

Diskussionspapier zum Einsatz von Nanotechnologien in der Bioproduktion

Dieses Diskussionspapier wurde vom FiBL Schweiz im Frühjahr 2008 erarbeitet und im Sommer 2009 ergänzt. Es befasst sich mit der Frage, in welchen Bereichen ein Einsatz von Nanotechnologie, Nanomaterialien oder Substanzen in Nanopartikelform in naher Zukunft möglich ist und wie ein solcher Einsatz aus der Perspektive des Biolandbaus bewertet werden soll. Das Papier ist eine erste Annäherung an das sehr komplexe Thema und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Anregungen und Kritik gerne an bernadette.oehen@fibl.org.

1 Einführung

Der Begriff „Nanotechnologie“ umfasst die technischen Verfahren zur Herstellung oder gezielten Veränderung von Materialstrukturen mit einer Ausdehnung von unter 100 nm (Nanometer = Milliardstel Meter). Er schliesst aber auch alle Anwendungen und Produkte ein, die solche Materialstrukturen einsetzen, um deren neuartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften zu nutzen. Es handelt sich somit weniger um eine einzelne Technologie als vielmehr um einen Überbegriff für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen¹.

Partikel im Nanometerbereich können natürlichen (biologische oder mechanische Prozesse, Vulkanausbruch, Verbrennung) oder künstlichen Ursprungs sein. In der Natur vorkommende Nanostrukturen treten bei Pflanzen und Tieren auf (z. B. Gecko-Füsse, Oberfläche der Lotusblätter). Industrielle Produktionsverfahren, die mit sehr kleinen Partikeln arbeiten gibt es schon länger z.B. Reifen mit amorphem Kohlenstoff (Carbon Black). Neu ist die gezielte Herstellung und systematische Nutzung von Nanopartikeln aus natürlichen oder naturidentischen Ausgangssubstanzen. Diese synthetischen Nanomaterialien und -partikel haben teilweise radikal andere mechanische, optische, magnetische oder elektrische Eigenschaften als das Ausgangsmaterial, aus dem sie bestehen und sie können reaktiver und mobiler sein als grössere Partikel des gleichen Stoffs².

In den folgenden Ausführungen stehen direkte Anwendungen in der Lebensmittelproduktion im Vordergrund. Darunter fallen

(i) *Anwendungen direkt am Lebensmittel:*

- Zugaben von Nanopartikeln zu Lebensmittel als Zutat oder Zusatzstoffe
- Verpackungsmaterial,

(ii) *Anwendungen im Umfeld des Lebensmittels*

- Betriebsmittel in Nanopartikelform z. B. Pestizide, Dünger oder Reinigungsmittel
- Neuartige Oberflächen oder Filter in der Lebensmittelverarbeitung
- Futtermittel, Tierarzneimittel

2 Chancen und Risiken

Chancen

Viele Experten erwarten von der Nanotechnologie grosse technologischen Fortschritte und Vorteile für die Umwelt und den Menschen³. Es geht z.B. um Möglichkeiten für verbesserte

¹ <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/index.html?lang=de>

² Swiss Re (2004). Nanotechnologie. Kleine Teile - grosse Zukunft? Zürich, Swiss Reinsurance company. Autorin: Annabelle Hett. Reihe: Risk Perception.

³ http://www.nanotruck.de/fileadmin/nanoTruck/redaktion/download/Druckschriften/Nanokommission_Abschlussbericht_2008.pdf

Materialeigenschaften, effizientere Energienutzung, bessere Abwasserreinigung, kleinste Biosensoren oder Verminderung des Rohstoffverbrauchs⁴. Die Ökobilanz von Verpackungen kann optimiert werden, indem stabilere, biologisch abbaubare oder recycelbare Materialien entwickelt werden (PET-Flaschen).

Im Lebensmittelbereich könnten durch nano-versiegelte Oberflächen eine bessere Hygiene und eine Verminderung des Reinigungsmittelverbrauchs resultieren und durch neue Möglichkeiten in der Lebensmittel-Technik Ressourcen (Energie, Wasser) eingespart, der Geschmack besser erhalten und die Haltbarkeit verlängert werden. Mit Hilfe von Mizellen sollen Mineralien oder Medikamente im Körper optimal transportiert und dosiert werden.

Als Vorteil der Nanotechnologie für die Landwirtschaft wird die Reduktion von Agrochemikalien, verbesserte Saatgutbehandlung zum Schutz vor bodenbürtigen Erregern, Verbesserungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens (z.B. Wasserhaltekapazität), verbesserte Diagnoseverfahren für Krankheiten erwartet⁵.

Risiken

Die Produktion, Verwendung und Entsorgung von Erzeugnissen, die synthetische Nanomaterialien und/oder Nanopartikel enthalten, wird unweigerlich dazu führen, dass diese Materialien auch in die Umwelt gelangen. Wie sich diese Teilchen in der Umwelt verhalten ist noch wenig untersucht. Es muss befürchtet werden, dass Nanoteilchen in der Umwelt mobiler sind als andere Schadstoffe, oder sich an andere Schadstoffe binden und diese mobiler machen. Wegen ihrer Mobilität könnten sie ins Grundwasser, in die Luft und in Böden gelangen und sich in der Nahrungskette anreichern.

Deshalb äusserte sich die englische Royal Society schon 2004 zu diesem Thema und forderte einen sorgfältigen Umgang mit Nanotechnologie um negative Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit zu vermeiden⁶. Die ETC-Group Canada (action group on erosion, technology and concentration) fordert ein Moratorium, bis mögliche Risiken geklärt sind⁷. Diese Forderung wird im 2009 erschienen Bericht von BUND/Friends of the Earth (FoE) wiederholt⁸.

Konkrete Hinweise auf eine Verbreitung von Nanopartikeln in der Umwelt zeigen die Arbeiten der EMPA. In simulierten Stoffflüssen stellten die Forscher fest, dass CNT (CarboNanoTubes) derzeit kein relevantes Umweltrisiko darstellen, falls die Produkte recycelt oder verbrannt werden. Dagegen konnten die TiO₂-Nanopartikel, in kleinen, stark mit Abwasser aus Kläranlagen belasteten Fließgewässern nachgewiesen werden. Die TiO₂-Partikel werden vermutlich aus Hausfassaden, wo sie als Biozid gegen Algen und Pilze wirken, ausgewaschen und gelangen dann über die Kanalisation in die Oberflächengewässer. Auch Nanosilber wird in Fassadenanstrichen, aber auch zur Desinfektion von Trinkwasser, Pflanzenschutzmittel oder in Textilien verwendet. Gelöstes Silber ist stark toxisch. Geringste Konzentrationen reichen aus, um Enzyme zu blockieren und die Proteinsynthese zu zerstören⁹.

⁴ Hier eine Auswahl von Anwendungen: Oberflächenfunktionalisierung und -veredelung: "selbstreinigende" Oberflächen, biozide Verpackungsmaterialien, Anstriche (Titaniumdioxid, Pigmentrusse), Katalyse, Chemie und Werkstoffsynthese: Optimierung von Membranen, Filtern und Adsorptionsmittel zur Abwasseraufbereitung, Schadstoffbeseitigung und Nebenproduktabtrennung., Energieumwandlung und -nutzung Photovoltaik, Brennstoffzellen, Batterien, Akkumulatoren, Konstruktion Material (Kunststoffe, Metalle, Beton) mit anderer Härte oder Verschleißfestigkeit etc.), Nanosensoren, Informationsverarbeitung und -übermittlung, Lebenswissenschaften : Diagnose und Therapie. Farb- und Zusatzstoffe für Lebensmittel, in Kosmetika und in der landwirtschaftlichen Produktion, Sicherheit und Rüstung

⁵http://www.boelw.de/uploads/media/pdf/Veranstaltungen/Fachtag_Nanotechnologie_2008/Nanotechnologie_Ergebnisse_Fachtag_Endversion_080711.pdf

⁶ <http://www.nanotec.org.uk/report/chapter10.pdf>

⁷ ETC-Group (2003). News Release: More Evidence for Moratorium on Synthetic Nanoparticles.

⁸ http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20080311_nanotechnologie_lebensmittel_studie.pdf

⁹ http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sww/schwerpunkte/urbane_einzugsgebiete/regenwasserentsorgung/urbic/publikationen/Zweitausendundsieben/PUSCH07

Die Risikoforschung zu unerwünschten Effekten von Nanoteilchen auf die Gesundheit des Menschen steht ganz am Anfang. Dabei geht es um den Schutz der Arbeitnehmer, die während des Produktionsprozesses mit Nanopartikeln in Kontakt kommen und um den Schutz der Konsumenten und Konsumentinnen. Denn als Staub können Nanopartikel über die Luft in die Lunge, in den Blutkreislauf und in verschiedene Organe, auch ins Gehirn gelangen. Nanopartikel können auch direkt in Zellen eindringen, das heisst die vorhandenen Transportmechanismen umgehen. Wie sie auf Zellen und Organe wirken ist weitgehend unbekannt.

3 Gesetze, Regelungen, Aktionspläne

Es gibt zurzeit weder nationale noch international Regelungen, Definitionen, Zulassungs- oder Deklarationsvorschriften für Nanopartikel und Nanomaterialien. Es sind aber auf nationaler und internationaler Ebene verschiedene Aktivitäten zur Regulierung und Standardisierung im Gang. Für die Schweiz wird gemäss Aktionsplan Nanotechnologie 2006-2009¹⁰ des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) kein neues Gesetz für den Umgang mit Nanotechnologie oder Nano-Produkten angestrebt. Die Bundesämter setzen auf die Selbstverantwortung der Industrie und unterstützen diese in der Risikobeurteilung¹¹ (Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien).

Die Interessengemeinschaft Detailhandel Schweiz, der alle grossen Lebensmittelhändler angehören, setzt diese Forderung mit einem „Code of Conduct Nanotechnologie“ um und will nur unbedenkliche Nanomaterialien und –partikel in Produkten, die von ihnen verkauft werden. Zudem verlangt der Verband vom Bund eine gesetzliche Regelung, klare Definitionen und Grundlagen für eine Kennzeichnung¹².

International wird Nanotechnologie von verschiedenen zentralen Behörden und Institutionen diskutiert. Für den Bereich Lebens- und Futtermittel speziell zu erwähnen sind die Tätigkeit der Europäischen Agentur für Lebensmittelsicherheit – EFSA¹³, die Aktivitäten der OECD¹⁴, der EMEA (European Agency for the Evaluation of Medical Products) und der FDA (Food and Drug Administration USA).

Grundsätzlich kommen alle diese Arbeiten zum Schluss, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, denn

- die Wechselwirkung und Stabilität von Nanopartikeln in Lebens- und Futtermitteln im Magen-Darm-Trakt und in biologischen Geweben sind unbekannt,
- Routineverfahren für den Nachweis, die Charakterisierung und die quantitative Erfassung von Nanopartikeln in Materialien, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, sowie in Lebens- und Futtermitteln fehlen,
- Prüfmethode für die Bewertung der Toxizität von Nanopartikeln für Mensch und Umwelt (einschliesslich Zuverlässigkeit und Eignung der Prüfmethode) sind zu entwickeln, zu verbessern und zu validieren.

Ein Teil dieser Fragen wird im Rahmen von Projekten, die von der öffentlichen Hand finanziert werden, untersucht (EU Projekt Nanoimpactnet oder Nanocare) bearbeitet. Dem gegenüber steht heute eine Reihe von Forschungsprogrammen, die die vielfältige Anwendung von Nanotechnologie fördern (www.nccr-nano.org).

4 Aktuelle Anwendungen im Lebensmittelbereich

Anwendungen direkt am Lebensmittel

Im Vordergrund der Diskussion um allfällige Risiken stehen konsumentennahe Produkte wie Lebensmittel, Kosmetika und Fragen zur Deklaration (TA Swiss 2006). Deshalb stellte TA Swiss in der im Frühling 2009 publizierte Arbeit „Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel“

¹⁰ Aktionsplan Nanotechnologie. <http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01389/01393/01394/index.html?lang=de>

¹¹ <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=de>

¹² http://www.igdhs.ch/m/mandanten/190/download/IGDHS_Factsheet_Nanotech_FINAL_090116.pdf

¹³ http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753824_1178680051172.htm und

http://www.efsa.europa.eu/cs/BlobServer/Scientific_Opinion/sc_op_ej958_nano_en.pdf?ssbinary=true

¹⁴ http://www.oecd.org/departement/0,3355,en_2649_37015404_1_1_1_1_1,00.html

diesem Bereich ins Zentrum der Untersuchungen¹⁵. Die Arbeit analysierte den Schweizer Lebensmittel-Markts auf Anwendungen von Nanotechnologie. Die Autoren kommen zum Schluss, dass heute zwar keine Lebensmittel-Zutaten in Nano-Form verfügbar sind aber als Zusatzstoffe dennoch in Lebensmitteln vorkommen können, z. B. als amorphes Siliziumdioxid das als Rieselhilfe in Streuwürzen und Salz (E551) oder in Futtermittel (E551a und E551b) verwendet wird. Auch Carotinoide als Farbstoffe (E160) und Mizellen (E 432 und E 433) zum Transport von Mineralstoffen durch den Magen-Darmtrakt sind auf dem Markt. Alle diese Zusatzstoffe sind schon länger in der Lebensmittelherstellung im Einsatz. Siliciumdioxid wurde auf die Sicherheit als Lebensmittel geprüft, allerdings spielte die Kleinheit der Teilchen bei der Beurteilung keine Rolle⁹.

Anwendungen im Umfeld des Lebensmittels¹⁶

Bei Lebensmittelverpackungen befinden sich gemäss TA Swiss Bericht Verbundfolien und PET-Flaschen mit nanotechnologisch optimierten Barriereigenschaften gegenüber Gasen und Aromastoffen auf dem Schweizer Markt. Die Folien auf der Basis von Aluminium, Aluminiumoxid oder Siliciumoxid werden für Snacks, Chips, Süss- und Backwaren verwendet. Bei PET Flaschen für Bier und Fruchtsäfte sollen die Sperreigenschaften der PET-Flaschen gegenüber Sauerstoff verbessert sein damit die Produkte länger haltbar sind.

Im Ausland existieren Verpackungen mit biozid wirkenden Substanzen (v.a. Nanosilber), welche die Lebensmittel vor Bakterien und Pilzen schützen.

In der Lebensmittelverarbeitung kommen in der Regel um Produkte mit Antihafbeschichtungen zum Einsatz, bei denen die verwendeten Nanomaterialien fest in eine Matrix eingebunden sind. Gemäss TA Swiss Bericht ist bei ausreichender Matrixstabilität kein grosses toxikologisches Risiko zu befürchten. Anders stelle sich die Lage dar, wenn die Beschichtungen aufgrund der erwünschten Funktionalität die eingebundenen Nanopartikel kontinuierlich abgeben wie das bei gewissen Beschichtungen mit Nano-Silber der Fall ist.

5 Beurteilungen der Nanotechnologie aus der Perspektive des Biolandbaus

Weder die EU Bioverordnung noch die Schweizer Bio Verordnung erwähnen Nanotechnologie. Dennoch lässt sich aus den in der Verordnung verankerten Grundprinzipien der Bioproduktion ableiten, dass der Einsatz von Nanomaterialien oder Nanopartikeln in der Produktion von biologischen Lebensmitteln nicht angezeigt ist. Die Herstellung, die Zielsetzung und die Wirkung dieser Partikel oder Materialien stehen zum Beispiel im Widerspruch zu den in Art. 3 Abs c EU Bioverordnung formulierten Ansprüchen an ein Bioprodukt. Bioprodukten dürfen *der Umwelt, der menschlichen Gesundheit, der Pflanzengesundheit sowie der Gesundheit und dem Wohlbefinden der Tiere nicht abträglich sein*.

Diese klaren Vorgaben hat die Englische Biolandbau-Organisation Soil Association in einen «Draft Standard on Nanotechnology» umgesetzt, in dem sie jegliche Anwendung von Produkten verbietet, die mittels Nanotechnologie hergestellt wurden¹⁷. Auch die Australischen Bioproduzenten haben sich auf einen Ausschluss der Nanotechnologie in Bioprodukten geeinigt. Der Ausschluss umfasst Produkte mit einer durchschnittlichen Partikelgrösse von 300nm und der kleinsten Partikelgrösse von 200nm und liegt damit über der in Europa üblichen Definition für Nanopartikel. Der Standard beschränkt sich auf alle künstlich hergestellten Nanopartikel und lässt Prozesse, in denen Partikel in der erwähnten Grösse als Nebenprodukte entstehen können (Verbrennung, Mahlprozesse) explizit zu¹⁸. In Kosmetika, die mit dem österreichische Label Austria Bio Garantie ausgezeichnet werden, dürfen keine Nanopartikel verwendet werden¹⁹ und

¹⁵ http://www.ta-swiss.ch/d/them_nano_nafo.html

¹⁶ Diese Aufzählungen sind nicht abschliessend. Mehr dazu bezüglich Schweiz aus der Studie der TA Swiss 2009

¹⁷ Soil Association (Jahr 2005?). Proposed ban on Nanotechnology. Information sheet. www.soilassociation.org.

¹⁸ http://www.bfa.com.au/index.asp?Sec_ID=135

¹⁹ <http://www.sanoll.at/BiokosmetikRichtlinien.pdf>

der Deutsche Bund der ökologischen Lebensmittelwirtschaft (BÖLW) schliesst die Anwendung von Nanotechnologie im Biolebensmittel aus²⁰.

Damit nicht unerwünschte Produkte in das Biosystem gelangen verlangt die EU Bioverordnung, dass alle neuen Betriebsmittel für den Pflanzenbau, die Tierhaltung (Futtermittel, Desinfektion und Reinigung) und Verarbeitung (konventionelle Zusatzstoffe, technische Hilfsstoffe) einzeln bewilligt und auf Positivlisten aufgeführt werden müssen. Was nicht auf diesen Listen steht ist nicht zugelassen.

In der Tabelle 1 sind einige Beispiele (Liste nicht abschliessend) für Nano-Produkte im Agrar- und Lebensmittelbereich aufgeführt, die in Deutschland oder der Schweiz auf dem Markt zu finden sind. Sie sind aus der Perspektive des Biolandbaus in sieben Gruppen von Anwendungen unterteilt. Daher fehlen einzelne Produktkategorien wie Diätprodukte, Nahrungsergänzungsmittel, Anabolika, in denen Nanopartikel vermutlich verwendet werden, da diese in Bioqualität nicht angeboten werden.

Die Zusammenstellung zeigt, dass aufgrund der sehr klaren Richtlinien im Biolandbau viele Anwendungen der Nanotechnologie direkt am Lebensmittel schon heute ausgeschlossen sind. Dazu gehört das Verbot der Zugabe von Vitaminen²¹, Aromen und Farbstoffen oder die Verwendung von chemisch-synthetische Pestiziden.

Als technischer Hilfsstoff ist Siliciumdioxid als Rieselhilfe in Bioprodukten in der Schweiz und der EU zugelassen. Bio Suisse schliesst aber das nanoskalige Siliciumdioxid E 551a bei Lebensmitteln und Futtermitteln aus und die Demeterproduktion verzichtet grundsätzlich auf die Verwendung von Rieselhilfen (ausschliessliche Verwendung von Meersalz).

Wegen der fehlenden Deklarationspflicht und fehlender Richtlinien ist es trotzdem denkbar, dass bereits Nano-Produkte im Biolandbau im Einsatz sind. Ein Einsatz ist denkbar bei Oberflächen von Maschinen in der Lebensmittelherstellung und bei Desinfektions- und Arzneimitteln (Tab.1). Der Biolandbau muss hier genaue Kriterien erlassen, wie mit diesen Materialien umgegangen werden soll. Regelungsbedarf besteht zudem bei den Verpackungsmaterialien, die heute in der Bioverordnung nicht explizit geregelt sind.

6 Vorläufige Beurteilung der Nanotechnologie durch das FiBL

Es gilt wie bei jeder neuen Technologie, bekannte und unbekannte Chancen und Risiken gegeneinander abzuwägen. Das besondere der Nanotechnologie ist, dass es sich um einen Sammelbegriff für verschiedene Anwendungen, Materialien und Anwendungsbereiche handelt, welche jeweils ganz unterschiedlichen Nutzen und verschiedene Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen haben können²².

Die Richtlinien zur Herstellung von Biolebensmitteln verpflichten die Akteure zum Prinzip der Sorgfalt, um die Gesundheit und das Wohlbefinden der heutigen und der zukünftigen Generationen zu bewahren. Zudem sind mögliche Einsatzfelder der Nanotechnologie, z. B. chemisch-synthetische Stoffe (Zusatzstoffe, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel) im Biolandbau ausgeschlossen und die Verwendung konventioneller Produkte stark eingeschränkt.

²⁰http://www.boelw.de/uploads/media/pdf/Veranstaltungen/Fachtag_Nanotechnologie_2008/Nanotechnologie_Ergebnisse_Fachtag_Endversion_080711.pdf

²¹ Ausnahmen sind Babyfood und Futtermittel. Bei der Erstlingsnahrung muss gemäss Lebensmittelrecht eine Vitaminzugabe stattfinden. Bei Futtermitteln ist die Zugaben aus der Perspektive Tierwohl sinnvoll und im Biolandbau möglich.

²² Von Gleich, A (2006): Chancen und Risiken einer mächtigen Technologie. Prospektive Technologiefolgenabschätzung. http://www.cvl-a.tum.de/Download/WS_3_HtN_1.pdf

Dieses Papier ist nicht abschliessend, denn von einer umfassenden Beurteilung der Nanotechnologien sind wir noch weit entfernt, da die toxikologischen, ökotoxikologischen und ökologischen Grundlagen dazu nicht vorliegen. Auch das weitgehende Fehlen von anerkannten Definitionen, gesetzlichen Regelungen und definierten Methoden erschwert eine Beurteilung.

Die vorhandenen Daten lassen aber den Schluss zu, dass verschiedenen Nanopartikel und -anwendungen sehr unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit haben können.

Tabelle 1: Aktuelle Anwendungsbereiche von Nanotechnologien im Agrar- und Lebensmittelbereich, und deren sowie Chancen und Risiken.

Anwendungsbe- reich	Neue Eigen- schaften Chancen	Kritische Punkte/ Risiken	Regelung im Bioland- bau
A Lebensmittelzut²⁴ oder Zusatzstoffe			
Farbstoffe, Aromen Vitamine, Mineralien teilweise von Mizel- len umgeben.	Lösen sich bes- ser auf, gezielte Verfüg- barkeit	Direkte Aufnahme in Körper	Keine Zugabe von Mine- ralien, künstlichen Aro- men, Vitaminen, Farb- stoffen
Siliziumdioxid oder E551/E551b ²⁵	Bindet Wasser, Rieselhilfe in Streuwürze, Salz	Direkte Aufnahme in Körper	E 551 in EU Bioproduk- ten und Knospeproduk- ten zugelassen, in De- meterprodukten ausge- schlossen.
B Hilfsstoffe			
Agrochemikalien	Polymer aus Ge- steinsmehl und Silikaten, Boden- hilfsstoff zur Wasserspeiche- rung	Direktes Ausbringen in die Umwelt Veränderungen im Wasserhaushalt?	Keine Anwendung im Biolandbau
Aktivsubstanzen in Nanopartikelform als Emulsion	Bessere Löslich- keit, stabiler, wirksamer, voll- ständige Auflö- sung im Wasser, keine Rückstände im Tank	Systemische Ver- lagerung/ Anreicher-ung Toxizität für Nicht Zielorganismen und Mensch?	Keine Anwendungen von chemmisch-syntheti- schen Pflanzenschutz- mitteln, zukünftige An- wendungen, z. B. Kupfer in Nanoformulierung würden fallweise geprüft
Pflanzenschutzmittel in Mikrokapseln	Substanz wird gezielt freigesetzt bei bestimmten Bedingungen, z.B. Feuchtigkeit, pH-Wert	Längere Verfügbar- keit in Umwelt. Toxizität für Nicht- Zielorganismen Systemische Verla- gerung/Anreicherung	Keine Anwendungen zukünftige Anwendungen (Pheromonen in Nano- kapseln) würden fall- weise geprüft,
Reinigungs- und Desinfektionsmittel	Effizienterer Ma- terialeinsatz	Systemische Verla- gerung/ Anreiche- rung? Toxizität für Nicht-Zielorganismen und Mensch?	Heute keine Anwendun- gen aber z. B. zukünftige Anwendung von Silber in Nanoformulierung wür- den fallweise geprüft
Dünger	Weniger Dünger nötig durch ge- zielte Anwendung	Höhere Mobilität?	Keine chemisch - syn- thetischen Düngemittel zugelassen

²⁴ Lebensmittelzut: nach TA Swiss auf dem Schweizer Markt **keine** Produkte.

²⁵ Siliziumdioxid ist als Lebensmittelzusatzstoff geprüft und schon lange in Anwendung.

Tabelle 1: Fortsetzung

Anwendungsbe- reich	Neue Eigen- schaften Chancen	Kritische Punkte Risiken	Biolandbau
C Medikamente			
(Veterinär-) Medi- kamente	Medikamente mit Nanoteilchen, können gezielter eingesetzt wer- den	Nebenwirkungen auf Tier-Gesundheit? Systemische Verla- gerung/ Anreicherung in Fleisch, Milch, Ei- ern?	Unklar, sicher fallweise Beurteilung
D Verpackungen			
Kunststoffe mit Be- schichtung von Sil- bernanopartikeln	Antimikrobiell, Keimbildung ver- ringert, Lebens- mittel länger halt- bar	Übergang von Nano- partikeln in Lebens- mittel?	Einzelfall geregelt da keine allgemeinen Vor- schriften für die Verpa- ckung im Biobereich.
Nano-Innenbe- schichtung von PET oder Kunststofffolien aus Tonerde, Silizi- umdioxid, Zinkoxid Titandioxid	Weniger Verlust von Kohlensäure bzw. kein Sauer- stoff-, Wasserdampf- zutritt Haltbarkeit verlängert Reiss- und schlagfester, UV-Strahlung; leichter, hitzere- sistenter;	Übergang von Nano- partikeln in Lebens- mittel? Abrieb von Nanopar- tikeln?	Einzelfall geregelt da keine allgemeinen Vor- schriften für die Verpa- ckung im Biobereich.
Biopolymere mit eingearbeiteten Na- nopartikeln	Stabiler als an- dere Biopoly- mere, kompos- tierbar	Was passiert bei der Kompostierung?	Einzelfall geregelt da keine allgemeinen Vor- schriften für die Verpa- ckung im Biobereich.
E Oberflächenbehandlungen			
Beschichtung von Oberflächen (Glas, Metall, Keramik, Lack) mit Schicht aus Nanopartikeln, z.B. Titandioxid	Wasser- und schmutzabstos- sende Lebens- mittelaufbewah- rung selbstreinigende, kratzfeste Kü- chenutensilien	Wie lange hält die Beschichtung? Ab- rieb? Übergang von Nanopartikeln in Lebensmittel?	Im Einzelfall geregelt
Silber-Nanoschicht in der Innenseite von Kühlschränken	Antimikrobiell, gegen Bakterien und Pilze	Übergang in Le- bensmittel?	Im Einzelfall geregelt
F Neue Techniken in der Verarbeitung			
Nanofilter	Weniger Ressourcen- verbrauch, effizienter		Im Einzelfall geregelt