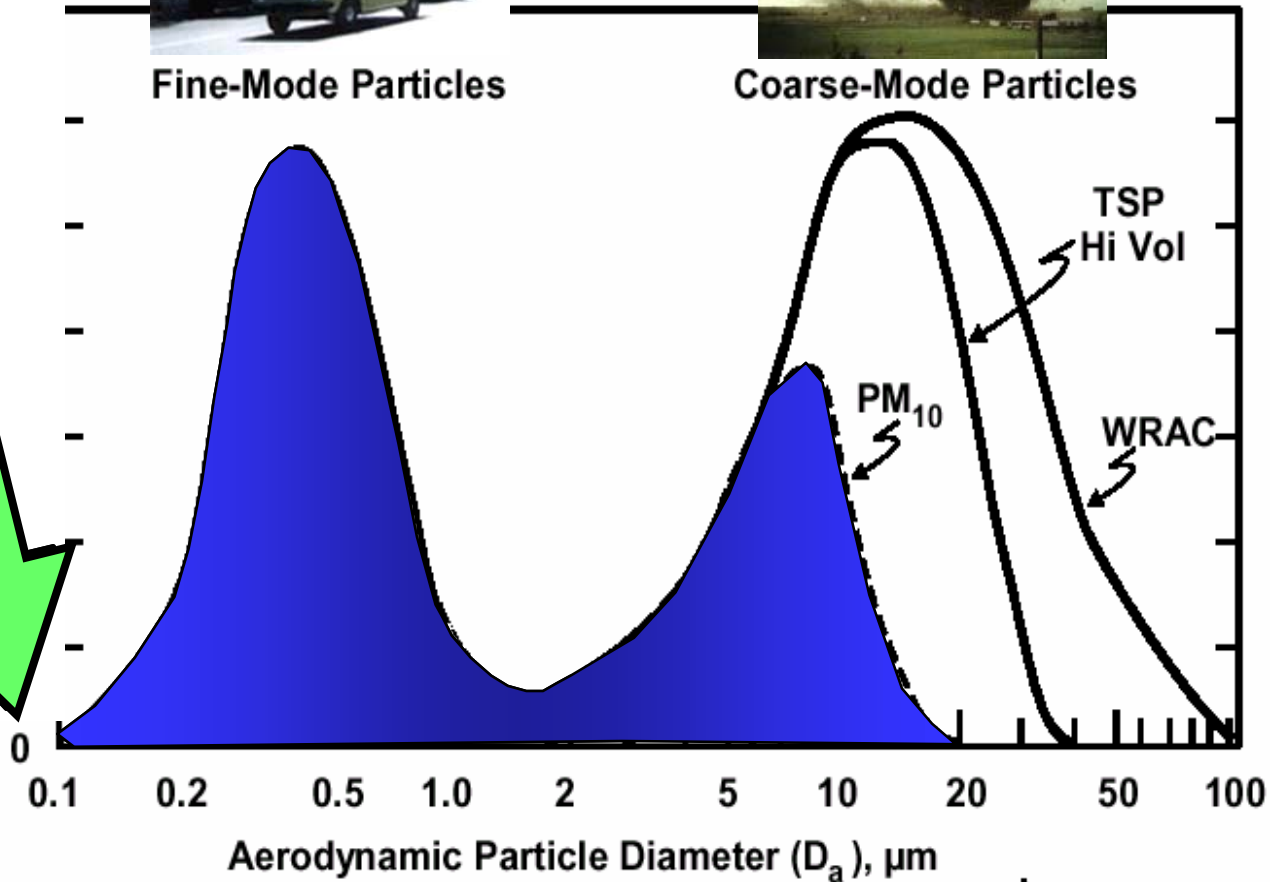
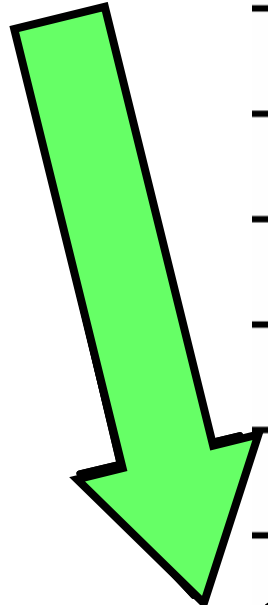


Fine-Mode Particles



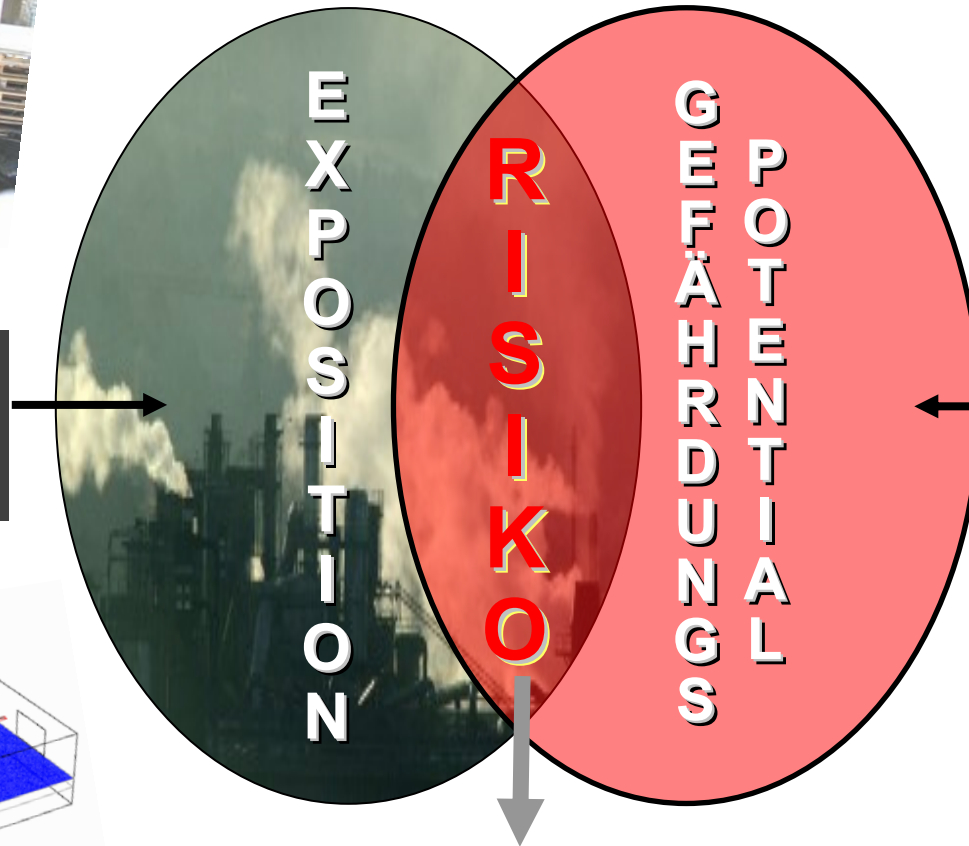
Coarse-Mode Particles

nanoskalig



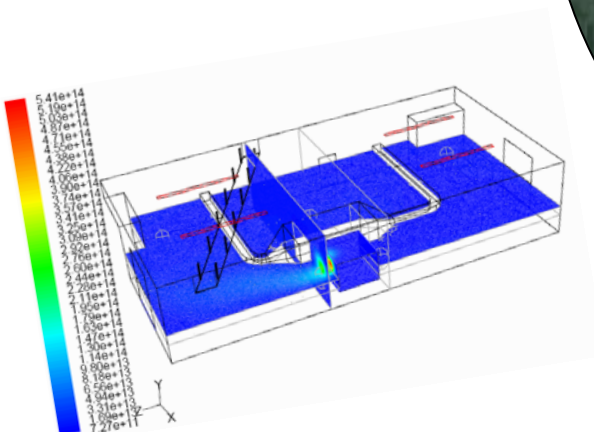


Messungen  
Modellierung



*in vitro / in vivo*  
Biotesting

Unsicherheit





**Verkehr**



**Smog**



**Freizeit - Grillen**

**ultrafeine Partikel  
=  
ungewollt hergestellte  
nanoskalige Partikel**

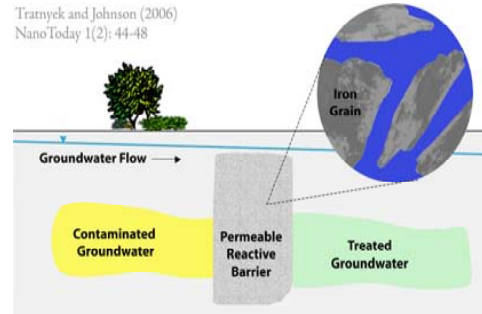


Figure 8. Pouring HiPCO® nanotube material between containers at Rice University

## Handhabung von Nanopulvern

## Bodensanierung

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



Trichlorethylen + Ethane +  
Chlorid + Wasserstoff



Palladium

Wei-xian Zhang, Lehigh University

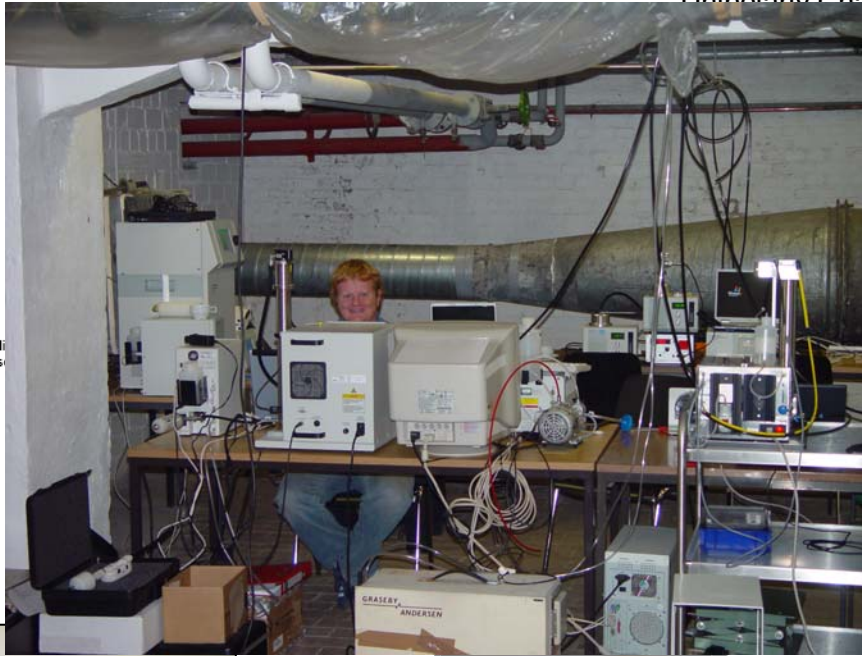
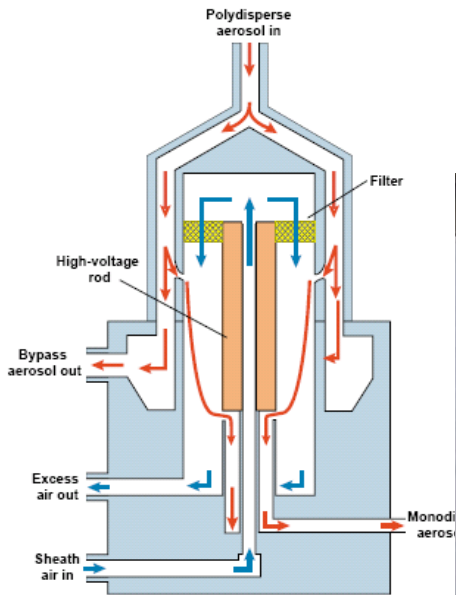


- Kosmetika  
- funktionelle  
Kleidung

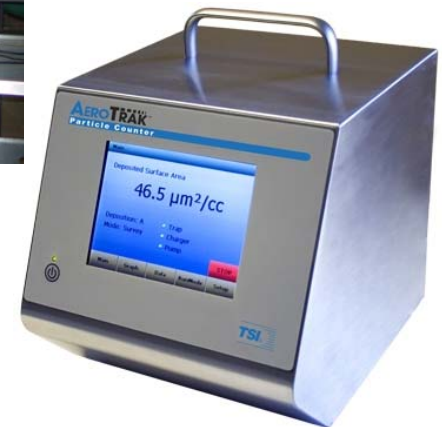
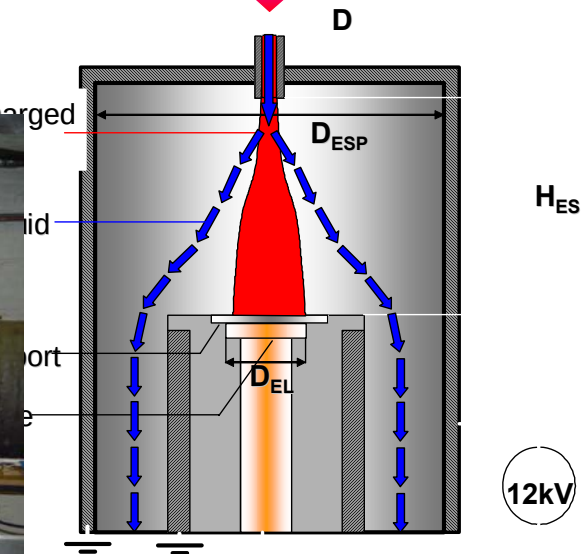
- .....

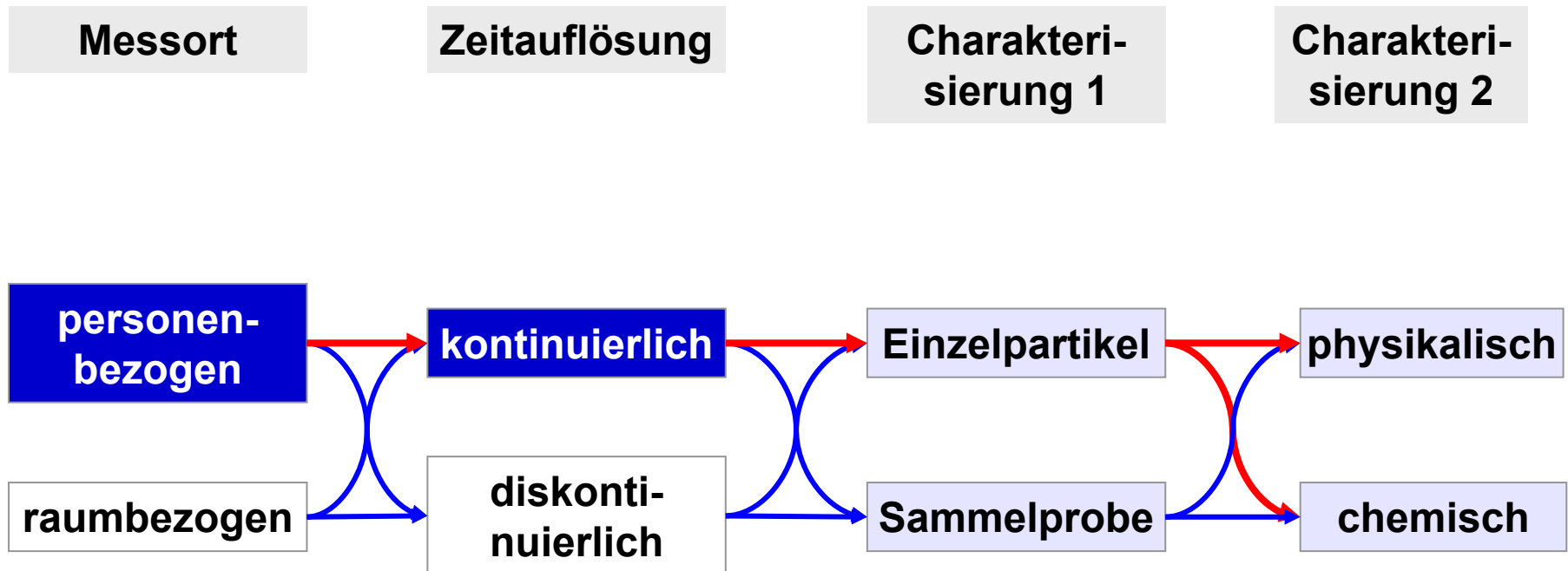
**Nanopartikel**  
=  
**Produktpartikel,  
bewusst produziert**

MODEL 3085 NANO DMA



Aerosol

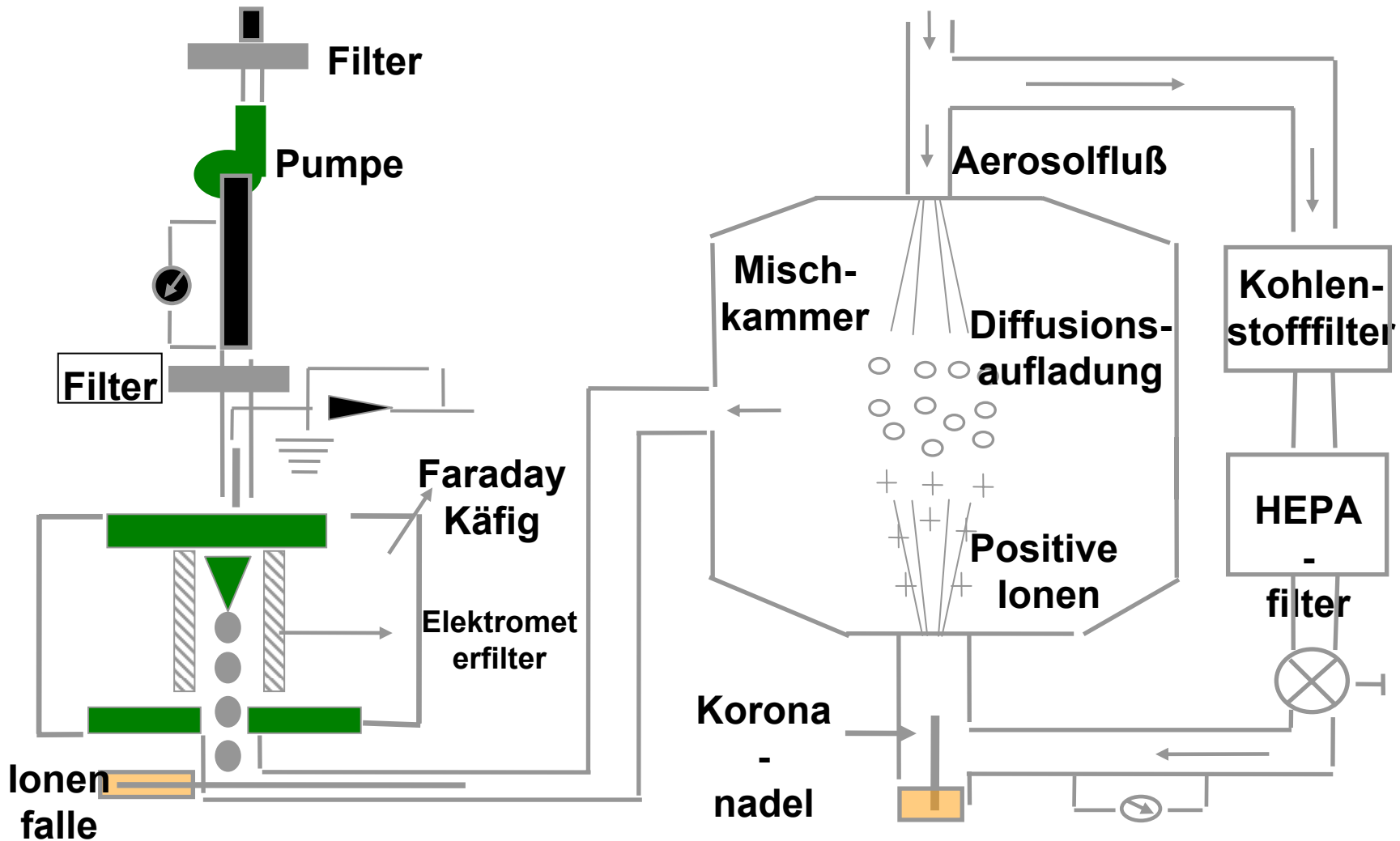




| Eigenschaft                       | Probenahme         | Gerät Analyse  | konti. | Person./tragbar |
|-----------------------------------|--------------------|----------------|--------|-----------------|
| Anzahlkonzentration               |                    | CPC / CNC      | Ja     | Ja              |
| Anzahlgrößenverteilung            |                    |                | Ja     | Nein (Ja)       |
| Summe der Durchmesser             |                    |                | Ja     | Nein            |
| Oberflächenkonzentration          |                    |                | Ja     | Ja              |
| Oberfläche der Region             |                    |                | Ja     | Ja              |
| Größenverteilung chemisch         |                    |                | 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              |
| *: Fuchs surface area equivalence |                    |                |        |                 |

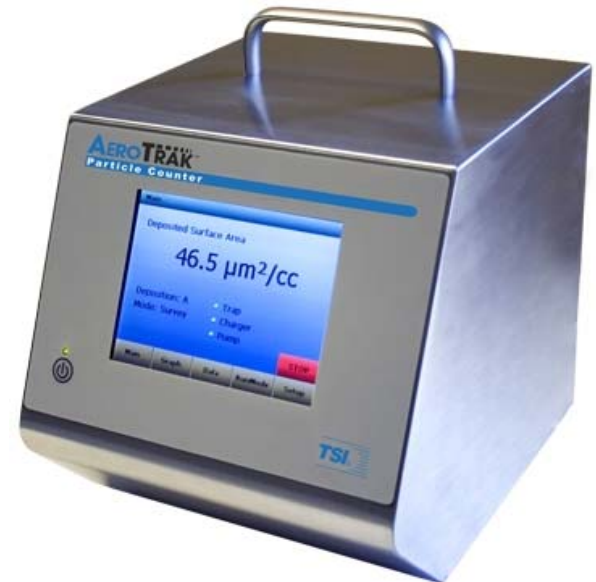
viele Messtechniken und -geräte stehen zur Verfügung  
zur Zeit fehlen personenbezogene / einfach anzuwendende Geräte  
viel versprechende Ansätze (EU-NanoDevice)  
(Oberflächenkonzentration, Diffusionsbatterien....)

# Unipolarer Diffusionsauflader

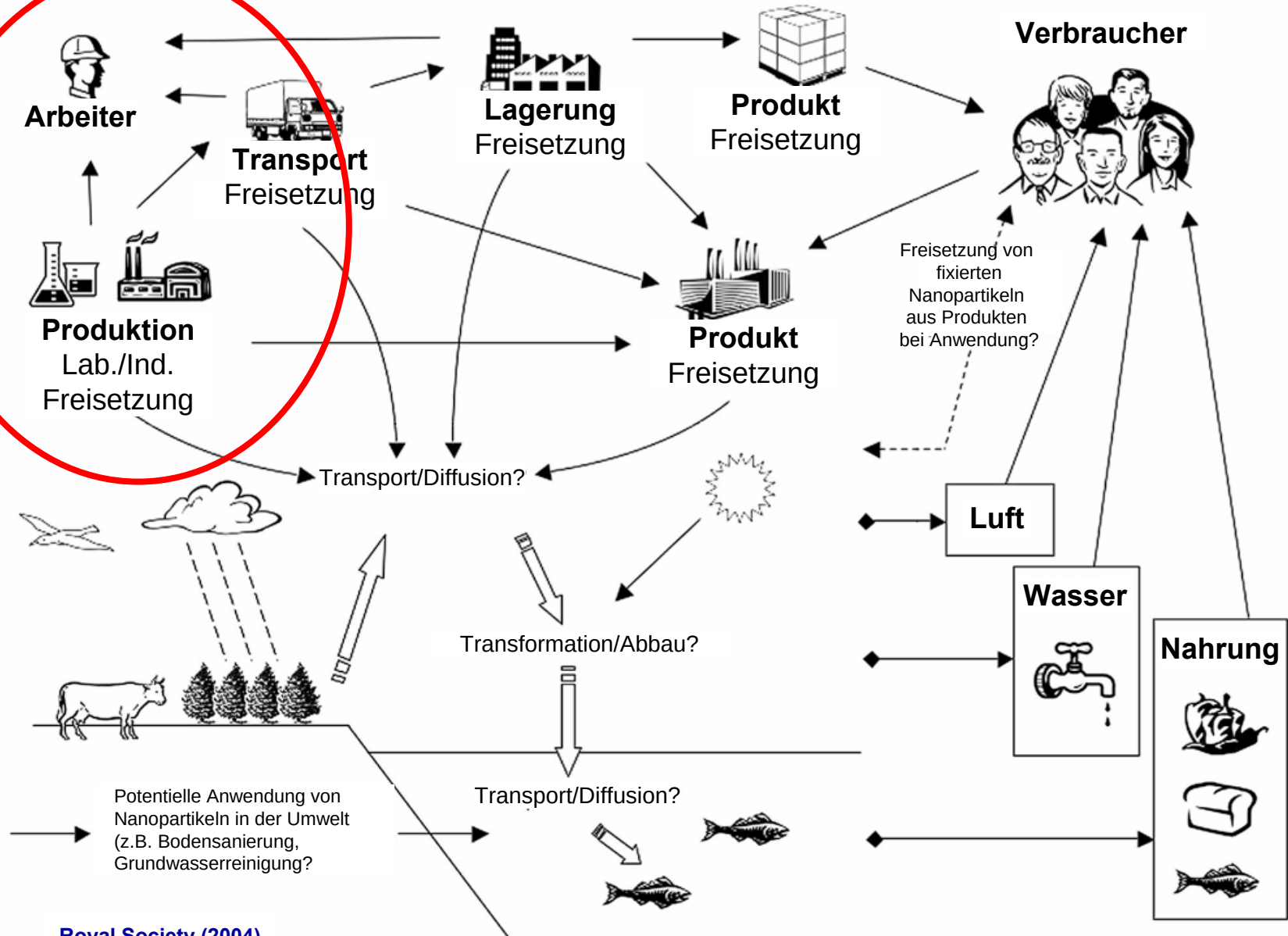


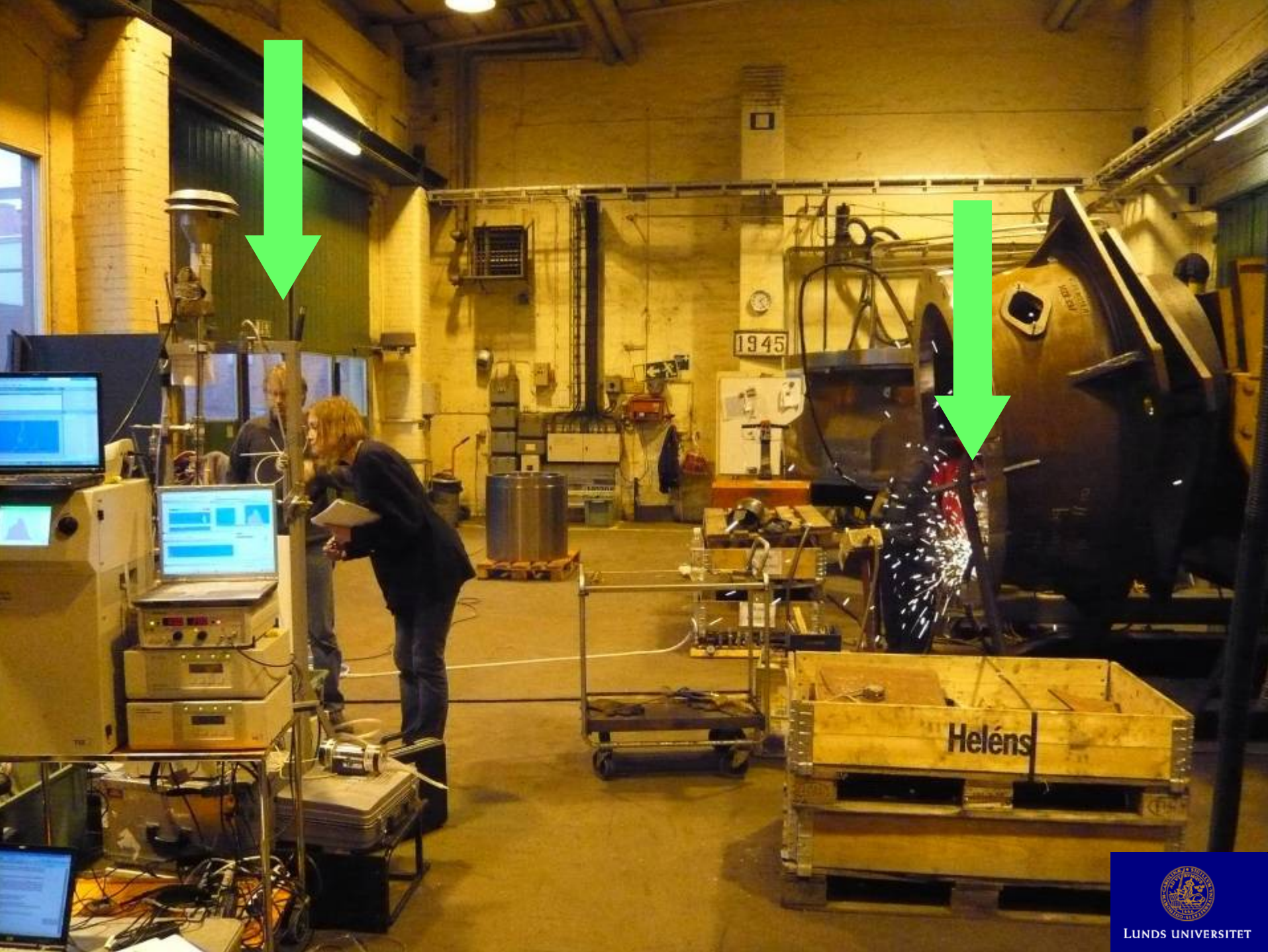
**NSAM misst  
Oberflächenkonzentrationen deponiert  
in der Lunge ( $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ )**

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



# Nanopartikel Lebenszyklus

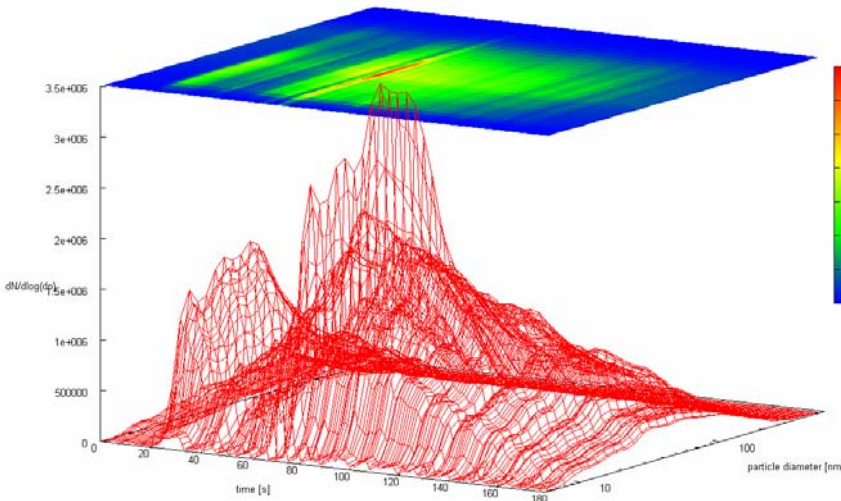




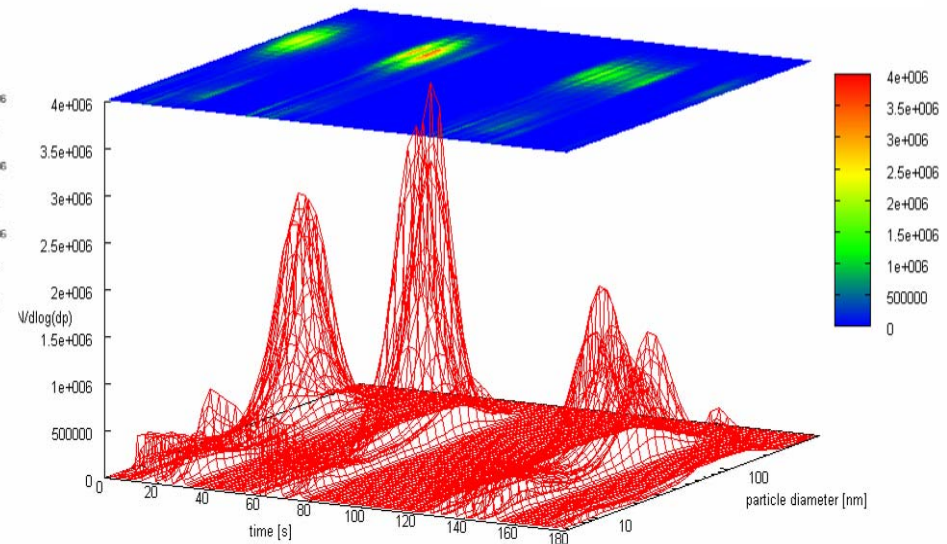
## MAG-Schweißen

im Rauch (1:150)

Im Hintergrund



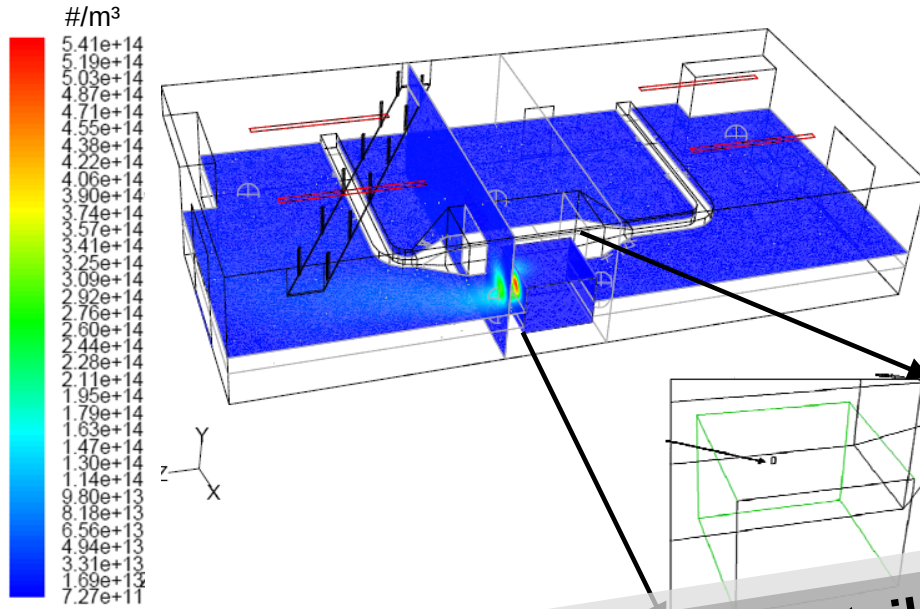
**klare Maxima**  
**hohe Konzentration**



**breite Verteilung**  
**niedrigere Konzentration**

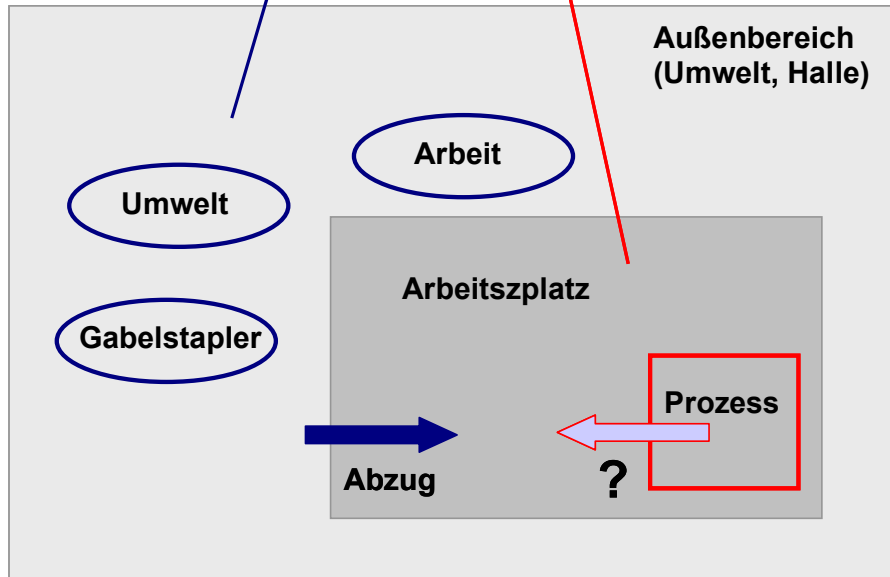
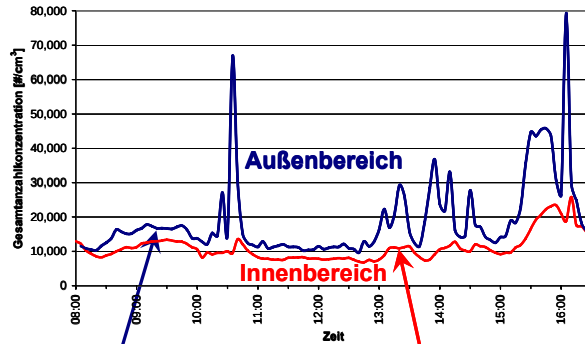
**hohe räumliche und zeitliche Variabilität**

# 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  $\text{TiO}_2$ -Arbeitsplatz:  
keine signifikante Freisetzung von  $\text{TiO}_2$  unter 100 nm  
(400 nm) Durchmesser.
- Freisetzungen starten zumeist bei Partikelgrößen  
> 400 nm, Maxima > 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser.
- Emission von nanoskaligen Partikeln (< 100 nm)  
hauptsächlich durch Verkehr (z.B. Gabelstapler),  
Gasheizungen, Schweißen, Verpacken, Pumpen, etc....



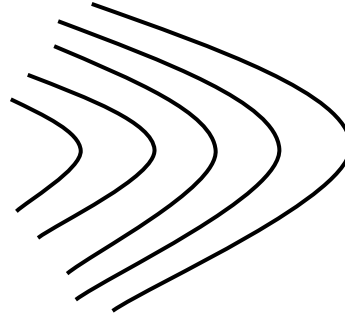
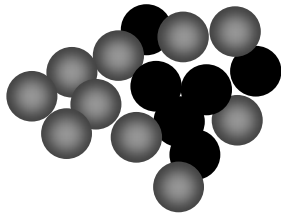
Kuhlbusch & **Fissan**, JOEH, 3/10, 558 – 567, 2006.

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.

0 bar  
bis  
1.6 bar



## Beispiel für $\text{CeO}_2$ : Veränderung der Anzahlgrößenverteilung

Anstieg der relativen  
Partikelkonzentration  
unter 100 nm

Referenzspektrum:

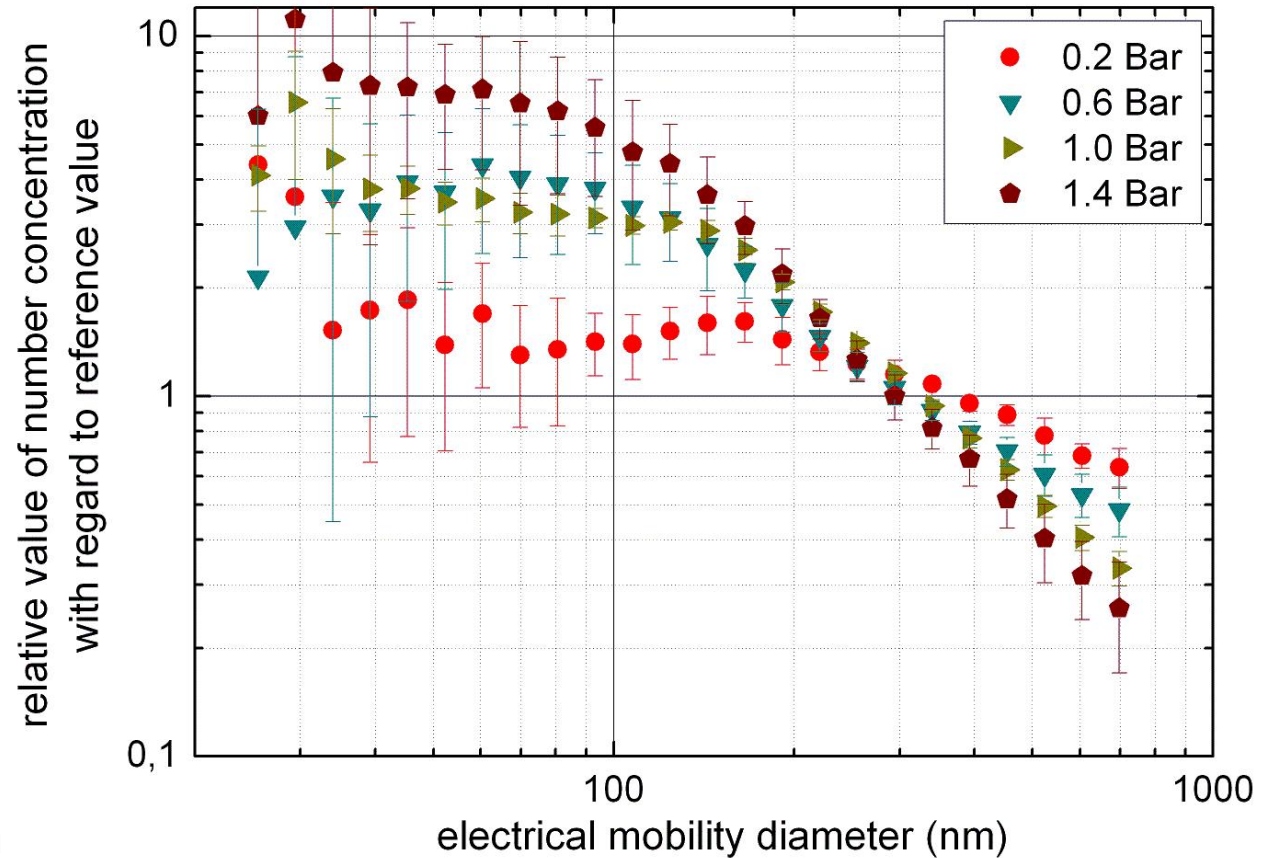
~ 1.1% der Partikel  
unter 100 nm

@ 1.4 bar

Druckdifferenz:

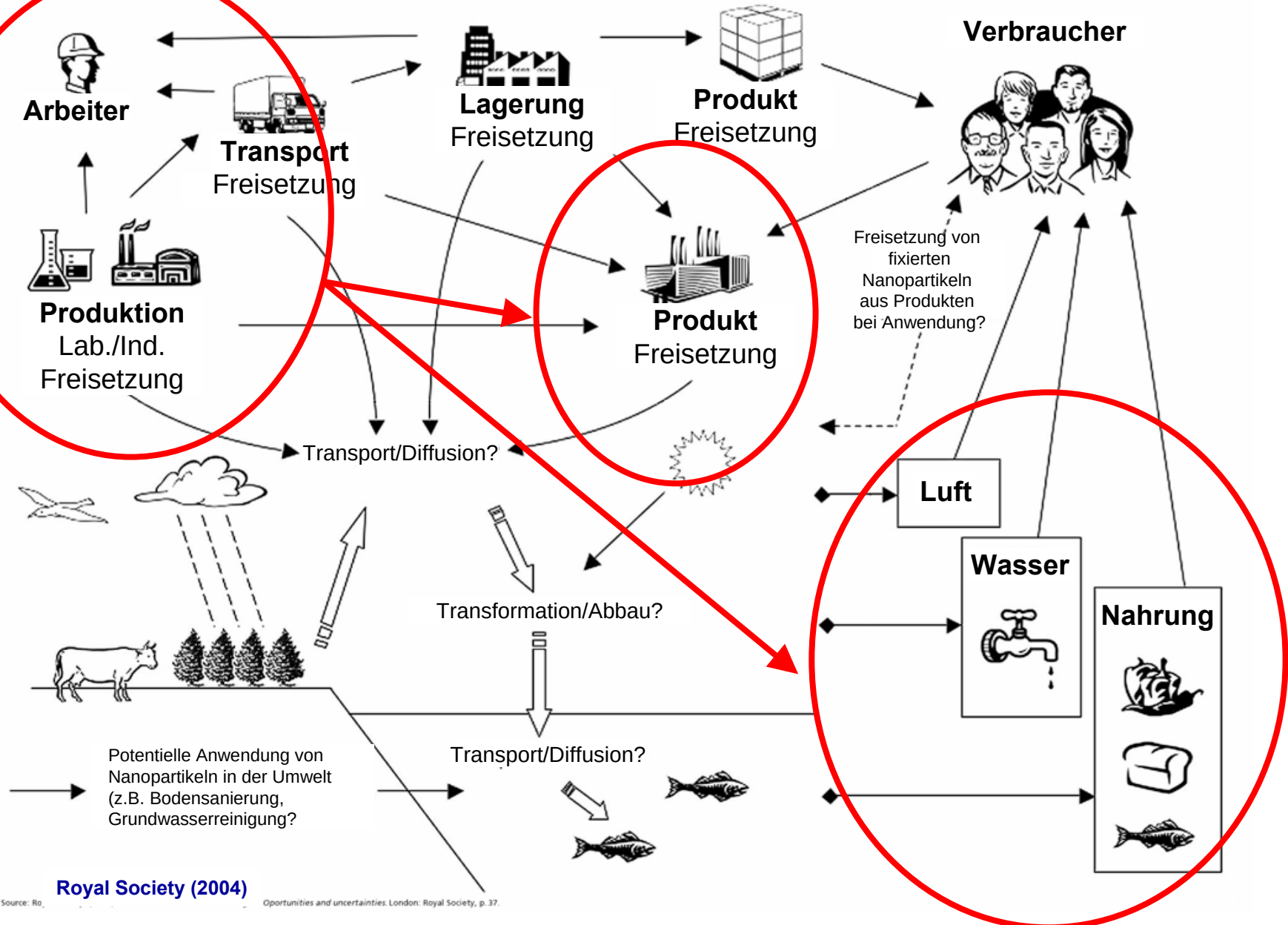
~ 6.9% der Partikel  
unter 100 nm

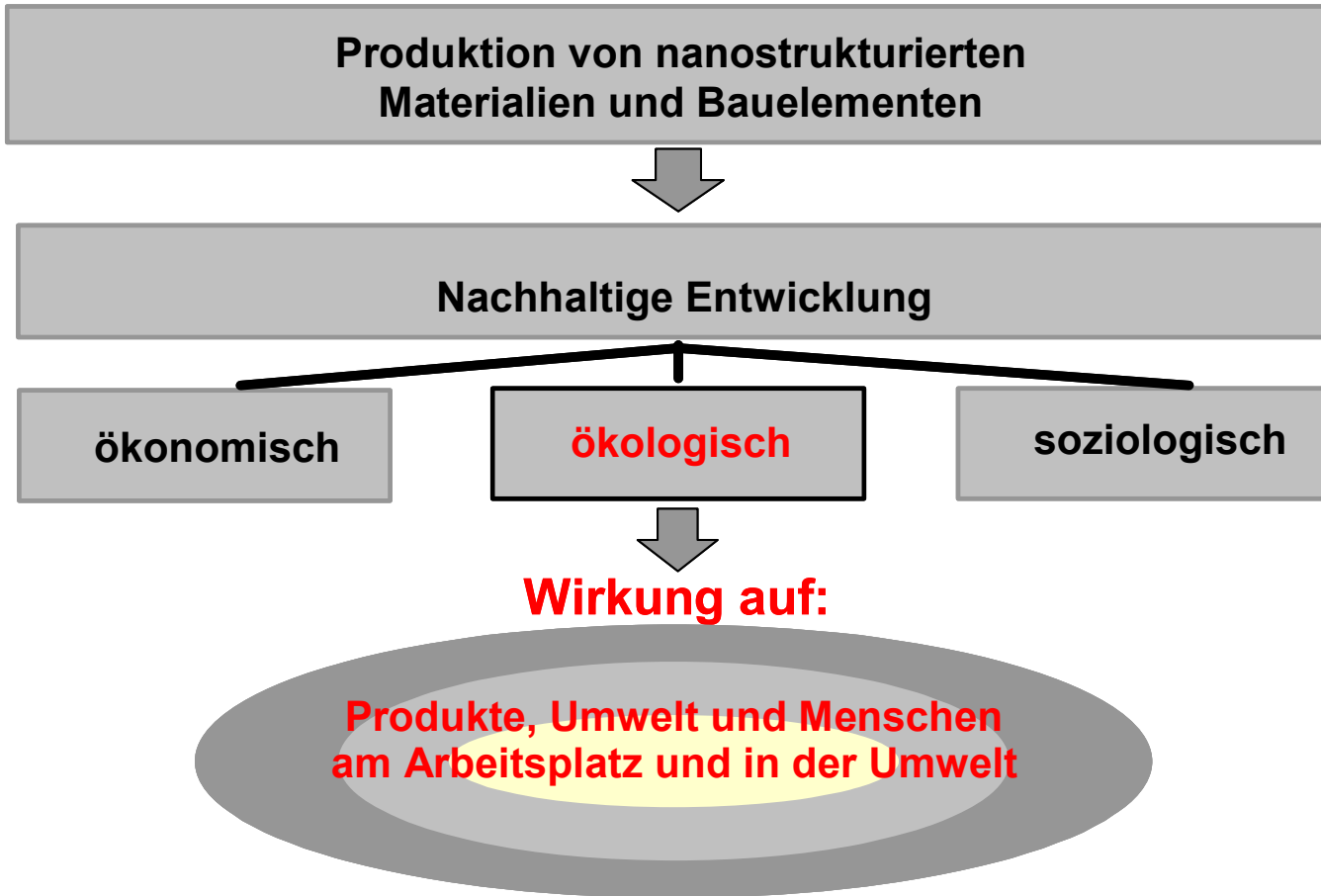
Abnahme der relativen  
Partikelkonzentration  
über ~300 nm



- “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

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

A black horizontal 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

---

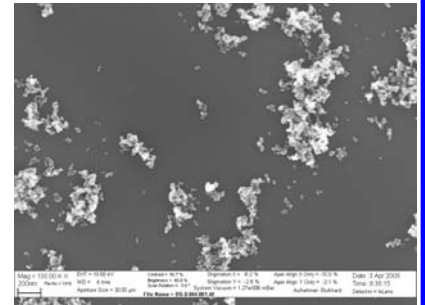
- Aufgaben des Ingenieurs in der Nanotechnologie
- Risiken für die Zukunft der NT?
- Ratschläge für die zukünftige Ausrichtung der Forschung und Entwicklung der NT in der UDE und im IUTA
- Pensionär und Forschung

# Aufgabenverteilung in der NT



Lack

**Physiker:**  
Von Makro zu Nano  
Neue Materialeigenschaften  
und Funktionen



TiO<sub>2</sub> - 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**

•

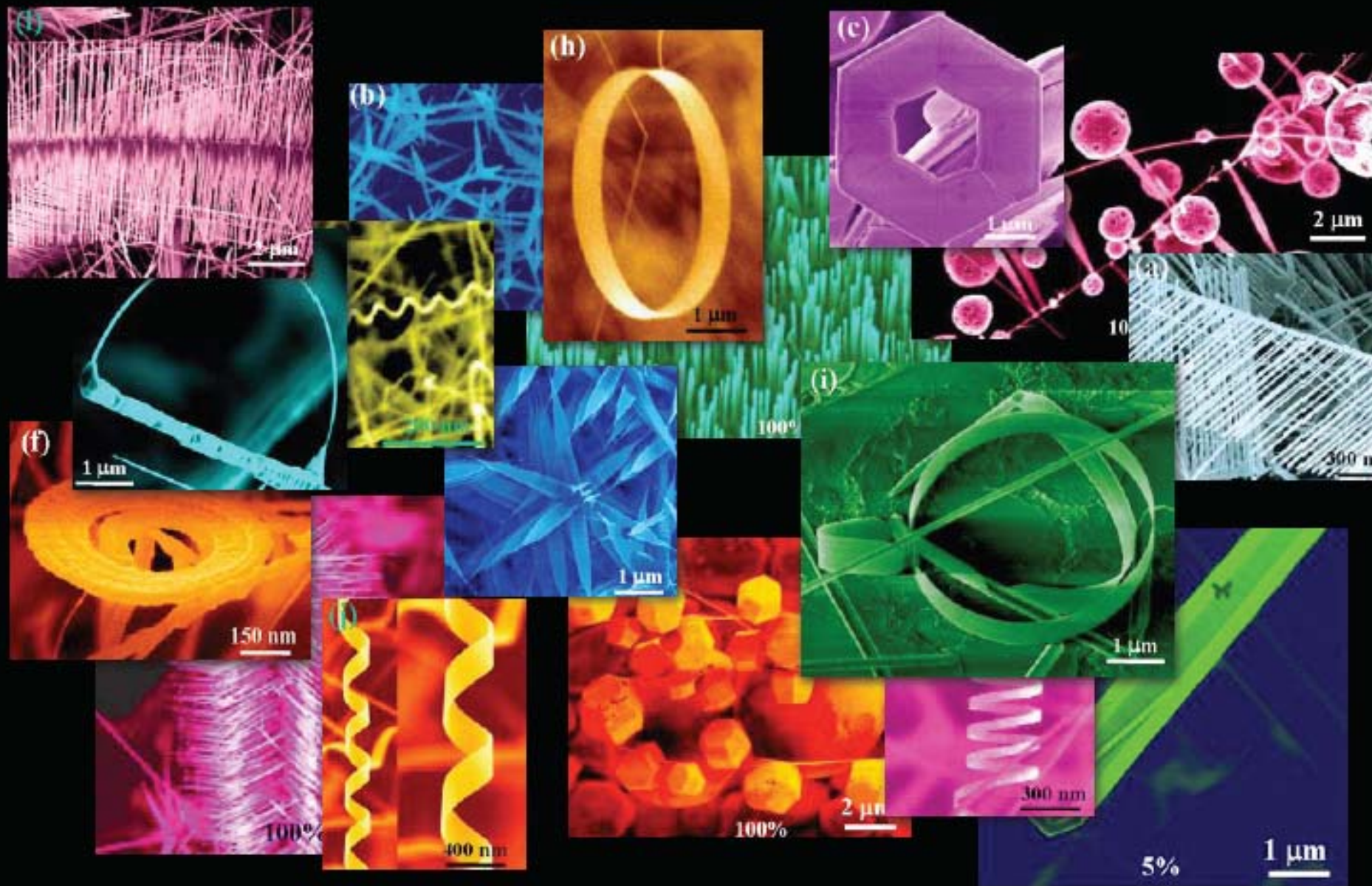
# Nanopartikel

---

- 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
- Fittertechnik
- 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), Medizинern, 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 elektronische Materialien und Bauelemente
- Produktionsverfahren → Gasphasenprozesse
- Nachhaltigkeit der Prozesse und Produkte → Vollständige Betrachtungsweise

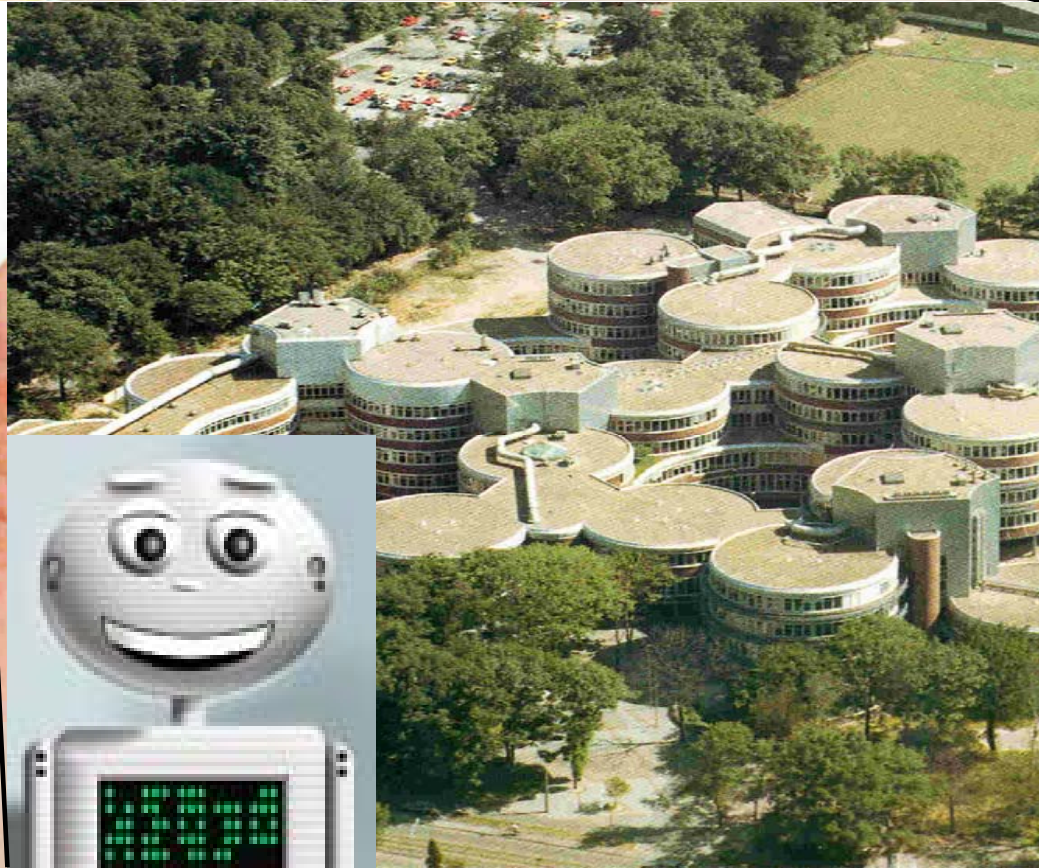
# Vom aktiven Hochschullehrer zum Pensionär

---



**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](http://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**