

## TA-PROJEKTE

### Nanotextilien – „Best Practices“ für Innovationen

von Claudia Som, EMPA St. Gallen, Schweiz

Welche Chancen und Risiken haben Nanomaterialien im Kontext von Textilien? Sie eröffnen einerseits Chancen für verbesserte textile Produkte oder für neuartige Anwendungen und damit die Möglichkeit, in neue Märkte vorzudringen. Dem gegenüber stehen andererseits die Unsicherheiten und Risiken der Nanomaterialien für langlebige funktionelle Produkte, für die Gesundheit, die Umwelt und die Nachhaltigkeit. Das Ziel des vom Textilverband Schweiz und der EMPA finanzierten Projekts „NanoSafe Textiles“ ist es, Wissen zu erarbeiten, um Innovationspfade für sichere und nachhaltige Nanotextilien frühzeitig zu erkennen.<sup>1</sup>

#### 1 Hintergrund

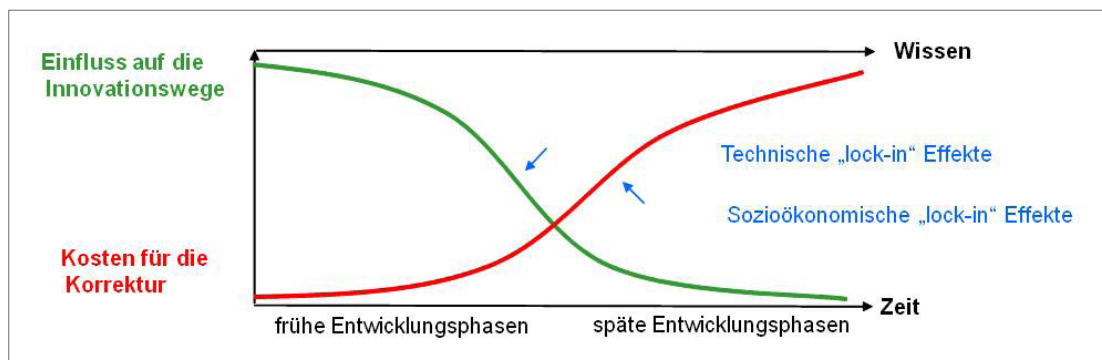
Der Einsatz von Nanomaterialien in Textilfasern ermöglicht bestehende Eigenschaften von Textilien, wie z. B. den Schutz vor UV-Strahlung, zu verbessern. Die Nanomaterialien können den

Textilfasern auch neue Eigenschaften verleihen, indem diese mit nanoskaligen Beschichtungen leitfähig werden. Insbesondere die Möglichkeit, multifunktionelle Fasern oder Textilsysteme herzustellen, wird als ein großer Vorteil der Nanomaterialien gesehen. Zudem scheint es auch möglich, ökologische Nachhaltigkeitspotenziale auszuschöpfen. So wird der Einsatz von Nanomaterialien in Textilien erforscht, um Material und Energie einzusparen, beispielsweise indem sich Textilfasern mit eingebetteten Nanomaterialien besser färben lassen (Qian 2004).

Dem gegenüber stehen die Fragen bezüglich der Risiken der Nanomaterialien, insbesondere der Nano-Objekte (NanO)<sup>2</sup>, für Gesundheit und Umwelt. Die Gesellschaft und die Industrie müssen mit einer hohen Unsicherheit und mit offenen Haftungsfragen umgehen. Die Meinungen in der Gesellschaft reichen deshalb vom „Verbot“ der Nanomaterialien bis hin zu „keine nanospezifische Regulierung notwendig“.

Zu Beginn einer Technologieentwicklung sind die Entwicklungspfade noch leicht beeinflussbar, jedoch sind die möglichen Chancen und Risiken gleichzeitig noch weitgehend unbekannt. In einer späteren Entwicklungsphase ist zwar mehr Wissen über die Chancen und Risiken verfügbar, aber entstehende Pfadabhängigkeiten, und sozioökonomische „Lock-in“-Effekte erschweren und verteuern Anpassungen der Technologie-Entwicklungspfade (vgl. Rammel 2003; Rip et al. 1995; Rohner, Boutellier 2009; Rohpol 1996; Som et al. 2004) (s. Abb. 1).

Abb. 1: „Lock-in“-Effekte während der Entwicklung neuer Produkte erschweren Korrekturen der Entwicklungspfade in den späteren Phasen



Quelle: Eigene Darstellung

In dieser Situation stellt sich die Frage, wie die Textilindustrie die Chancen der Nanomaterialien nutzt und gleichzeitig die Risiken für die Umwelt und Gesundheit möglichst minimiert werden können.

## 2 Ziel des Projekts

Das Ziel des Projekts ist es, Wissen zu erarbeiten, um Innovationspfade für sichere und nachhaltige Nanotextilien frühzeitig zu erkennen. Nachhaltige Produkte sollen über ihren gesamten Lebenszyklus betrachtet möglichst wenig schädliche Wirkung auf Mensch und Umwelt haben und von hoher Produktqualität (Funktionalität und Langlebigkeit) sein. Damit sollen Fehlinvestitionen vermieden, die Gestaltungsräume für erfolgreiche Innovationen offen gehalten werden. Dazu orientiert sich die Technikfolgenabschätzung an den Bedürfnissen der Gesellschaft und den Anforderungen der Industrie. Im Rahmen einer Technikfolgenabschätzung wurden entlang des Lebenszyklus von Textilien die Chancen und die Risiken der Nanomaterialien untersucht. Im Vordergrund standen bisher folgende Fragen: Wie lassen sich Nanomaterialien sinnvoll nutzen? Welche Funktionalitäten sind für Textilien möglich? Wie wird langlebige und optimale Funktionalität erreicht? Wie lassen sich mögliche Risiken frühzeitig erkennen? Wie kann eine nachhaltige Wertschöpfung erzielt werden?

In einem ersten Schritt wurde untersucht, mit welchen Nanomaterialien, welche Funktionen erreicht werden können und welche Herausforderungen gelöst werden müssen (Siegfried et al. 2007). In einem zweiten Schritt wurde beschrieben, auf welche Arten die Nanomaterialien in Textilien integriert werden können und wie mit Hilfe eines intelligenten Designs die unbeabsichtigten Emissionen von Nano minimiert werden können (Som et al. 2009). Im dritten Schritt wurde eine Abschätzung der Nano-Risiken für Umwelt und Gesundheit gewagt, u. a. als Grundlage für den weiteren Abklärungsbedarf (Som et al. 2010).<sup>3</sup>

## 3 Welche Funktionalitäten sind für Textilien möglich?

Heute werden viele Nanomaterialien für die Anwendung in Textilien erforscht. Im Vordergrund stehen Silber, Zinkoxid, Siliziumoxid, Titandioxid, Aluminium(hydr)oxide, Schichtsilikate, Kohlenstoffnanoröhrchen und Carbon Black (Siegfried, Som 2007; Som et al. 2009). Nanotextilien sollen in Zukunft vielseitige Funktionen erfüllen: So sind antimikrobielle, wasserabweisend, schmutzabweisend, vor UV-Strahlung schützende, flammhemmende, leitfähige und antistatische Nanotextilien in Entwicklung und zum Teil schon auf dem Markt. Auch sind neue textile Materialien erwünscht, um Nachhaltigkeitspotenziale auszuschöpfen. Dies kann u. a. während Herstellungsphase oder der Nutzungsphase geschehen, indem Energie und Material gespart oder problematische Abfälle verhindert werden können. Zum Beispiel sollen problematische Hilfsstoffe, wie Flammschutzmittel, durch kleine Mengen an Nanomaterialien ersetzt werden können (Patanaik et al. 2007).

Die meisten dieser Funktionen können mit unterschiedlichen Nanomaterialien erreicht werden. Zum Beispiel haben außer Silber auch Zinkoxid und Titandioxid antibakterielle Eigenschaften. Die Nanomaterialien können in unterschiedlichen Formen in Textilien verwendet werden: Silber kann als kugelförmige Nano (Nanopartikel) in das Faservolumen eingebracht werden oder als nano-skalige Beschichtung (Nano-freies Nanomaterial) auf die textile Faser aufgebracht werden. Es ist also auch möglich, Nanotextilien herzustellen, die keine Nano enthalten, sondern nanostrukturierte Nanomaterialien, wie nanoskalige oder nanoporöse Beschichtungen, nanostrukturierte Oberflächen, nanoporöse Fasern oder Fasern mit einem nanoskaligen Durchmesser (Nanofasern). Auch innerhalb der Nano-Gruppen ist die Vielfalt immens: So können z. B. Zinkoxid-Nano kugel-, spiral- oder nadelförmig hergestellt werden. Auch die anderen Nano-Gruppen umfassen ein weites Spektrum an Formen, Größen und Strukturen, die sich stark in ihren physikochemischen Eigenschaften unterscheiden, obwohl sie aus denselben Elementen bestehen.

Daher ist es sinnvoll, die verschiedenen Nano-Gruppen (inklusive die verschiedenen Formen und Größen innerhalb der Nano-Gruppen) und andere Nano-freie Nanomaterialien bezüglich ihrer Effektivität für die erwünschte Funktionalität in der angestrebten textilen Anwendung gegeneinander abzuwägen und auch „Nicht-Nanomaterialien“ als Alternativen zu evaluieren.

#### **4 Wie erreiche ich langlebige und optimale Funktionalität?**

Die Nano lassen sich während der Faserherstellung oder/und während der Veredelung in Textilien einbringen. Sie können entweder als freies Pulver oder als Dispersion/Suspension während der Herstellung in Polymere eingemischt oder als Dispersionen/Suspension/Sol-Gel bei der Veredelung auf die Textilfasern aufgebracht werden. Bei der Plasmabeschichtung werden die Nano in situ, d. h. während des Prozesses generiert. Manchmal werden Nano zwar als Ausgangsstoffe genutzt, sind aber im textilen Endprodukt nicht mehr als Nano vorhanden, sondern vernetzen sich (z. B. in manchen Sol-Gel-Prozessen und Plasmabeschichtungsprozessen).

Die Nano weisen, trotz gleicher chemischer Zusammensetzung, fundamental andere physikalische und chemische Eigenschaften auf als größere Partikel. Diese neuen Eigenschaften der Nano bedeuten ein großes Potenzial für Innovationen. Diese neuen Eigenschaften lassen sich jedoch nicht ohne weiteres durch Einbetten der Nano in ein textiles Produkt auf dieses übertragen. So braucht es viel Knowhow, die Nano gleichmäßig und positionstabil in der Polymer-Faser zu verteilen und gleichzeitig zu vermeiden, dass andere Eigenschaften der Textilfaser negativ verändert werden. Um möglichst keine unerwünschten Gesundheits- und Umweltwirkungen zu verursachen, sollten die Nano stabil in den Textilien eingebunden sein und nicht unbeabsichtigt freigesetzt werden können. Die stabile Einbindung der Nano geht auch Hand in Hand mit einer hohen Produktqualität und einer langlebigen Funktionalität.

Es scheint, dass mit Hilfe eines durchdachten Designs die unabsichtliche Freisetzung von Nano minimiert werden kann. Basierend auf In-

terviews mit Experten wurden Faktoren identifiziert, die die Stabilität der Integration der Nano im Produkt während des Lebenszykluses beeinflussen können. Dies sind der Ort der Nano im Produkt, die Bindung zwischen den Nano und der Produktematrix sowie die Eigenschaften der Nano und des umgebenden Materials (Matrix).

Die Stabilität der Einbindung der Nano in Textilien kann weiter erhöht werden, indem auch die externen Einwirkungen (Schweiß, Wasser, Waschdetergens, Abrieb, UV-Strahlung), die während des Produktlebenszykluses auf das Textil einwirken können, bei dem Design berücksichtigt werden. Zum Beispiel werden T-Shirts oder Socken im Durchschnitt häufiger gewaschen als Vorhänge, und daher ergeben sich auch andere Anforderungen an deren Design, wenn man die unbeabsichtigte Freisetzung von Nano vermeiden möchte. Solche Überlegungen zum Design reduzieren die Risiken der Nano für Gesundheit und die Umwelt und erhöhen gleichzeitig die Langlebigkeit der Funktion und damit die Produktequalität.

#### **5 Wie lassen sich mögliche Risiken frühzeitig erkennen?**

Im Wissen, dass heute in Textilunternehmen Entscheide gefällt werden müssen, wurden im Projekt auf Erfahrungen basierend Kriterien definiert, um den Stand des Wissens bezüglich der Wirkungen der Nano auf Umwelt und Gesundheit systematisch zu analysieren und zu interpretieren. Zum Beispiel wurde für die Umwelt als eines von sechs Kriterien definiert: „Löslichkeit der Nano in wässrigen Medien erhöht ihre toxische Wirkung oder reduziert sie.“ Für die Gesundheit wurde z. B. als eines von acht Kriterien definiert: „Überschreiten und Schädigung von Gewebebarrieren (z. B. Blut-Hirn-Schranke, Luft-Blut-Schranke, Plazenta-Schranke)“.

Anhand von insgesamt zwölf Kriterien wurden die Resultate aus ausgewählten Studien über die Wirkung der Nano auf Umwelt und Gesundheit für die vorgängig erwähnten Nano-Gruppen analysiert und interpretiert. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Auswirkungen der Nano auf die Umwelt anders beurteilt werden als diejenigen auf die Gesundheit, d. h. dass

manche Nano tendenziell als eher unbedenklich für die Umwelt und als eher bedenklich für die Gesundheit eingestuft werden und umgekehrt. Zudem lässt sich anhand dieses Vorgehens systematisch darstellen, was schon untersucht und was noch nicht untersucht wurde. Diese von uns vorgeschlagenen Kriterien und die Beurteilungen beruhen auf dem heutigen Stand der Forschung und müssen laufend den neuen Erkenntnissen aus der Forschung angepasst werden (vgl. Som et al. 2010; Som et al. 2011). Die große Vielfalt von Nano (auch innerhalb von Nano-Gruppen aus dem gleichen Material), ihre besondere „Größe“ und ihre relativ hohe Reaktivität führen dazu, dass es nicht leicht ist, generelle Aussagen zu möglichen Wirkungen der Nano zu machen und dass es praktisch unumgänglich ist, die verschiedenen Variationen der Nano von Fall zu Fall abzuklären.

Trotz diesen Einwänden eröffnet die grobe Einschätzung der Risiken der Nano-Gruppen die Möglichkeit, die Nano abgestimmt auf den jeweiligen Produktlebenszyklus des Textils auszuwählen, um Umwelt- und Gesundheitsrisiken tendenziell zu reduzieren. Wird ein Textil voraussichtlich häufig gewaschen, sollten die verwendeten Nano in großem Umfang in der Abwasser-Reinigungs-Anlage eliminiert werden und keine große Schädwirkungen auf aquatische Organismen haben. Da eine erwünschte Funktion im Textil mit Hilfe von verschiedenen Nano erreicht werden kann, ist eine Auswahl in man-

chen Fällen also durchaus möglich. Außerdem sollten immer auch Nano-freie Materialien als Alternative evaluiert werden.

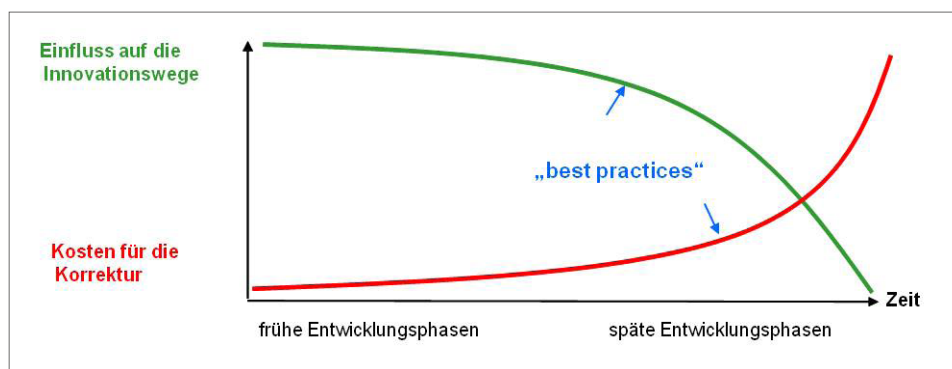
## 6 Der Leitfaden

In dem kürzlich erschienenen Leitfaden „nano textiles – Grundlagen und Leitprinzipien zur effizienten Entwicklung nachhaltiger Nanotextilien“ haben wir versucht, diese wichtigsten Ergebnisse des Projektes NanoSafe Textiles verständlich zusammenzufassen (SwissTextiles, EMPA 2011). Wir sind uns bewusst, dass die von uns vorgeschlagenen Handlungsoptionen für „best practices“ die Risiken durch die Verwendung von Nano in Textilien nicht gänzlich verhindern werden. Wir hoffen jedoch, dass der Leitfaden die Textilunternehmen im Umgang mit Unsicherheiten unterstützt, indem sie:

- das Design der Nanotextilien und die Nano und andere Nanomaterialien tendenziell so wählen können, dass Risiken minimiert und Chancen gut genutzt werden können.
- gezielt fehlende Informationen bei ihren Lieferanten nachfragen können (fördert Informationsaustausch innerhalb der Wertschöpfungskette).

Durch die im Leitfaden vorgeschlagenen Handlungsoptionen sollen die Kosten für Korrekturen von Fehlinvestitionen in wenig erfolgreiche Entwicklungspfade tief gehalten werden (s. Abb. 2).

Abb. 2: Minimierung von Fehlinvestitionen durch „best practices“



Quelle: Eigene Darstellung



## 7 Der Dialog

Im Oktober 2011 fand bereits zum dritten Mal in Zusammenarbeit mit der Empa, dem TVS Textilverband Schweiz und dem Nano-Cluster Bodensee der „Dialog NanoSafe Textiles“ statt, zu dem sich Branchenvertreter und Forscher trafen. Während des Dialogs wurde erstens der Leitfaden vorgestellt und diskutiert und zweitens wurden von den Schweizer Behörden Hilfsmittel zur Stärkung der Eigenverantwortung präsentiert (u. a. Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien, Anforderungen an Sicherheitsdatenblätter von synthetischen Nanomaterialien, Vollzugshilfe zur Entsorgung von industriellen und gewerblichen Abfällen von synthetischen Nanomaterialien).

Ein Branchenvertreter wollte wissen, wer in der Wertschöpfungskette die Verantwortung für die Risiken der Nanomaterialien trage. Die Antwort lautete: Alle Akteure der Wertschöpfungskette müssten gemäß dem Stand des Wissens handeln. Die Hilfsmittel der Schweizer Behörden und der Leitfaden könnten die Unternehmen dabei unterstützen. Ein weiterer Teilnehmer äußerte die Meinung, dass die Innovation mit Nanomaterialien und die Unsicherheit bezüglich Umwelt- und Gesundheitsrisiken von neuen Materialien keine neue Situation für die Industrie darstelle. Dem wurde zugestimmt, jedoch gleichzeitig entgegengehalten, dass die in der Vergangenheit unreflektierte Innovation mit neuen Chemikalien (die zum Teil erst später oder gar nicht untersucht wurden) zu großen Problemen geführt hätten. Mit der Nanotechnologie hat ein neues Zeitalter der Innovation begonnen, und es scheint durchaus Sinn zu machen, die Chancen und Risiken von neuen Materialien in einer frühen Entwicklungsphase zu untersuchen und abzuschätzen.

### Anmerkungen

1) Der Inhalt dieses Artikels basiert auf dem gemeinsamen Projekt des TVS Textilverband Schweiz und der Empa. An dieser Stelle möchte ich Manfred Bickel (Leiter Geschäftsstelle St. Gallen, TVS Textilverband Schweiz) als Auftraggeber und meinen Mitautoren für Ihre wertvolle Mitarbeit danken: Marcel Halbeisen, Jür-

gen Höck, Andreas Köhler, Harald Krug, Bernd Nowack und Peter Wick.

- 2) Die partikulär vorliegenden und absichtlich hergestellten Nanomaterialien werden von der ISO (2010) mit dem Überbegriff „Nano-Objekte“ zusammengefasst und gemäß ihren Formen in Nanopartikel, Nanofasern und Nanoplättchen unterteilt.
- 3) Die Ergebnisse wurden in drei Berichten veröffentlicht und mündeten in einen Leitfaden (SwissTextiles, EMPA 2011). Parallel dazu wurde der Dialog innerhalb der Wertschöpfungskette durch einen alle zwei Jahre stattfindenden Dialog „NanoSafe Textiles“ gefördert (<http://www.empa.ch/nanosafetextiles>).

### Literatur

- ISO – International Organization for Standardization*, 2010: Technical Specification ISO/TS 27687:2010 (E): Nanotechnologies – Terminology and Definitions for Nano-objects – Nanoparticle, Nanofibre and Nanoplate
- Patanaiik, A.; Anandjiwala, R.D.; Rengasamy, R.S. et al.*, 2007: Nanotechnology in Fibrous Materials – a New Perspective. In: *Textile Progress* 39/2 (2007), S. 67–120
- Qian, L.*, 2004: Nanotechnology in Textiles: Recent, Developments and Future Prospects. In: *AATCC Review* 4/5 (2004), S. 14–16
- Rammel, C.*, 2003: Sustainable Development and Innovations: Lessons from the Red Queen. In: *International Journal of Sustainable Development* 6 (2003), S. 395–416
- Rip, A.; Misa, T.J.; Scott, J. (Hg.)*, 1995: *Managing Technology in Society, The Approach of Constructive Technology Assessment*. London
- Ropohl, G.*, 1996: *Ethik und Technikbewertung*. Berlin
- Rohner, N.; Boutellier, R.*, 2009: Diffusion of Wireless Communication Technologies and Technological Lock-in. Electromagnetic Compatibility. 20th International Zurich Symposium, January 12–16, 2009, S. 301–304
- Siegfried, B.; Som, C. (Supervision)*, 2007: *NanoTextiles: Functions, Nanoparticles and Commercial Applications*. Master Thesis. Empa und Textilverband Schweiz, St. Gallen
- Som, C.; Hilty, L.M.; Ruddy, T.F.*, 2004: The Precautionary Principle in the Information Society. In: *Human and Ecological Risk Assessment* 10/5 (2004); S. 787–799

Som C.; Halbeisen M.; Köhler, A., 2009: Integration von Nanopartikeln in Textilien Abschätzungen zur Stabilität entlang des textilen Lebenszyklus. Empa und TVS Textilverband Schweiz, St. Gallen

Som, C.; Nowack, B.; Wick, P. et al., 2010: Nanomaterialien in Textilien: Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheits-Aspekte. Fokus: synthetische Nanopartikel. Empa und TVS Textilverband Schweiz, St. Gallen

Som, C.; Wick, P.; Krug, H. et al., 2011: Environmental and Health Effects of Nanomaterials in Nanotextiles and Façade Coatings. In: Environment International 37/6 (2011), S. 1131–1142

SwissTextiles; EMPA, 2011: nano textiles – Grundlagen und Leitprinzipien zur effizienten Entwicklung nachhaltiger Nanotextilien. Leitfaden nano textiles 2011; [http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/113752](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/113752) (download 18.11.11)

## Kontakt

Claudia Som  
Empa Swiss Federal Laboratory for  
Materials Testing and Research  
Lerchenfeldstraße 5, 9014 St. Gallen, Schweiz  
Tel.: +41 - 71 / 2 74 78 43 (Mo, Di, Fr)  
E-Mail: [claudia.som@empa.ch](mailto:claudia.som@empa.ch)

« »

## Flächenkreislaufwirtschaft – Erprobung und Umsetzung

Vorstellung des Projekts „Circular Flow  
Land Use Management“

von Thomas Preuß und Maic Verbücheln,  
Difu Berlin, sowie Uwe Ferber, Projektgruppe  
Stadt + Entwicklung, Leipzig

„Vermeiden – Verwerten – Ausgleichen!“ lautet die Nutzungsphilosophie der Flächenkreislaufwirtschaft. Sowohl unter Wachstums- als auch unter Schrumpfungsbedingungen bedarf es effizienter und nachhaltiger Vorgehensweisen zur quantitativen und qualitativen Steuerung der Flächeninanspruchnahme. Flächenkreislaufwirtschaft als zentraler Strategieansatz zielt vorrangig und systematisch darauf, die Potenziale der Bestandsentwicklung und der Wiedernutzung von Brachflächen auszuschöpfen. Sie setzt auf das Prinzip der Innenentwicklung u. a. durch Brachflächenrevitalisierung, Dichteerhöhung sowie Baulücken- und Mehrfachnutzungen. Das Projekt Circular Flow Land Use Management (CircUse) entwickelt und erprobt Vorgehensweisen zur Umsetzung einer Flächenkreislaufwirtschaft in Bezug auf Flächeninformationen, Managementstrukturen, Implementierungsansätze und Wissensvermittlung in sechs europäischen Ländern.

### 1 Flächenkreislaufwirtschaft im Fokus von CircUse

Mit der Strategie „Europa 2020“ beschreibt die Europäische Union Wege zu einem intelligenten, nachhaltigen und integrativen Wachstum. Vor diesem Hintergrund wird in der Strategie Priorität auf die Förderung einer ressourcenschonenden, ökologischeren und wettbewerbsfähigeren Wirtschaft gelegt. Die hiermit verknüpften Ziele einer integrierten Stadtentwicklung und einer Stärkung der Städte und Regionen als Lebens- und Wirtschaftsstandort können jedoch nur mit einem nachhaltigen Flächenmanagement erreicht werden. Dieses muss zugleich den Zielsetzungen von Klimaschutz und -anpassung, Energieeffizienz und der Bewältigung des demographischen Wandels entsprechen. Um die genannten Ziele zu