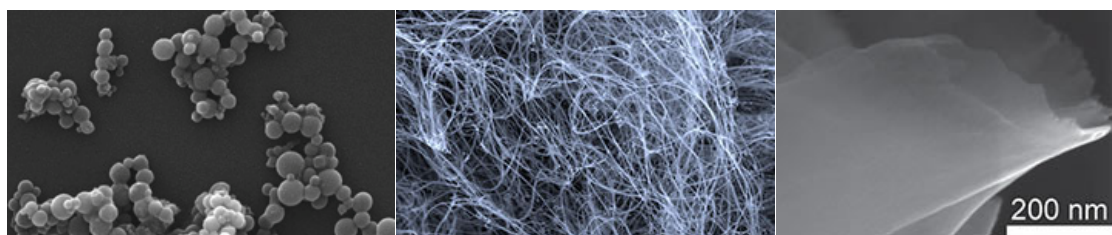


# Richtlinie: Sicherer Umgang mit Nano- materialien im Labor

*Nanomaterialien werden in zahlreichen Laboratorien an der ETH Zürich verwendet oder hergestellt. Da sich diese Materialien in ihren Eigenschaften und damit auch in ihrem Gefahrenpotential stark unterscheiden, sind beim Umgang mit ihnen spezielle Sicherheitsmassnahmen zu beachten, die in dieser Richtlinie zusammengefasst wurden. Die hier formulierten Empfehlungen beziehen sich auf den Forschungslabormassstab, d.h. einige g bis max. 1 kg.*



Schweisssrauchpartikel; Kohlenstoffen-Nanoröhren; Titandioxid-Nanoschichten (Quelle: BauA)

## Inhaltsverzeichnis

<b>GELTUNGSBEREICH</b> .....	<b>2</b>
<b>GESETZLICHE GRUNDLAGEN</b> .....	<b>2</b>
1. <b>DEFINITIONEN</b> .....	<b>2</b>
2. <b>AUFNAHME- UND ELIMINATIONSWEGE BEIM MENSCHEN</b> .....	<b>3</b>
3. <b>RISIKOABSCHÄTZUNG VON NANOMATERIALIEN</b> .....	<b>4</b>
4. <b>PRÄVENTIVE SCHUTZMASSNAHMEN</b> .....	<b>7</b>
5. <b>ENTSORGUNG VON NANOMATERIALIEN</b> .....	<b>9</b>
<b>REFERENZEN UND GESETZLICHE GRUNDLAGEN:</b> .....	<b>9</b>

## Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für alle Institute und Forschungsgruppen an der ETH, in denen mit Nanomaterialien gearbeitet wird.

## Gesetzliche Grundlagen

Das heutige Recht im Chemikalien-, Lebensmittel-, Umwelt- und Heilmittelbereich gilt auch für Nanomaterialien. In der Schweiz enthalten die Chemikalienverordnung, die Biozidprodukteverordnung, die Pflanzenschutzmittelverordnung und das Lebensmittelrecht spezifische Anforderungen für Nanomaterialien. Weitere nanospezifische Rechtsanpassungen werden bei der Umsetzung des „Aktionsplans synthetische Nanomaterialien“ ausgearbeitet.

- Bundesgesetz über den Schutz vor gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (ChemG)
- Verordnung über den Schutz vor gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (Chemikalienverordnung, ChemV)
- Verordnung über das Inverkehrbringen von und den Umgang mit Biozidprodukten (Biozidprodukteverordnung, VBP)
- Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV)
- Verordnung über die in Lebensmitteln zulässigen Zusatzstoffe (Zusatzstoffverordnung, ZuV)
- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG)
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG)
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV)
- Arbeitsgesetz vom 13.3.1964 (Art. 6, Art. 35) und die Wegleitung zu VO 3 und 4 zum Arbeitsgesetz (Wegleitung 3 und 4 zur ArG)
- Wegleitung zum Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien. Bundesamt für Gesundheit und Bundesamt für Umwelt, Bern 2018, Version 3.1

Explizite Zulassungsregelungen bestehen für Nanomaterialien in folgenden Bereichen:

- Arzneimittel, Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte unterliegen einem Zulassungsverfahren.
- Neuartige Nanomaterialien müssen vor dem Inverkehrbringen durch das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) bewilligt werden.
- Neue Chemikalien unterliegen einem Anmeldeverfahren nach der Chemikalienverordnung (ChemV) und einer Registrierung gemäss REACH.
- Einsatz als Kosmetika
- Einsatz in Lebensmitteln sowie als Bestandteil von Zutaten und Zusatzstoffen
- Einsatz in Verpackungsmaterialien
- Medizinprodukte werden eigenverantwortlich durch die Hersteller beurteilt. Bei Produkten mit höheren Risiken muss eine Konformitätsbewertungsstelle beigezogen werden.

In der Schweiz gilt zudem eine Meldepflichte für gefährliche Stoffe bzw. Inhaltsstoffe betreffend deren Identität und Einstufung sowie eine allgemeine Kennzeichnungspflicht für gefährliche Stoffe.

## 1. Definitionen

Für Nanomaterialien gilt die Definition gemäss EU-Empfehlung von 2011: *“A natural, incidental or manufactured material containing particles, in an unbound state or as an aggregate or as an agglomerate and where, for 50 % or more of the particles in the number size distribution, one or more external dimensions is in the size range 1 nm - 100 nm. In specific cases and where warranted by concerns for*

the environment, health, safety or competitiveness the number size distribution threshold of 50 % may be replaced by a threshold between 1 and 50 %.”

Beispiele solcher Materialien sind:

- Nanoplättchen – eine Dimension im Nanobereich
- Nanostäbchen – zwei Dimensionen im Nanobereich
- Nanopartikel – drei Dimensionen im Nanobereich.

Gemäss der Schweizerischen Chemikalien- und Pflanzenschutzverordnung gilt folgende Definition: “Material, welches Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, bei welchen ein oder mehrere Aussenmasse im Bereich von 1 bis 100 nm liegen oder ein Material, das ein spezifisches Oberflächen-Volumen-Verhältnis von über  $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$  aufweist. Ein Material gilt nur dann als Nanomaterial, wenn es gezielt zur Nutzung der Eigenschaften hergestellt wird, die sich aus den genannten Aussenmassen der enthaltenen Partikel oder dem genannten Oberflächen-Volumen-Verhältnis des Materials ergeben. Fullereene, Graphenflocken und einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren mit einem oder mehreren Aussenmassen unter 1 nm gelten als Nanomaterialien.”

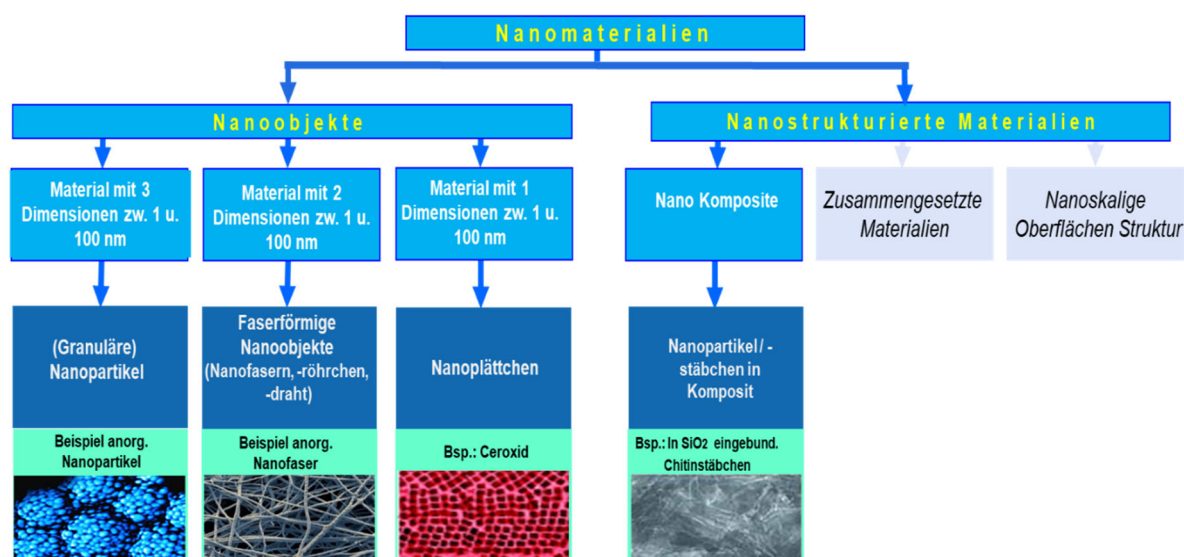


Abbildung 1: Zusammenfassung der Definition von Nanomaterialien und Nanoobjekten (Quelle: Swissnanocube.ch – Modul «Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien»).

Die Datengrundlage für Risikobewertungen und Toxizitätsangaben sind für Nanomaterialien bisher eher dürftig. Ausgenommen davon sind mittlerweile spezielle Nanomaterialien wie biobeständige starre Nano-Fasern, z.B. Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) und Kohlenstoff-Nanofasern (CNF) mit Dimensionen gemäss den WHO-Fasern. Solche Stoffe können eine asbestartige Wirkung besitzen. Aus Vorsorgegründen sind sie daher wie eventuell krebserzeugende Stoffe anzusehen, wenn nicht der Produzent durch Studien bewiesen hat, dass keine krebserzeugende Wirkung vorliegt oder belegen kann, dass die Fasern nicht den WHO-Kriterien entsprechen. Ausserdem müssen die erforderlichen Schutzmassnahmen im Sicherheitsdatenblatt angegeben sein. Dies gilt auch für Fasern, für die morphologische Untersuchungen fehlen! Als krebserzeugend eingestuft in Nanomaterialien sind beispielsweise Arsen oder Arsenverbindungen (z. B. in Quantenpunkten oder Quantum Dots), Cadmium oder Cadmiumverbindungen (z. B. in Quantenpunkten oder Quantum Dots), Chrom(VI)-Verbindungen, Nickel oder Nickelverbindungen (z. B. Nickelsulfid oder Nickeloxid) oder kristallines Siliziumdioxid (Quarz).

## 2. Aufnahme- und Eliminationswege beim Menschen

Freie Nanopartikel können über folgende Wege, in abnehmender Häufigkeit gelistet, in den menschlichen Körper gelangen:

- Über die Luft beim Einatmen (Inhalation)
- Durch kontaminierte Hände über den Verdauungstrakt (Inkorporation)
- Aufnahme über die Haut (Hautresorption)
- Aufnahme über die Plazenta (Überwindung der Plazentaschranke im Mutterleib)

Die Aufnahme über die Lunge ist beispielsweise dadurch begünstigt, dass freie und pulverförmige Nanopartikel bis zu 300 Stunden in der Luft schweben können. Zudem hängt die mögliche Aufnahme von Nanomaterialien in den menschlichen Körper massgeblich davon ab, in welcher Form sie in der Umgebung vorliegen:

Nanomaterialien	Praxisbeispiel	Risiko bzgl. Körperaufnahme ohne Schutzmassnahmen
freie Nanopartikel (inkl. Agglomerate u. Aggregate)	Arbeiten mit pulverförmigen Nanopartikeln	gross
Nanopartikel gebunden in eine andere Substanz	Nanopartikel als Verstärkung in Kunststoffen	mässig - gering
Nanopartikel verteilt in einer Flüssigkeit (Suspension)	Spray-Applikation, starkes Umrühren etc.	gross

Einmal in den Körper gelangt, unabhängig vom Aufnahmeweg, nimmt das Mononukleäre Phagozytensystem (MPS) die meisten Nanopartikel in sich auf, transportiert sie ab und sorgt letztendlich für deren Ausscheidung aus dem Körper. Dieses System stellt ein Netzwerk von Zellen dar, die im ganzen Körper in den Organen verteilt sind. Die Zellen des MPS haben die Aufgabe, tote Zellen, Bakterien, Viren und eingedrungene Kleinpartikel zu inaktivieren und zu eliminieren. Zu diesen partikulären „Eindringlingen“ gehören auch Nanopartikel. Die Eliminationsrate mittels des MPS richtet sich ebenfalls nach den Oberflächeneigenschaften der Nanopartikel. So werden ca. 90% der Nanopartikel ohne eine Oberflächenbehandlung vom MPS im Körper erkannt, von diesen Zellen aufgenommen und entsorgt bzw. aus dem Körper entfernt. Das bedeutet im Umkehrschluss eine schlechtere Elimination von oberflächenbehandelten Nanopartikeln.

### 3. Risikoabschätzung von Nanomaterialien

Für die Mehrheit der synthetisch, neu hergestellten Nanopartikel ist eine vollständige Risikoanalyse beim derzeitigen Wissensstand schwierig. Trotzdem muss eine Abschätzung des Risikos getroffen werden, bevor die Arbeit mit Nanomaterialien beginnen kann.

Grundsätzlich kann die gleiche Methodik angewendet werden wie für herkömmliche Chemikalien; allerdings unter Beachtung verschiedener nanospezifischer Besonderheiten:

- Nanomaterialien können über den Blutkreislauf in andere Organe gelangen als die korrespondierenden «Makromaterialien» und toxische Effekte auslösen.
- Die Tendenz zur Bioakkumulation, kann zurzeit nicht aufgrund von physikalisch-chemischen Eigenschaften abgeschätzt werden und muss deshalb experimentell bestimmt werden.
- Nicht alle für herkömmliche Chemikalien entwickelten Testmethoden können zur Prüfung der Eigenschaften von Nanomaterialien verwendet werden.
- Bestehende QSAR-Methoden und read across-Ansätze lassen sich nicht auf Nanomaterialien anwenden.
- Bestehende Modelle zum Umweltverhalten können nicht für Nanomaterialien verwendet werden.

Es muss fallweise entschieden werden, welche Daten für die Risikoabschätzung notwendig sind. Immer berücksichtigt werden sollte die mögliche chemische Gefährlichkeit. Um diese zu verifizieren, sind folgende Punkte zu beachten:

- Unter kontrollierten Bedingungen, z.B. im Labor, ist die potentielle Gefährlichkeit des Materials zu identifizieren und zu prüfen.

- Die Exposition bzw. die Menge des Materials, mit dem Menschen, Tiere oder die Umwelt in Kontakt kommen, muss genau gemessen und bestimmt werden.

Basierend auf den Ergebnissen, wird dann die Höhe des individuellen Risikos für die verschiedenen Expositionsszenarien abgeschätzt. Da dieses Vorgehen nicht für jedes neu synthetisierte Nanomaterial durchgeführt werden kann (z.B. weil es nur im Labor-Kleinstmassstab hergestellt wird), ist im Zweifelsfall davon auszugehen, dass das Nanomaterial gesundheitsschädlich und umweltschädlich ist, und entsprechend damit umzugehen: Bei solchen, neuen Stoffen, bei denen keine ausreichenden Kenntnisse zu den gefährlichen Eigenschaften vorliegen, ist eine bestmögliche Minimierung der Exposition anzustreben.

Prinzipiell müssen geltende Grenzwerte, zum Beispiel die allgemeinen Staubgrenzwerte für die alveolengängige und einatembare Staubfraktion oder stoffspezifische Grenzwerte, eingehalten werden.

Anbei eine kurze und knappe Hilfestellung zur Risikoeinschätzung (siehe dazu [6]):

Risikoklasse	Risikokategorie			
	Eigenschaften des Nanomaterials	Einatembareit	Expositionshöhe	Expositionsdauer
Hoch	<p>1) löslich + unlöslich mit CMR-Eigenschaften (akut, chronisch, toxisch, ätzend, sensibilisierend, organschädigend)</p> <p>2) unlöslich, nicht phagozytierbar oder phagozytierbar mit gesundheitsschädlichen Eigenschaften</p>	<p>1) Pulverform: offene Manipulation, auch mit Absaugung</p> <p>2) flüssige Form: Versprühen oder Nebelbildung, auch mit Absaugung</p>	Grenzwert überschritten oder kein Grenzwert vorhanden und Konzentration der Nanopartikel deutlich über der Hintergrundkonzentration (>2-fach)	Tägliche Exposition möglich (nur Arbeitstage); Vorfälle mit Freisetzung
Mittel	<p>1) unlöslich ohne gesundheitsschädliche Eigenschaften (wenn phagozytierbar)</p> <p>2) löslich mit gesundheitsschädlichen Eigenschaften (reizend, Aspirationsgefahr)</p>	Abrieb von Granulat, Spritzer von Flüssigkeiten	Grenzwerte eingehalten oder Konzentration der Nanopartikel max. bis zur 2-fachen Hintergrundkonzentration	Fallweise (>tägliche) Exposition möglich
Niedrig	Löslich ohne gesundheitsschädliche Eigenschaften	Fest gebunden oder agglomeriert – Freisetzung der Nanopartikel unwahrscheinlich; geschlossenes Verfahren; Labor: Abzug bzw. Glove-Box	Grenzwert deutlich unterschritten oder Konzentration der Nanopartikel nahe der Hintergrundkonzentration (max. +10%)	Exposition bei normaler Arbeit nahezu ausgeschlossen

Des Weiteren hilft es, eine Risikobeurteilung anhand des Vorsorgeraster Synthetische Nanomaterialien vom Bundesamt für Gesundheit heranzuziehen. Informationen dazu unter folgendem [Link](#) →.

## 4. Präventive Schutzmassnahmen

Nach erfolgter Risikobeurteilung gilt es, die definierten präventiven Schutzmassnahmen nach dem **STOP-Modell** umzusetzen (höchste Priorität: S, niedrigste Priorität: P):

### Substitution

Ersatz gesundheitsgefährdender Stoffe durch harmlosere:

- Ersatz von giftigen Rohmaterialien durch weniger giftige.
- Ersatz pulverförmiger Nanopartikel-Zubereitungen durch solche, die Nanopartikel gebunden enthalten und damit eine Freisetzung erschweren (Dispersionen, Pasten, Granulate, Compounds etc.).
- Ersatz von Sprühanwendungen durch aerosolararme Verfahren (Streichen, Tauchen).

### Technische Schutzmassnahmen = Kollektivschutz

Wenn immer möglich sollten zur Herstellung von und zur Arbeit mit nicht gebundenen Nanopartikeln geschlossene Systeme bzw. Anlagen eingesetzt werden (Ausnahme: Kleinstmengen von µg).

#### I. Baulich-technische Schutzmassnahmen (Raumanforderungen)

- Verwendung geschlossener Apparaturen und Materialien-Transfersystemen.
- Falls das nicht möglich ist: Absaugen von Stäuben und Aerosolen direkt an der Quelle.
- Raumlüftung und Abluftfiltersystem für die abgesaugte Luft (HEPA-Filter H14, danach Anschluss an Chemie-/Prozess-Abluft) – **keine Abluft-Rezirkulation** (empfohlen: Luftwechselrate von mind. 5-8 x Raumvolumen pro h).
- Abtrennung von Arbeitsbereichen und Zonen unter Anpassung der Raumlüftung (leichter Unterdruck, Druckdifferenz 0.1-0.2 bar).

#### II. Technische Schutzmassnahmen – bezogen auf ein spezifisches Experiment

- Zu evaluieren gemäss eigenem Experiment und durchgeführter Gefahrenanalyse, z.B. Arbeiten in einer Glovebox, zusätzliche Verwendung von «Sticky Mats» im Eingangsbereich, um eine Verschleppung zu verhindern, direkter Anschluss der Versuchsanlage an eine Filteranlage.

### Organisatorische Schutzmassnahmen

- Minimieren der Expositionszeit.
- Minimieren der Anzahl exponierter Personen.
- Entstehen von Stäuben oder Aerosolen vermeiden (z.B. kein «offenes» Abwägen oder Umfüllen).
- Beschränkung des Zugangs zum Raum.
- Reinigen nur durch Aufsaugen mittels geeignetem Gerät (HEPA-Filter) oder am besten feucht aufwischen. Kein Abblasen (z.B. mit Druckluftpistole)!
- Unterweisen des Personals über Gefahren und Schutzmassnahmen (Betriebsanweisungen) – klare Verantwortlichkeiten definieren und festhalten.
- Arbeitshygieneregeln aufstellen:
  - saubere Arbeitsplätze, -geräte und -kleidung, geschützte Aufbewahrung der beruflich nicht eingesetzten Kleider (= Ausgangskleider).
  - persönliche Hygienemassnahmen einschliesslich Hautschutz und Hautpflege (geeignete Waschgelegenheiten und -mittel etc.).
  - Persönliche Schutzausrüstung und Arbeitskleidung durch Arbeitgeber reinigen lassen.
  - Personal in Guter Hygienischer Praxis informieren und unterweisen.



- Regelmässige Prüfung und Wartung der geschlossenen Arbeitssysteme sowie Absaug- und Lüftungsanlagen.
- Geeignete Lagerung von Nanomaterialien sowie sichere Sammlung der Nanoabfälle (z.B. abgesaugter Schrank, Kapelle); siehe Kapitel 5.

### Personenbezogene Schutzmassnahmen = Individualschutz

#### Atemschutz:

- Mindestens: faserförmige Filtermasken (aus Glasfasern oder Zellulose) mit mittlerem oder hohem Abscheidevermögen (FFP2, FFP3).
- für staubende (granuläre) Stoffe: Voll- oder Halbmasken mit P2- bzw. P3-Filtern, Partikelfiltergeräte mit Gebläse und Haube oder Helm (TH2P, TH3P), Partikelfiltergeräte mit Gebläse und Voll- oder Halbmaske (TM2P, TM3P), eventuell auch partikelfilternde Halbmasken (FFP2, FFP3) verwenden.
- für biobeständige toxische bzw. faserförmige Nanomaterialien: Halbmasken mit P3-Filtern bzw. partikelfiltrierende Halbmasken FFP3 verwenden; bei längeren Arbeiten gebläseunterstützte Masken mit Partikelfiltern TM2P bzw. TM3P. Nicht alle Kohlenstoff-Nanoröhrchen dürften asbestähnliche Effekte zeigen und ein so hohes Schutzniveau benötigen, eine Einzelfallbewertung ist notwendig.
- dichten Sitz der Maske auf dem Gesicht sicherstellen; alle Träger müssen den Sitz der Maske prüfen.

#### Augenschutz:

- Geschlossene, dicht schliessende gutschitzende Schutzbrille – empfohlen Vollschutzsichtbrille.

#### Schutzkleidung:

- Schutzhandschuhe (bei Einweghandschuhen wird ein Übereinandertragen von zwei Handschuhen empfohlen; Virenschutzhandschuhe und darüber Chemikalienschutzhandschuhe) – die Überlappung mit dem Schutzanzug (Schutz vor gesundheitsgefährdenden Stäuben (Typ 5, EN 13982-1)) ist sehr wichtig, siehe Abbildung 2.

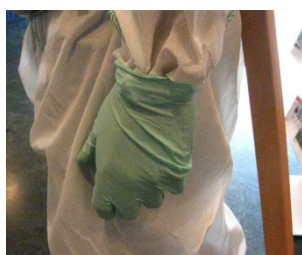


Abbildung 2: Schutzkleidung für Arbeiten mit Nanomaterialien (Quellen der Fotos: links: ETH SGU; Mitte und rechts: [www.sapros.ch](http://www.sapros.ch)).

- Schutzbekleidung / Schutzanzug mit Kapuze (wenn möglich Einweg-Verwendung): non woven – Membranmaterialien (z.B. Tyvek oder Polyethylen), keine gewebten Materialien (z. B. Labormantel aus Baumwolle). Beim Auftreten von Stäuben: staubdichten Schutzanzug tragen (Typ 5).
- Richtiges An- und Ausziehen der Handschuhe ohne die Verschleppung von Nanomaterialien und Stäuben ist essentiell.



## 5. Entsorgung von Nanomaterialien

Alle Arten von Nanomaterialien sind als Sonderabfall in den [Sonderabfallentsorgungsstellen](#) → der ETH abzugeben. Benötigte Gebinde können kostenlos bei den Sonderabfallentsorgungsstellen bezogen werden.

Eine Entsorgung via Abwasser oder Hauskehricht ist generell verboten!

Bei der Abgabe als Sonderabfall ist insbesondere Folgendes zu beachten:

- Flüssige (gelöste) oder pastöse Nanomaterialien:
  - Sammlung in definiertem geschlossenen Gebinde.
- Feste Nanomaterialien (auch mit instabiler Matrix):
  - Sammlung in definiertem geschlossenen Gebinde.
- Papiere, Reinigungstücher, PSA und andere Gegenstände mit loser Nano-Kontamination:
  - in einem (antistatischen) Plastiksack sammeln.
  - gefüllten Sack in einen zweiten Sack oder ein anderes dichtes Behältnis stecken, verschliessen und entsprechend etikettieren.
- Pulverförmige/staubende Nanomaterialien:
  - in dicht verschlossenen Gebinden als Sonderabfall entsorgen.
- Toxische Inhaltstoffe (z.B. Arsen, Cadmium etc.) auf der Entsorgungsetikette explizit deklarieren.
- In einem Abzug oder an einem ähnlich geeigneten Ort lagern.
- Möglichst zeitnah an einer der Sonderabfallentsorgungsstellen der ETH abgeben.

### Referenzen und Gesetzliche Grundlagen:

- [1] SUVA Checkliste 67077 – Gesundheitsgefährdende Stäube
- [2] Technische Regeln für Gefahrstoffe – Tätigkeiten mit Nanomaterialien. TRGS 527; Ausgabe Januar 2020
- [3] Wegleitung zum Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien. Bundesamt für Gesundheit (BAG) und Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern 2018, Version 3.1
- [4] ISO/TS 80004-2:2015(en) Nanotechnologies — Vocabulary — Part 2: Nano-objects
- [5] ISO/TR 27628:2007, Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment
- [6] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) / Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI): Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz (2012)
- [7] Recommendation on the definition of a nanomaterial (2011/696/EU)

ETH Zürich  
Sicherheit, Gesundheit und Umwelt (SGU)

Telefon: +41 44 632 30 30

[cabs@ethz.ch](mailto:cabs@ethz.ch) →  
[sgu@sonderabfall@ethz.ch](mailto:sgu@sonderabfall@ethz.ch) →  
[www.sicherheit.ethz.ch](http://www.sicherheit.ethz.ch) →

Stand: September 2020, V2.0