


UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THM
TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN



Ultrafeine Partikel – UFP

Prof. Dr. Hans-Martin Seipp
Prof. Dr. Thomas Steffens

GDA -Fachtagung

Sicherheit und Gesundheitsschutz managen - Arbeiten im Einklang

Gießen, den 30.08.18

Definitionen, med.-tox. Aspekte

UFP-Beispiele
- HF-Chirurgie
- Schweißen

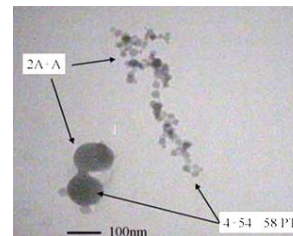
Bewertung

THM
Prof. Dr. med. H.M. Seipp
Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen

Ultrafeine Partikel

Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG, 1998)
„Primärteilchen (PT) mit einem Durchmesser < 100 nm einschließlich der Aggregate und Agglomerate (A+A) solcher PT“



DFG: Ultrafeine Aerosolteilchen, deren Agglomerate und Aggregate. Aerosole. In: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. (H. Greim, Hrsg.) (1998) 1-4. Verlag Chemie, Weinheim

THM
Prof. Dr. med. H.M. Seipp
Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen

Ultrafeine Partikel

Zur Bewertung von **A- / E-Staub**, dessen Deposition durch Sedimentation (Schwerkraft, Dichte) erfolgt, wird deren **Massenkonzentration [mg/m³]** ermittelt

Beweglichkeit von **UFP** wird vom geometrischen Durchmesser und der Teilchenform beeinflusst, nicht mehr durch Schwerkraft und Dichte.

Aus diesem Grunde hat man sich 1998 in Europa darauf geeinigt deren **Teilchenkonzentration** zu messen

NANO Partikel

Europäische Parlament (Jan. 2012)

... „natürlicher oder hergestellter Wirkstoff oder nicht wirksamer Stoff“, der "Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder Agglomerat enthält und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1-100 nm haben"

THM
Prof. Dr. med. H.M. Seipp
Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

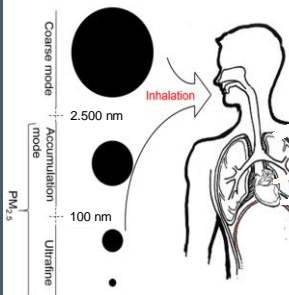
Definitionen

Ultrafeine Partikel und NANO-Partikel

- bilden Agglomerate / Aggregate bzw. können sich aus diesen wieder lösen
- intensive aktuelle Forschung zur möglichen Freisetzung kleinerer UFP / Nanopartikel aus den Agglomeraten / Aggregaten im menschlichen Körper
- medizinisch-toxikologischen Erkenntnisse zur UFP - Beurteilung an Arbeitsplätzen reichen **nicht** aus
→ **keine Expositionsgrenzwerte**
→ **keine allgemein anerkannten Messmethoden**

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

**UFP –
 Teilfraktion
 der PM_{2,5}**



Gong J. et al.: Comparisons of Ultrafine and Fine Particles in their Associations with Biomarkers Reflecting Physiological Pathways. Environ. Sci. Technol. 2014, 48, 526-73

- diskutierte Krankheitsbilder:**
- Arteriosklerose
 - Herz-Infarkt / -Reizleitungsstörungen
 - Parkinson
 - Alzheimer
 - Demenz
 - Lungenfunktions-einschränkungen
 - Minderung kognitiver Fähigkeiten

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

**UFP –
 (patho-)
 physiologische
 toxikologische
 Aspekte**

Alveolarmakrophagen (AM) → Fresszellen, 12-30 µm

- Aufnahmekapazität: ca. 6 % Eigenvolumen [12]
- zersetzen Partikel, Mikroorganismen etc. mittels Enzymen + Sauerstoffradikalen in Lysosomen
- nicht zu beseitigende Partikel:
 - A) AM wandert durch Alveolenwand zu mediastinalen Lymphknoten → Ausscheidung via Blutkreislauf
 - B) Entzündungsreaktion lockt neutrophile Granulozyten an → Immunantwort
- Partikel-Halbwertszeit in Alveolen: ca. 400 Tage [11]
- UFP: keine Aktivierung der Immunantwort → Neutrophile Granulozyten nehmen keine UFP auf
- Partikel < 100 nm führen nicht zur AM-Aktivierung → Partikel ≥ 500 nm sind erforderlich [15]
- UFP binden an innere Mitochondrien-Membran → Enzym-Freisetzung zur Selbstzerstörung [16]
- hohe UFP-Beladung der AM-Phagosomen setzen schädigende Stoffe frei und schädigen andere AM-Organellen

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

**UFP –
 (patho-)
 physiologische
 toxikologische
 Aspekte**

Physiologische Schutzbarrieren von Organen

→ Unterbindung / Regulierung des Übertritts potentiell schädlicher Stoffe / Zellen

- **Plazentaschranke:** Blutkreisläufe Mutter zu Fötus
- **Blut-Hirn-Schranke:** Astrozyten / Oligodentroyten
- **Blut-Hoden-Schranke:** Sertolizellen schränken Stofftransport in die Hodenkanälchen ein
- **Blut-Harn-Schranke:** Glomerulum und doppelwandige Bowman-Kapsel
- **Blut-Liquor-Schranke:** Blutkreislauf zur Liquorsystem des ZNS
- **Blut-Luft-Schranke:** Alveolarepithelzellen Typ I,
- **Blut-Thymus-Schranke:** Schutz reife T-Lymphozyten gegen Antigenen
- **Blut-Augen-Schranke:** Kammerwasser- und Retina-Schranke

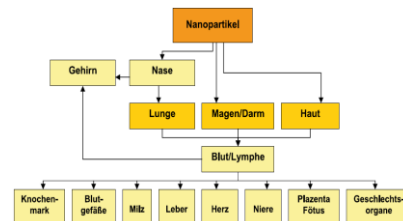
THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

**UFP –
 (patho-)
 physiologische
 toxikologische
 Aspekte**

Physiologische Schutzbarrieren von Organen

→ Unterbindung / Regulierung des Übertritts potentiell schädlicher Stoffe / Zellen

- **Plazentaschranke**
- **Blut-Hirn-Schranke**
- **Blut-Hoden-Schranke**
- **Blut-Luft-Schranke**



UBA, 2011: 1. Bilanz zur gemeinsamen Forschungsstrategie der Ressortforschungseinrichtungen des Bundes "Nanotechnologie - Gesundheits- und Umweltrisikoven Nanomaterialien" (2007-11)

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Gefahrstoffe in Einrichtungen der medizinischen Versorgung (TRGS 525 / 2015)

8.1 Chirurgische Rauchgase

8.1.2 Schutzmaßnahmen

1. ... **Handstücke mit integrierter Absaugung**
2. ... **moderne RLT-Anlagen**, z. B. nach DIN 1946-T4
3. Beschäftigte sind ... über die Entstehungsmechanismen des Rauches und raucharme Benutzung der Geräte zu **informieren**
4. Ist die Rauchgas-Gefährdungen durch ... technische und organisatorische Maßnahmen die nicht zu beseitigen, ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu entscheiden, ob z. B. **verbesserte Lüftung oder partikelfiltrierende FFP-2-Halbmasken** erforderlich werden

... normaler „medizinische Mundschutz“
 → kein geeignetes Mittel gegen chirurgischen Rauch


Chirurgischer Rauch – (Surgical Smoke, SS)

13

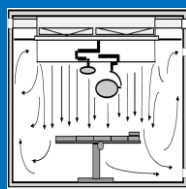
THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Untersuchungen zur OP-Team-Belastung

OP-Zuluftsyste → 2 Verfahrensarten



Turbulente Mischlüftung (TVS)



Tubulenzarme Verdrängungsströmung (TAV, Laminar-Flow)

Untersuchung während 197 OPs (6 KKH / 15 Säle):

5x TVS **10x TAV**


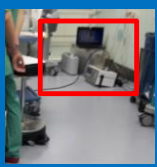
14

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Untersuchungen zur OP-Team-Belastung

Methode

1. **Probenahme am MNS**

2. **Ermittlung von Partikel-Quantilen (Pegeln):**
 Basispegel: $O_{0,5\%}$ Durchschnittspegel: $O_{50\%}$
 Spitzenpegel: $O_{99,5\%}$ Maximalbelastung: **MAX**

Chirurgischer Rauch – (Surgical Smoke, SS)

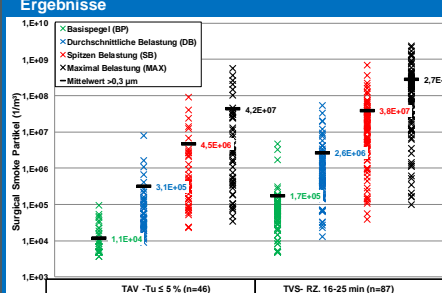
15

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Untersuchungen zur OP-Team-Belastung

Ergebnisse

x Basispegel (BP)
x Durchschnittliche Belastung (DB)
x Spitzen Belastung (SB)
x Maximal Belastung (MAX)
 = Mittelwert $\pm 0,3 \mu m$



> 10-fach geringer Partikelkonzentrationen ($\geq 0,3 \mu m$) bei TAV-Systemen – unabhängig von der Belastungsart

16

THM
Prof. Dr. med. H.M. Seipp
Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Anforderung lt. Ragde et al. 2016: ... short term peak concentrations of > E+11 particles per m³
→ **notwendige Partikel-Reduktion: 11 Log-Stufen**

Wirksamkeit technischer Schutzmaßnahmen

A) OP-Zuluft- / Luftführungs-Systeme
ca. **2-3 Log-Stufen** (99-99,9 %)

B) mobile Absaugsysteme
ca. **0,5-2 Log-Stufen** (65-99 %)

C) FFP-Masken, med. Mundschutz
< 0,4 Log-Stufen

DAHER:
Indikationsprüfung der OP-Verfahrenstechnik
Substitution von UFP-freisetzenden Verfahren – **STOP!**

Chirurgischer Rauch – (Surgical Smoke, SS)

17

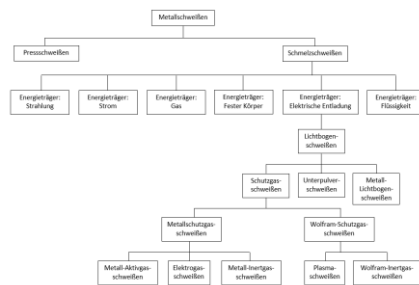
THM
Prof. Dr. med. H.M. Seipp
Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen, med.-tox. Aspekte

UFP-Beispiele - HF-Chirurgie - **Schweißen**

Bewertung

Schweißverfahren DIN 1910-100, 2008



95 % des Schweißrauches wird durch den verwendeten Zusatzwerkstoff bestimmt (TRGS 528)

→ **Stabelektroden**

THM
Prof. Dr. med. H.M. Seipp
Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

UFP im Schweißrauch unterschiedlicher Schweißverfahren

Palzer J., Lehner M., Lutz A., Möhmann C., Van Gender R., Gebel Y., Berges M., Weiss T., Pesch B., Böning T. (2011) Messungen der Anzahlkonzentration feiner und ultrafeiner Partikel im Schweißrauch: Vergleich mit geometrisch ermittelten Massenkonzentrationen im Rahmen des WELDOX-Projekts. Gefährdungsbeurteilung der Luft. Nr. 71. HGS, S. 389-392. Springer-VDI-Verlag, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

Verfahren	Werkstoff	Elektrode	Gas [%]	MMD [nm]	AER [Partikels]
LHS	1.0038	Rutil-basisch, niedriglegiert	-	370	4,20E+11
MAG	1.0038	Massivdraht Niedriglegiert	82 Ar, 18 CO ₂	390	4,83E+11
WIG	1.4541	Stab, hochlegiert	100 Ar	n.V.	3,69E+11

Pohmann G., Holzner K., Spiegel-Globaru V.A. (2012) Vergleichende Untersuchungen zur Charakterisierung ultrafeiner Partikel in Raucher beim Schweißen und bei weiteren Verfahren. S. 1-18. Grundlagen der Untersuchungen und Ergebnisse und Diskussionen. Schweißen und Schneiden 84 Nr. 5 & 6, DVS Media GmbH, 4023 Düsseldorf

19

THM
Prof. Dr. med. H.M. Seipp
Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Zusammenhang zw. Masse, Größe und Anzahl von UFP im Schweißrauch

LOQ: limit of quantification

Quelle: Palzer J., Lehner M., Lutz A., Möhmann C., Van Gender R., Gebel Y., Berges M., Weiss T., Pesch B., Böning T. (2011) Messungen der Anzahlkonzentration feiner und ultrafeiner Partikel im Schweißrauch: Vergleich mit geometrisch ermittelten Massenkonzentrationen im Rahmen des WELDOX-Projekts. Gefährdungsbeurteilung der Luft. Heft 71 Nr. 5-6, S. 389-392. Springer-VDI-Verlag, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

20

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen,
 med.-tox.
 Aspekte

UFP-Beispiele
 - HF-Chirurgie
 - **Schweißen**

Bewertung

Untersuchung der Eignung gängiger Schutzmaßnahmen bzgl. UFP

Schweißrauchabscheideeinrichtung mit Lufrückführung

- Messung im Schweißlabor THM
- reproduzierbare Schweißvorgänge
- unlegierter Stahl

Lichtschutzhelm

- Messung in Schweißerei
- variierende Werkstücke
- Edelstahl

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen,
 med.-tox.
 Aspekte

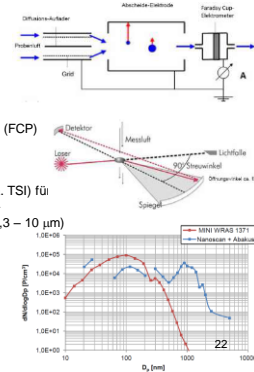
UFP-Beispiele
 - HF-Chirurgie
 - **Schweißen**

Bewertung

Messweise Schweißrauchabscheideeinrichtung

GRIMM MINI-WRAS 1371

- Laser-Messzelle
 - 253 - 35150 nm
 - Streulichintensität
- Diffusionsauflader
 - 10 - 139 nm [„Nano-Sizer“]
 - Faraday-Cup-Electrometer (FCP) für elektrische Mobilität
- Referenzmessungen mit
 - Nanoscan SMPS 3910 (Fa. TSI) für Abakaus mobil Air-Partikelzähler (Fa. Klotz) für FP (0,3 – 10 µm)
- Versuchsaufbau



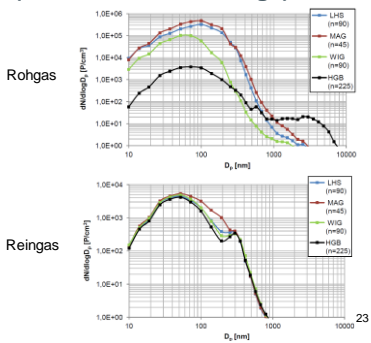
THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen,
 med.-tox.
 Aspekte

UFP-Beispiele
 - HF-Chirurgie
 - **Schweißen**

Bewertung

Abscheidewirkung einer Schweißrauchabscheideeinrichtung der Klasse W 3 (lufrückführende Anlage)



THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

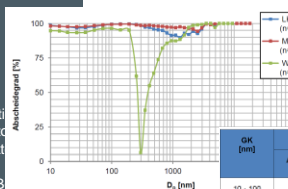
Definitionen,
 med.-tox.
 Aspekte

UFP-Beispiele
 - HF-Chirurgie
 - **Schweißen**

Bewertung

Klassifizierung einer Schweißrauchabscheideeinrichtung der Klasse W 3 gemäß DIN EN ISO 15012-1

größenbezogene Betrachtung



- W1: Abscheidungsgrad ≥ 95 %
- W2: Abscheidungsgrad ≥ 98 %
- W3: Abscheidungsgrad ≥ 99 %

DK [nm]	LHS (n=90)	MAG (n=45)	WIG (n=90)
	Abscheidung [%]	Abscheidung [%]	Abscheidung [%]
10 - 100	98,33 (W2)	98,64 (W2)	95,11 (W1)
139 - 2530	99,95 (W3)	99,37 (W3)	91,54 (-)
2982 - 35150	97,92 (W1)	98,14 (W2)	95,02 (W2)
10 - 35150	98,66 (W2)	98,84 (W2)	91,54 (-)

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen, med.-tox. Aspekte

UFP-Beispiele - HF-Chirurgie - **Schweißen**

Bewertung

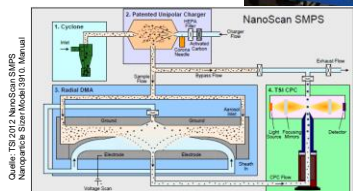
Messweise Schutzmaßnahme Lichtschutzhelm

Messweise

- NanoScan SMPS 3910 (Fa. TSI)
- UFP/FP 10 und 400 nm
- mit Verdünnungsstufe
- MAG-Schweißen von Edelstahl
- variierende Werkstücke



Scanning Mobility Particle Sizers



25

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen, med.-tox. Aspekte

UFP-Beispiele - HF-Chirurgie - **Schweißen**

Bewertung

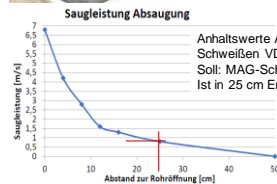
Probennahme



Lichtschutzhelm

[+ Arbeitsplatz]

Messpunkte



Anhaltswerte Absaugleistung für Schweißen VDI 2262-4
 Soll: MAG-Schweißen min. 0,5 m/s
 Ist in 25 cm Entfernung: 0,8 m/s

26

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

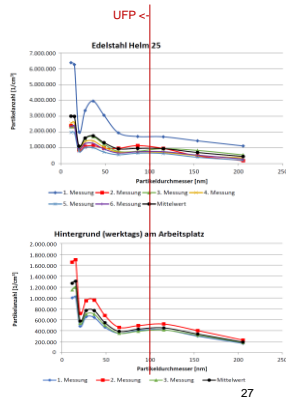
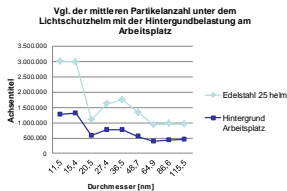
Anzahl UFP unter Lichtschutzhelm

25 cm Abstand zw. Schweißort und Absaugung

Vgl. der mittleren Partikelanzahl unter dem Lichtschutzhelm mit der Hintergrundbelastung am Arbeitsplatz

Anzahl UFP unter Lichtschutzhelm

25 cm Abstand zw. Schweißort und Absaugung



27

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen, med.-tox. Aspekte

UFP-Beispiele - HF-Chirurgie - **Schweißen**

Bewertung

Fazit zum Aspekt UFP beim Schweißen

- Lichtschutzhelm**
- unter dem Lichtschutzhelm sammeln sich UFP
 - trotz geeigneter Absaugung verbleiben dort etwa doppelt soviel UFP wie in der Atemluft am Arbeitsplatz
- Schweißrauchabscheideeinrichtung**
- betrachtete Schweißrauchabscheideeinrichtung reduziert Partikelanzahl um etwa den Faktor 10
 - unter den gegebenen Bedingungen nicht über alle Größenklassen wirksam (nicht bei UFP + FP < 1.000 nm)
 - Einstufung in Klasse W3 nach DIN EN ISO 15021-3 erfolgt auf Basis gravimetrischer Messungen
 - > UFP sind schwer zu wiegen: Werden diese dabei erfasst?
 - > ist die Toxikologie der zurückgeführten Partikel zu vernachlässigen?
 - > findet ein Anreichern im Raum statt?

28

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen,
 med.-tox.
 Aspekte

UFP-Beispiele
 - HF-Chirurgie
 - Schweißen

Bewertung

Umgang mit UFP – Status quo und notwendige Entwicklungen

- UFP (< 100 nm) sind der toxikologisch bedeutsame Teil des einatembaren und aleveolengängigen Staubes
- bei Tätigkeiten wie das Kautern und Schweißen entstehen überwiegend UFP (10⁶ bis 10¹⁰), deren Anteil am Gewicht des einatembaren sowie des alveolengängigen Staubes minimal ist (2 – 10 % beim Schweißrauch) [Spiegel/Gabener/BDHW/Schweißrauch/Schweißert, Ausgabe 04/2014]
- bisher gängige Grenzwertkonzepte basieren auf gravimetrischen Messmethoden, die UFP wenig berücksichtigen
- ASGW ist deshalb für UFP ungeeignet und soll auch nicht auf diese angewendet werden [Schimann, C.: Ultrafeine (Aerosol) Tröpfchen und deren Agglomerate und Aggregate Nr. 247/253, im: Handlung von Gefahrstoffen: BGI/BAFA-Arbeitsblätter 28, 1. Aufl., 1/2007]
- TRGS 900 schließt UFP nicht explizit von ASGW aus → TRGS 900 ergänzen
- für Leitsubstanzen in UFP risikobasiertes Konzept
- der TRGS 910 anwenden → was ist, wenn keine Leitsubstanz bekannt ist? BekGS 527?! ←
- Schutzmaßnahmen wie PSA, Absaug- oder Filtereinrichtungen müssen für Umgang mit UFP geeignet sein

→ technische Qualifizierung auf Größe + Anzahl der Partikel UFP ausrichten 29

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen,
 med.-tox.
 Aspekte

UFP-Beispiele
 - HF-Chirurgie
 - Schweißen

Bewertung

Beurteilung der Exposition gegenüber Nanopartikeln nach BekGS 527

- bei toxischen Inhaltsstoffen AGW (TRGS 900) oder TRGS 910 anwenden
- Empfehlung für GBS (granuläre biobeständige Stäube) ohne spezifische toxische Eigenschaften („inerte Stoffe“; z.B. TiO₂):
 - ASGW von 0,5 mg/m³ (bei 2,5 g/cm³)
 - Vorsorgewert 0,1 mg/m³ (bei 2,5 g/cm³)
- abgestufte Gefährdungsbetrachtung:
 - orientierende Messung der Partikelanzahlkonzentration (P/cm³)
 - eingehend Expositions-betrachtung (inkl. gravimetrische Bestimmung)
- „signifikante Überschreitung“ erst bei Anstieg um Faktor 2 bis 3 im Vgl. zu ubiquitärer Hintergrundbelastung

aber: „Nanopartikel“ im Sinne der BekGS 527 sind künstlich/vorsätzlich hergestellte UFP!

30

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Definitionen,
 med.-tox.
 Aspekte

UFP-Beispiele
 - HF-Chirurgie
 - Schweißen

Bewertung

Empfehlung des IFA zur Bewertung von UFP

<https://www.dgvr.de/fachforum/nanopartikel-am-arbeitsplatz/beurteilung-von-schutzmaßnahmen/index.php, aufgerufen am 28.08.18>

- ASGW nicht überschreiten
- Stand der Technik einhalten
- „zulässige“ Erhöhung der Hintergrundbelastung am Arbeitsplatz:
 - 20.000 P/cm³ bei Dichte > 6 000 kg/m³
 - 40.000 P/cm³ bei Dichte < 6 000 kg/m³
- für GBS-Nanomaterialien in einer Größe von 1 – 100 nm
- bezogen auf die gesamte Schicht
- pragmatische Regelung – nicht toxikologisch begründet!
- Basis: messtechnische Erfahrung + Nachweisgrenze der Messverfahren
- auch bei Einhaltung dieser Beurteilungswerte kann für die Beschäftigten ein gesundheitliches Risiko bestehen!
- je nach Zusammensetzung AGW/Risikokennwerte berücksichtigen

31

THM
 Prof. Dr. med. H.M. Seipp
 Prof. Dr.-Ing. T. Steffens

Vielen Dank!

Prof. Dr. med. Dipl. Ing. Hans Martin Seipp
 (0641) 309-2571
hans-martin.seipp@lse.thm.de

Prof. Dr.-Ing. Thomas Steffens
 (0641) 309-2515
thomas.steffens@lse.thm.de

THM Technische Hochschule Mittelhessen - University of Applied Sciences
 Fachbereich Life Science Engineering (LSE)
 Wissenstraße 14
 35390 Gießen

32