

Leibniz-Forschungsverbund Nanosicherheit

Zusammenfassung

Nanotechnologisch erzeugte Materialien und Produkte stehen mehr denn je im Fokus aktueller Materialentwicklungen, da sie Lösungen für bedeutsame Technologiefelder versprechen. Die sichere Anwendung dieser Materialien ist zentral für ihre nachhaltige Nutzung. Durch die Vielzahl der Materialtypen, ist das Verständnis der durch Nanomaterialien angestoßenen Prozesse sowie deren Vorhersage immer noch begrenzt. Die Thematik stellt nicht nur eine wissenschaftliche Herausforderung dar, sondern ist auch von hoher gesellschaftlicher Relevanz.



Abbildung 1: Zentrale Themen waren das VERSTEHEN von durch Nanopartikel hervorgerufenen Wirkungen, das ENTWICKELN sicherer Nanomaterialien und das ERKLÄREN von Fragestellungen rund um das Thema Nano. Zusätzlich entwickeln die Verbundpartner gemeinsam Qualitätsstandards für eine FORSCHUNGSDATEN-INFRASTRUKTUR in diesem Bereich um Grundlagen für eine verbesserte und nachvollziehbare Risikobewertung und Regulierung zu schaffen.

Der Leibniz-Forschungsverbund Nanosicherheit befasste sich während zwei Förderperioden, von 2012 bis 2020/2, mit der Sicherheit von Nanomaterialien und Nanoprodukten. Im Fokus standen vier Ziele (Abb. 1):

- A Aufklärung der Wirkmechanismen von Nanomaterialien und deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (Verstehen)
- B Design sicherer Nanomaterialien (Entwickeln)
- C Aufbau einer digitalen Infrastruktur für Nanosicherheitsdaten (Forschungsdateninfrastruktur / Datenbank zur Nanosicherheit)
- D Förderung des öffentlichen Diskurses über Fragen zur Nanosicherheit (Erklären)

Die vier Themen wurden im Rahmen von Kooperationen zwischen den beteiligten Partnern und im Rahmen nationaler und internationaler Kooperationen und Projekte bearbeitet. Die Ergebnisse wurden entsprechend publiziert. Mehrere laufende Projekte und Initiativen wirken über die Laufzeit des LFV hinaus, darunter das laufende BMBF-Projekt *NanoS-QM* sowie eine aus dem Verbund hervorgehende Antragstellung im Kontext der nationalen Forschungsdateninfrastruktur.

Diese Aktivitäten führten nicht nur zu einer intensiven Zusammenarbeit der Projektpartner*innen untereinander, sondern bewirkten auch ihre weitere Einbettung und Sichtbarkeit innerhalb der nationalen und internationalen Fachgemeinschaft. Die Zusammenarbeit wurde weiterhin durch die Durchführung gemeinsamer Promotionsprojekte, Studien und wissenschaftliche Aufenthalte an den Partnerinstituten gestärkt.

Im engen Austausch zwischen den Partner*innen wurden national und international sichtbare Veranstaltungen, wie Workshops und Konferenzen organisiert. Beiträge in der (regionalen) Presse, Radio- und Fernsehbeiträge, Podiumsdiskussionen und Gespräche mit Politiker*innen, sowie die Teilnahme an Veranstaltungen wie Tagen der offenen Tür, Girlsday, BMBF Schülerpraktikum „Werkstoff-Ferien“ trugen dazu bei, das Thema Nanosicherheit an ein breites Publikum zu kommunizieren.

Nach 8 Jahren (entsprechend 2 Förderperioden) Forschung zum Thema Nanosicherheit entschlossen sich die Mitglieder des Leibniz-Forschungsverbund Nanosicherheit den Fokus ihrer Aktivitäten zu erweitern und als [Leibniz-Forschungsverbund Advanced Materials Safety](#) ihre Expertisen auf die Untersuchung der Sicherheit hochentwickelter Materialien zu übertragen. Um den Herausforderungen des Themas in Breite und Tiefe gerecht zu werden, wurde die Anzahl der Partnerinstitute auf 12 erweitert.

Die Verbundpartner*innen

Ein Zusammenschluss von sieben Instituten der Leibniz-Gemeinschaft, die sich mit Materialwissenschaften, Zellbiologie, Gesundheit und Toxikologie, Immunologie, Arbeitssicherheit, wissenschaftlichen Datenbanken und der Wissensvermittlung beschäftigen, kollaborierten an gemeinsamen Forschungsprojekten zum Thema Nanosicherheit.



INM – Leibniz-Institut für Neue Materialien, Saarbrücken
Nano-Zell Interaktion



IfADo – Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund
Forschungsbereich Toxikologie



IUF – Leibniz-Institut für umweltmedizinische Forschung an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Umweltinduzierte Haut- und Lungenalterung
Partikel, Entzündung und Genomintegrität



IWT – Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien, Bremen
Lehrstuhl für Verfahrenstechnik



IPF – Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden
Funktionale nanostrukturierte Grenzflächen und Polymersysteme
Biologie-inspirierte Grenzflächen und Materialgestaltung
Funktionale Nanokomposite und Blends



IWM – Leibniz-Institut für Wissensmedien
Forschungsbereich Multimodale Interaktion



FIZ Karlsruhe - Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur

Beispiele aus der Forschungsarbeit des Verbunds

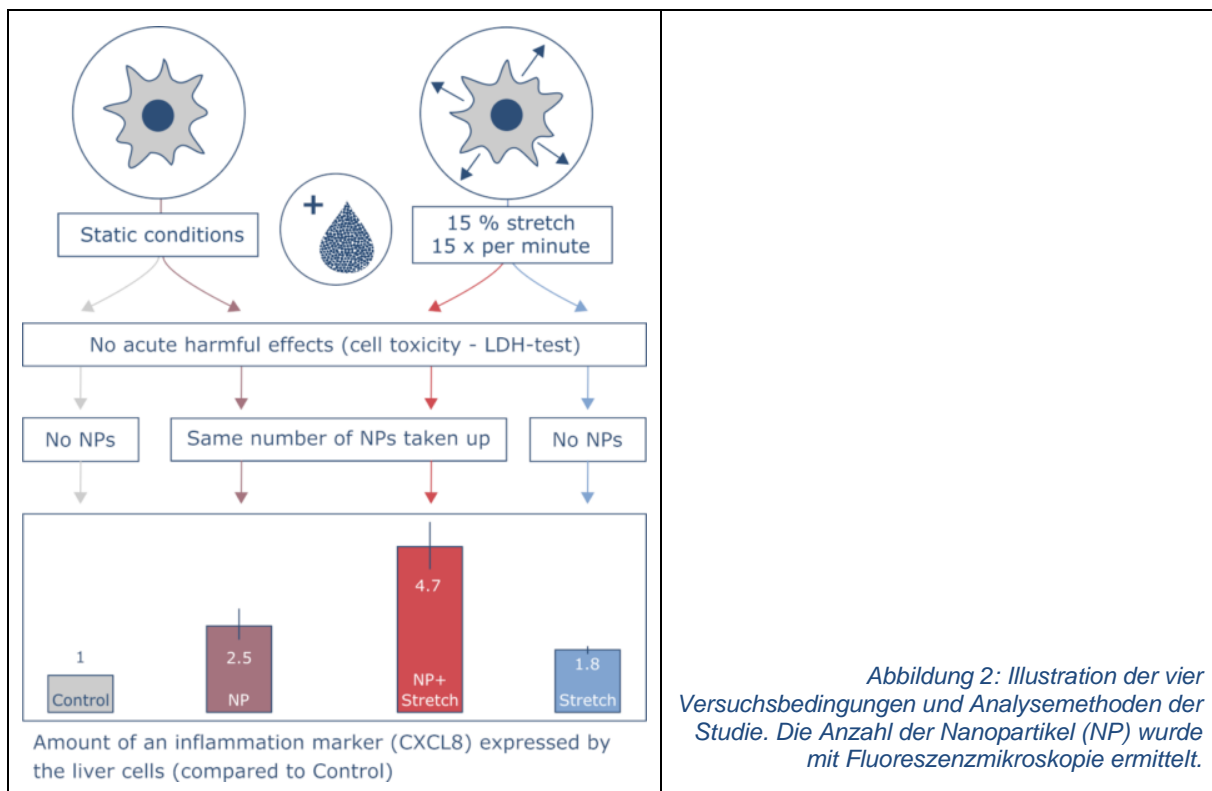
A Aufklärung der Wirkmechanismen von Nanomaterialien und deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (Verstehen)

Die Wechselwirkungen von Nanomaterialien mit lebenden Organismen bestimmen wesentlich die Sicherheit dieser Stoffe. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Materialien können, müssen aber nicht, zu Beeinträchtigungen der Funktionen des

menschlichen Körpers führen. Ziel ist es, die Interaktionen von Nanomaterialien mit dem menschlichen Körper zu erkennen und mechanistisch aufzuklären.

Atmungsähnliche Dehnung von Lungenzellen in Zellkultur beeinflusst Reaktion auf Nanopartikel

Wie reagieren Lungenzellen auf Stoffe, die so klein sind, dass sie bis in die tiefe Lunge gelangen können? Um diese Frage zu beantworten, kultivieren Forschende Lungenzellen im Labor in Zellkultur. Die Ergebnisse dieser stark vereinfachten Modelle lassen sich jedoch nicht direkt auf komplexe, lebende Organismen übertragen. Nun haben Expertinnen und Experten des Leibniz-Forschungsverbundes Nanosicherheit zusammen mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität des Saarlands und der TU Dortmund untersucht, wie menschliche Lungenzellen auf Nanopartikel reagieren, wenn sie – wie in der Lunge – während der Kulturphase gedehnt werden. Sie konnten zeigen, dass die Lungenzellen durch die mechanische Dehnung stärker auf Nanopartikel reagierten, und zwar ähnlich wie bei einer Entzündungsreaktion. Möglichst wirklichkeitsnahe Kulturbedingungen sind das Ziel der Untersuchungen.



Förderung: Diese Studie wurde im Rahmen des Leibniz-Forschungsverbundes Nanosicherheit durchgeführt und teilweise von der Leibniz-Gemeinschaft gefördert.

Publikation: Carmen Schmitz, Jennifer Welck, Isabella Tavernaro, Marianna Grinberg, Jörg Rahnenführer, Alexandra K. Kiemer, Christoph van Thriel, Jan G. Hengstler & Annette Kraegeloh, Mechanical strain mimicking breathing amplifies alterations in gene expression induced by SiO₂ NPs in lung epithelial cells. *Nanotoxicology* 13:9 (2019) 1227; <https://doi.org/10.1080/17435390.2019.1650971>

Sicherheit von Nanopartikeln: Dreidimensionales Leberzellmodell zur verbesserten Bewertung neuer biomedizinischen Anwendungen von Nanopartikeln

Wissenschaftlerinnen der Forschungsgruppe Nano Zell Interaktionen am INM – Leibniz-Institut für Neue Materialien untersuchen gemeinsam mit Mitarbeitenden der Firma Pharmacelsus GmbH ein dreidimensionales Leberzellmodell, um neue biomedizinische Anwendungen von Nanopartikeln zu prüfen. Ziel ist es die Sicherheit neuartiger Anwendungen von Anfang an verlässlich zu beurteilen. Im Unterschied zu herkömmlichen zweidimensionalen Zellmodellen ist es im dreidimensionalen Zellmodell möglich, verschiedene Biomarker mit Informationen zur Eindringtiefe der Nanopartikel in das Gewebe zu kombinieren.

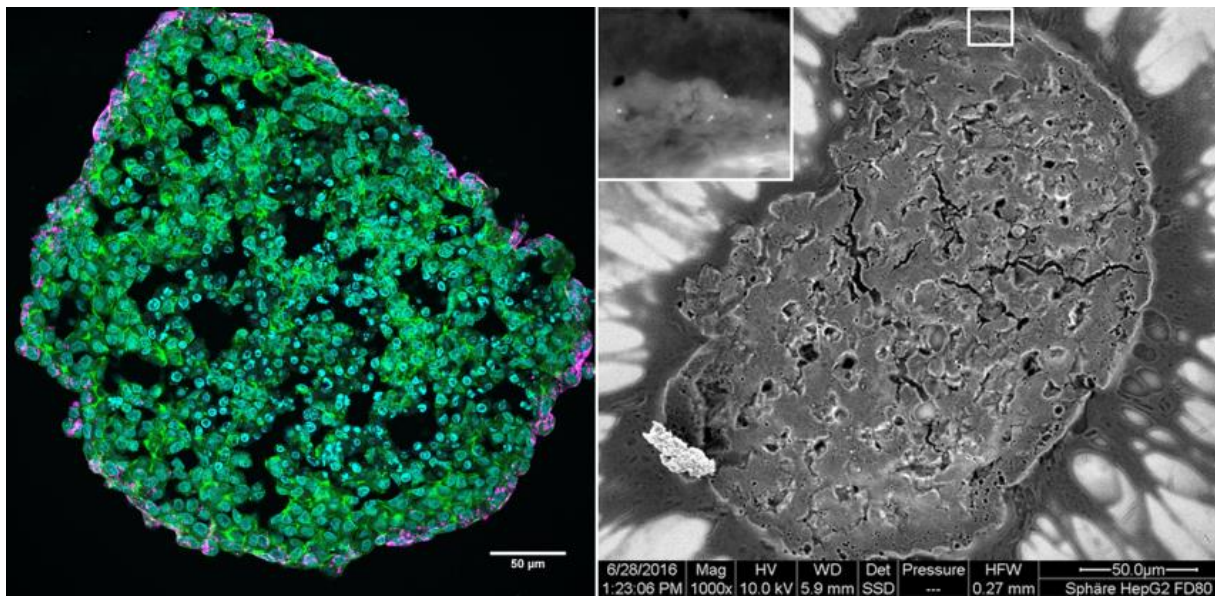


Abbildung 3: Links: Das Fluoreszenzbild zeigt den Querschnitt eines dreidimensionalen Lebergewebemodells (grün: Zellskelett, blau: Zellkerne) mit Silikananopartikeln (magenta) am äußeren Rand. Rechts: Elektronenmikroskopisches Bild eines Leberzellmodells. Im Randbereich des Mikrogewebes sind einzelne Nanopartikel erkennbar (helle Punkte im Detailbild). [Jana Fleddermann]

Projekt: NanoDopa - Dopamin beladene Nanopartikel für therapeutische Zwecke

Laufzeit: 2018 – 2021

Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Kooperationsnetzwerks NanoPharm des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM), sowie der Open-Access-Publikationsfonds der Leibniz-Gemeinschaft

Publikation: J. Fleddermann, J. Susewind, H. Peuschel, M. Koch, I. Tavernaro, A. Kraegeloh, Distribution of SiO₂ nanoparticles in 3D liver microtissues. Int. J. Nanomed, 2019, 14, 1411-1431.

<https://doi.org/10.2147/IJN.S189888>

B Design sicherer Nanomaterialien (Entwickeln)

Aus den Kenntnissen der Wechselwirkungsmechanismen zwischen Nanomaterialien und biologischen Systemen sollen Konzepte abgeleitet werden, die bereits bei der Entwicklung neuer Nanomaterialien berücksichtigt werden können. Ziel ist es, materialchemisch auf aktuelle Entwicklungen in der industriellen Fertigung zu reagieren und Testsysteme für die industrielle Anwendung bereitzustellen.

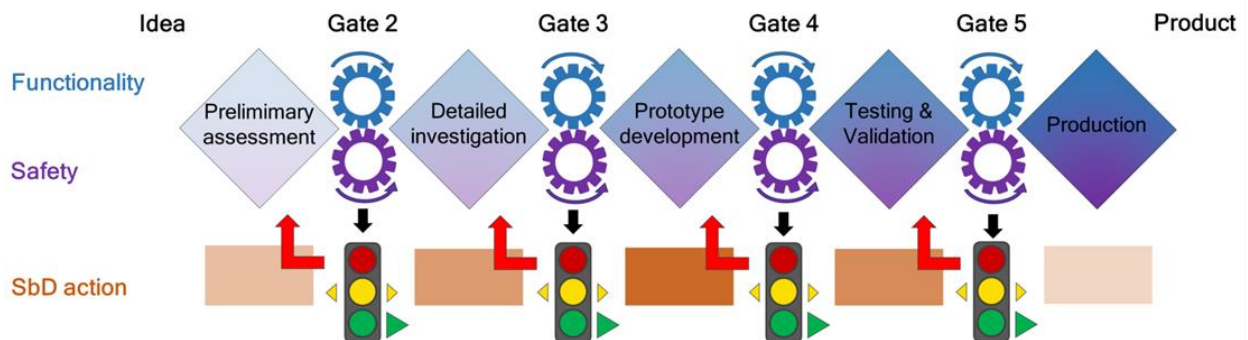


Abbildung 4: Das „Safe-by-Design“-Prinzip.

NanoReg2

Die Grundsätze des "Safe by Design" (SbD) gewährleisten, dass Nanomaterialien von Anfang an unter Berücksichtigung von Sicherheits- und Umweltaspekten entwickelt werden. Dieser Ansatz ebnet den Weg für sicherere und nachhaltigere Anwendungen in allen Bereichen.

Projekt: <https://doi.org/10.3030/646221>

Projektlaufzeit: 2015 – 2019

Förderung: EU Horizon 2020

Publikation: Tavernaro I, Dekkers S... Kraegeloh A et al., Safe-by-Design Part II: A Strategy for Balancing Safety and Functionality in the Different Stages of the Innovation Process. *NanoImpact* 24 (2021) 100354; <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100354>

C Aufbau einer Infrastruktur zum Forschungsdatenmanagement für die Nanosicherheit, Etablierung einer Ontologie zur Wiederverwertung von Informationen (Forschungsdateninfrastruktur)

Forschungsdaten sind als nationales Kulturgut anzusehen. Sie werden durch aufwändige Erhebungsverfahren und meist unter Einsatz öffentlicher Mittel gewonnen. Sie sollten daher dauerhaft gesichert und der (Fach-) Öffentlichkeit sowie zukünftigen (Forscher-) Generationen zur Nachnutzung zur Verfügung gestellt werden. Im Mittelpunkt einer vernetzten Informationsinfrastruktur sollten Forschungsdatenzentren stehen, die registrierte Datensätze zur Wiederauffindbarkeit archivieren.

Qualitäts- und Beschreibungsstandards für Forschungsdaten auf dem Gebiet der Nanosicherheitsforschung (NanoS-QM)

Die Sicherheitsbewertung gezielt hergestellter Nanomaterialien ist ein hochkomplexer Prozess, zu dem Forschende unterschiedlicher Fachbereiche beitragen. Große Mengen an Daten und beschreibenden Metadaten werden erzeugt, die – sofern sie qualitative Voraussetzungen erfüllen und ausführlich beschrieben sind – für die Erforschung und Entwicklung von Nanomaterialien und -produkten sowie für Vorhersagen und zur Risikobewertung auch im regulatorischen Kontext wiederverwendet werden können. Mögliche gesundheitliche Auswirkungen neu entwickelter Nanomaterialien könnten so schneller identifiziert, unnötige Wiederholung von Experimenten vermieden und die Entwicklung neuer, tierversuchsfreier Methoden vorangebracht werden. Welche Kriterien interdisziplinäre Daten

und die dazugehörigen Metadaten erfüllen müssen, um sie für die Untersuchung von Nanosicherheit verwenden zu können, haben Forschende ermittelt.

Laufzeit: 2019 –2021

Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Förderlinie: Entwicklung und Erprobung von Kurationskriterien und Qualitätsstandards von Forschungsdaten

Publikation: Linda Elberskirch, Kunigunde Binder, Norbert Riefler, Adriana Sofranko, Julia Liebing, Christian Bonatto Minella, Lutz Mädler, Matthias Razum, Christoph van Thriel, Klaus Unfried, Roel P. F. Schins & Annette Kraegeloh, Digital research data: from analysis of existing standards to a scientific foundation for a modular metadata schema in nanosafety. Part Fibre Toxicol 19, 1 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12989-021-00442-x>

D Förderung des öffentlichen Diskurses über Fragen zur Nanosicherheit (Erklären)

Die gesellschaftliche Auseinandersetzung mit dem Potenzial und den Risiken von Nanoprodukten steht erst am Anfang einer längeren Entwicklung. Der Forschungsverbund beschäftigt sich mit der Frage, wie die Öffentlichkeit darin unterstützt werden kann, sich ein fundiertes Urteil über ein aktuelles Wissenschaftsgebiet zu bilden, das einerseits verspricht, durch wissenschaftliche Neuerungen in unserem unmittelbaren Lebenszusammenhang immer mehr Kontrolle über Naturvorgänge möglich zu machen, das aber andererseits auch mit vielen diffusen Sicherheitsbedenken und Ängsten assoziiert ist.

Eine wichtige Komponente dieses gesellschaftlichen Diskurses besteht in der Vermittlung und dem Austausch von Informationen und Meinungen zum Thema Nanosicherheit mit Hilfe digitaler und klassischer Medien (z. B. Internet und Fernsehen), aber auch durch Ausstellungen und Museen, in denen diese Thematik aufgegriffen wird. In beiden Fällen geht es nicht nur um die Vermittlung von Faktenwissen, sondern vor allem auch um die Ausbildung eines vertieften Verständnisses von komplizierten und kontrovers diskutierten Zusammenhängen.



Abbildung 5: Darstellung der Betrachtungsdauer verschiedener Bereiche eines erfundenen Textes zum Thema Nanopartikel, der widersprüchlichen Informationen enthält. Diese Heatmap wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts des IWM erstellt. [Steffen Gottschling]

Studie zum Verständnis von komplexen Informationen am Beispiel von Nanopartikeln

Im Dezember 2018 fand eine mehrtägige Studie mit Experten des INM zum Thema Nanopartikel statt. Die Studie wird vom Institut für Wissensmedien in Tübingen, einem Partner des Leibniz-Forschungsverbundes Nanosicherheit, durchgeführt. Ziel der Studie ist es zu vergleichen, wie Experten und Laien komplexe und widersprüchliche Informationen erfassen und bewerten. Hierzu wurden Fragebögen mit Bestimmung der Blickrichtung und -länge der Probanden auf einen Text (Eye-Tracking) kombiniert. Die Ergebnisse, welche voraussichtlich im Sommer 2019 vorliegen, sollen Forschern helfen ihre Arbeitsergebnisse verständlicher zu kommunizieren und Missverständnisse in der Vermittlung von wissenschaftlichen Ergebnissen zu verhindern.

Förderung: Diese Studie wurde im Rahmen des Leibniz-Forschungsverbundes Nanosicherheit durchgeführt und teilweise von der Leibniz-Gemeinschaft gefördert.

Publikation: Kammerer Y et al., The Role of Internet-Specific Justification Beliefs in Source Evaluation and Corroboration During Web Search on an Unsettled Socio-Scientific Issue. J Edu Comput Res 59:2 (2021) 342; <https://dx.doi.org/10.1177/0735633120952731>

Wichtige Publikationen

Die hier ausgewählten Artikel bzw. Buchkapitel sind direkt aus Kooperationen des LFV hervorgegangen.

A Aufklärung von Wirkmechanismen von Nanomaterialien und deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Schmitz C, Welck J, Tavernaro I et al., Mechanical strain mimicking breathing amplifies alterations in gene expression induced by SiO₂ NPs in lung epithelial cells. Nanotoxicology 13:9 (2019) 1227; <https://doi.org/10.1080/17435390.2019.1650971> (INM, IfADo, Uds)

Stöckmann D, Spannbrucker T, Ale-Agha N et al., Non-Canonical Activation of the Epidermal Growth Factor Receptor by Carbon Nanoparticles. Nanomaterials 8:4 (2018) 267; <https://doi.org/10.3390/nano8040267>

Kraegeloh A, Unfried K, The Safety of Nanomaterials on Molecular and Cellular Scale. in: The Nanomaterials Handbook, Second Edition, edited by Yury Gogotsi, 2017, CRC Press; <https://doi.org/10.1201/9781315371795-22>

Gomes SIL... Pokhrel S, Mädler L et al., Advanced machine learning techniques on in vivo biological responses to a TiO₂ NP library (UV and non-UV exposure) – 11 Fe-doped TiO₂ NPs, 122 NP descriptors (atomistic and mesoscopic modelling), 44 biological measures. Nanoscale 13 (2021) 14666; <https://doi.org/10.1039/D1NR03231C>

Peng G... Mädler L, Pokhrel S et al., Redox Activity and Nano-Bio Interactions Determine the Injury Potential of Metal Oxide Nanoparticles towards Zebrafish, ACS Nano 14 (2020) 4166; <https://dx.doi.org/10.1021/acsnano.9b08938>

Breck G, Kämpfer AAM, Sofranko A et al., Effects of Dietary Exposure to the Engineered Nanomaterials CeO₂, SiO₂, Ag, and TiO₂ on the Murine Gut Microbiome. Nanotoxicology 15:7 (2021) 934; <https://doi.org/10.1080/17435390.2021.1940339>

Busch M, Kämpfer AAM, Schins RPF, An Inverted *In Vitro* Triple Culture Model of the Healthy and Inflamed Intestine: Adverse Effects of Polyethylene Particles. *Chemosphere* 284 (2021) 131345; <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131345>

Dekkers S ... Lynch, Schins RPF et al., Differences in the Toxicity of Cerium Dioxide Nanomaterials after Inhalation Can Be Explained by Lung Deposition, Animal Species and Nanoforms. *Inhal Toxicol* 30:7-8 (2018) 273; <https://doi.org/10.1080/08958378.2018.1516834>

Fleddermann J... Tavernaro I, Kraegeloh A, Distribution of SiO₂ Nanoparticles in 3D Liver Microtissues. *Int J Nanomedicine* 14 (2019) 1411; <https://doi.org/10.2147/IJN.S189888>

Kämpfer AAM, Busch M... Schins RPM, Model Complexity as Determining Factor for *In Vitro* Nanosafety Studies: Effects of Silver and Titanium Dioxide Nanomaterials in Intestinal Models. *Small* 17:15 (2021) 2004223; <https://doi.org/10.1002/smll.202004223>

Kämpfer AAM, Busch M, Schins RPF, Advanced *In Vitro* Testing Strategies and Models of the Intestine for Nanosafety Research. *Chem Res Toxicol* 33:5 (2020): 1163; <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.0c00079>

WELDOX II Study Group, van Thriel C et al., Are Multitasking Abilities Impaired in Welders Exposed to Manganese? Translating Cognitive Neuroscience to Neurotoxicology. *Arch Toxicol* 91:8 (2017) 2865; <https://doi.org/10.1007/s00204-017-1932-y>

Rossner C, Fery A, Planet-satellite nanostructures from inorganic nanoparticles: from synthesis to emerging applications. *MRS Commun* 10 (2020) 112; <https://doi.org/10.1557/MRC.2019.163>

Peuschel H, Ruckelshausen T, Cavelius C, Kraegeloh A, Quantification of Internalized Silica Nanoparticles via STED Microscopy. *BioMed Res Int* (2015) Article ID 961208; <https://doi.org/10.1155/2015/961208>

Astanina K, Simon Y, Cavelius C, Petry S, Kraegeloh A, Kiemer AK, Superparamagnetic iron oxide nanoparticles impair endothelial integrity and inhibit nitric oxide production. *Acta Biomater* 10 (2014) 4896; <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.07.027>

Corrigendum to "Superparamagnetic iron oxide nanoparticles impair endothelial integrity and inhibit nitric oxide production" *Acta Biomater* 12 (2015) 363; <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.11.009>

Hoppstädter J, Seif M, Dembek A, Cavelius C, Huwer H, Kraegeloh A, Kiemer AK, M2 polarization enhances silica nanoparticle uptake by macrophages. *Front Pharmacol* 6 (2015) 55; <https://doi.org/10.3389/fphar.2015.00055>

Autengruber A, Sydlik U, Kroker M, Hornstein T, Ale-Agha N, Stöckmann D, Bilstein A, Albrecht D, Paunel-Görgülü A, Suschek CV, Krutmann J, Unfried K, Signalling-Dependent Adverse Health Effects of Carbon Nanoparticles Are Prevented by the Compatible Solute Mannosylglycerate (Firoin) *In Vitro* and *In Vivo*. *PLOS ONE* 9:11 (2014) e111485; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111485>

van Berlo D, Wilhelmi V, Boots AW, Hullmann M, Kuhlbusch TAJ, Bast A, Schins RPF, Albrecht C, Apoptotic, inflammatory, and fibrogenic effects of two different types of multi-walled carbon nanotubes in mouse lung. *Arch Toxicol* 88 (2014) 1725; <https://doi.org/10.1007/s00204-014-1220-z>

Kucki M, Cavelius C, Kraegeloh A, Interference of silica nanoparticles with the traditional Limulus ameocyte lysate gel clot assay. *Innate Immunity* 20:3 (2014) 327; <https://doi.org/10.1177/1753425913492833>

Büchner N, Ale-Agha N, Jakob S, Sydlik U, Kunze K, Unfried K, Altschmied J, Haendeler J, Unhealthy diet and ultrafine carbon black particles induce senescence and disease associated phenotypic changes. *Experimental Gerontology* 48:1 (2013) 8; <https://doi.org/10.1016/j.exger.2012.03.017>

B Design sicherer Nanomaterialien

Kraegeloh A, Suarez-Merino B, Sluijters T, Christian Micheletti, Implementation of Safe-by-Design for Nanomaterial Development and Safe Innovation: Why We Need a Comprehensive Approach. *Nanomaterials* 8:4 (2018) 239; <https://doi.org/10.3390/nano8040239>

Soeteman-Hernandez LG... Kraegeloh A, Tavernaro I et al., Safe Innovation Approach: Towards an Agile System for Dealing with Innovations. *Materials Today Communications* 20 (2019) 100548; <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100548>

Dekkers S, Tavernaro I... Kraegeloh A et al., Safe-by-Design Part I: Proposal for Nanospecific Human Health Safety Aspects Needed along the Innovation Process. *NanoImpact* 18 (2020) 100227; <https://doi.org/10.1016/j.impact.2020.100227>

Tavernaro I, Dekkers S... Kraegeloh A et al., Safe-by-Design Part II: A Strategy for Balancing Safety and Functionality in the Different Stages of the Innovation Process. *NanoImpact* 24 (2021) 100354; <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100354>

C Aufbau einer digitalen Infrastruktur für Nanosicherheitsdaten

Binder K et al., Discussion on Existing Standards and Quality Criteria in Nanosafety Research – Summary of the NanoS-QM Expert Workshop. (2020); <https://doi.org/10.5281/zenodo.4584789>

Elberskirch Linda, Binder K Riefler N, et al., Digital Research Data: From analysis of existing standards to a scientific foundation for a modular metadata schema in Nanosafety. *Particle Fiber Toxicology* (2021) Submitted

D Förderung des öffentlichen Diskurses durch Kenntniskennnissgewinn zur Informationsaufnahme von und Wissenskommunikation über Fragen zur Nanosicherheit

Kammerer Y et al., The Role of Internet-Specific Justification Beliefs in Source Evaluation and Corroboration During Web Search on an Unsettled Socio-Scientific Issue. *J Edu Comput Res* 59:2 (2021) 342; <https://dx.doi.org/10.1177/0735633120952731>

Gottschling S, Kammerer Y, Thomm E, Gerjets P, How Laypersons Consider Differences in Sources' Trustworthiness and Expertise in their Regulation and Resolution of Scientific Conflicts. *Int J Sci Ed B* 10:4 (2020) 335; <https://doi.org/10.1080/21548455.2020.1849856>

Gottschling S, Kammerer Y, Gerjets P, Readers' Processing and Use of Source Information as a Function of Its Usefulness to Explain Conflicting Scientific Claims. Discourse Process 56:5-6 (2019) 429; <https://doi.org/10.1080/0163853X.2019.1610305>

Ausgewählte Veranstaltungen



Nanosafety 2013: Internationale Konferenz vom 20.-22.11.2013 in Saarbrücken, Deutschland

Nanosafety 2017: Internationale Konferenz vom 11.-13.10.2017 in Saarbrücken, Deutschland

Special Issue: Nanosafety 2017, in Nanomaterials; <https://www.mdpi.com/si/11303>

Standards und Qualitätskriterien in der Nanosicherheitsforschung: Workshop im Rahmen des NanoS-QM-Projekts, Juni 2020, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4584789>

Nanosafety 2020: Internationale Konferenz vom 5.-7.10.2020, virtuell

Leibniz im Bundestag: 2017 (INM) & 2019 (IfADo)