

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3707 33 302
UBA-FB 001276

Einfluss von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung

**Prognose möglicher Auswirkungen eines massenhaften
Einsatzes von RFID-Tags im Konsumgüterbereich auf die
Umwelt und die Abfallentsorgung**

Deutsche Zusammenfassung / English-language Summary

von

Lorenz Erdmann

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT gGmbH

Dr. Lorenz Hilty

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA

unter Mitarbeit von

**Hans-Jörg Althaus, Siegfried Behrendt, Roland Hischier, Christian
Kamburow, Britta Oertel, Dr. Patrick Wäger, Tobias Welz**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Kurzfassung

Anlass, Ziele und Untersuchungsgegenstand

Das F+E-Vorhaben „Prognose möglicher Auswirkungen eines massenhaften Einsatzes von RFID-Tags im Konsumgüterbereich auf die Umwelt und die Abfallentsorgung“ wurde im Rahmen des UFOPLANS 2007 unter der Förderkennziffer 3707 33 302 vom Umweltbundesamt in Auftrag gegeben. Auftragnehmer waren das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin und die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), St. Gallen.

Vor dem Hintergrund der rasant zunehmenden Verbreitung von Anwendungen der Radio Frequency Identification (RFID) untersucht das Forschungsprojekt mögliche zukünftige Auswirkungen eines massenhaften Einsatzes von RFID-Tags im Konsumgüterbereich auf die Umwelt und die Abfallentsorgung. Der gegenwärtige Einsatz von RFID-Tags stellt die derzeitigen Entsorgungssysteme für Siedlungsabfall zwar vor keine nennenswerten Herausforderungen. Die dynamische Entwicklung der RFID-Märkte kann aber die Entsorgungssysteme in Zukunft vor Probleme stellen, wenn nicht vorsorgend gehandelt wird.

Neben der Ermittlung der aktuellen und zukünftig zu erwartenden Mengen eingesetzter RFID-Tags, der Beschreibung derzeitiger Entsorgungswege für RFID-Tags im Siedlungsabfall sowie der Erstellung und Quantifizierung von Zukunftsszenarien zielt das Projekt darauf, Handlungsempfehlungen für einen umweltverträglich optimierten Einsatz von RFID-Tags in Deutschland abzuleiten. Mit diesem Bericht liegt erstmalig eine systematische quantitative Darstellung des zukünftigen Einflusses von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung unter enger Einbeziehung der betroffenen Akteure vor.

Der Untersuchungsrahmen erstreckt sich auf die Entsorgungssysteme für Siedlungsabfall in Deutschland mit einem Zeithorizont bis 2022. Das Vorhaben fokussiert auf den Eintrag passiver RFID-Tags in den Siedlungsabfall, die insbesondere auf Konsumgütern und deren Verpackungen angebracht sind. Die Entsorgungspfade Glas-, Papier/Pappe/Karton- und Leichtverpackungs-Getrennsammlung sowie die Restmüllbehandlung, einschließlich des Eintrags von RFID-Tags in Ersatzbrennstoffe (EBS) und Sekundärbaustoffe (SBS), werden umfassend analysiert. Bioabfall wird im Rahmen eines Exkurses diskutiert.

Das F+E-Vorhaben adressiert potenzielle *Risiken* von RFID-Tags in der Siedlungsabfallentsorgung. Mögliche Chancen zur Verbesserung des Recyclings durch den Einsatz von RFID-Tags, z.B. bei Elektrischen und Elektronischen Geräten, werden nicht behandelt.

RFID-Tags heute und in Zukunft

Radio Frequency Identification (RFID) bezeichnet eine Transponder-Technologie zur Identifizierung von Objekten, Tieren oder Personen über Funk. Ein Transponder-System besteht aus zwei Hauptkomponenten, dem Transponder (mobiler Datenträger, auch 'Tag' genannt) und dem Lesegerät (kann die Daten vom Tag auslesen und ggf. auch verändern).

Das Lesegerät ist meist mit einer weiteren Dateninfrastruktur verbunden. Der Tag besteht aus einem Mikrochip mit einem Schaltkreis für einen miniaturisierten Receiver/Transmitter und einer Antenne, die auf einem Substrat befestigt ist.

Mit den Angaben zur stofflichen Zusammensetzung von heutigen passiven RFID-Tags gemäß dem Technischen Report ISO/IEC TR 24729-2:2007 steht eine verlässliche Quelle für Abschätzungen heutiger RFID-bedingter Stoffflüsse zur Verfügung.

Tabelle 1: Stoffliche Zusammensetzung von heutigen passiven RFID-Tags

Komponente	Material	Masse [mg]		
		76,2 mm * 76,2 mm Tag	15 mm * 97 mm Tag	15 mm * 148 mm Tag
Deckschicht	PP	270	65	100
	Papier	525	130	200
Klebstoff	Acrylat	115	30	45
IC	Silizium	0,5	0,5	0,5
ACP	Epoxy-basiertes Material	0,8	0,8	0,8
ACP Metall	Nickel	0,1	0,1	0,1
Klebstoff	Polyurethan	40	10	15
Antenne	Kupfer	340	105	140
	Aluminium	50	15	20
	Silber (gedruckt)	36,3*	10,9	14,5*
	Bonding Agent (gedruckt)	15,3*	4,6	6,1*
Substrat	PET	410	100	155
Klebstoff	Acrylat	155	40	60
Gesamt	Tag (ohne Deckschicht)	Cu: 1021,4 Al: 731,4 Ag: 733,0*	Cu: 286,4 Al: 196,4 Ag: 196,9	Cu: 401,4 Al: 281,4 Ag: 282,0*

Quelle und Anmerkungen: ISO/IEC TR 24729-2:2007; * Berechnungen des IZT in Analogie zu Aluminium und Kupfer; IC – Integrated Circuit, ACP – Anisotropic Conductive Paste

Das Gesamtgewicht von passiven RFID-Tags (ohne Deckschicht) wird wesentlich durch das Antennenmaterial und die Tag-Fläche bestimmt. Die RFID-Tags wiegen zwischen etwa 200 mg und 1.000 mg (ohne Deckschicht). Die Spurenbestandteile Silizium, Epoxy-basiertes Material und Nickel für den Mikrochip und dessen Kontaktierung sind für alle Baugrößen gleich groß. Größenabhängig sind die Klebstoffe aus Acrylat, das Substrat aus PET und die Antennenmaterialien. Tags mit Kupferantenne wiegen rund 30-40 % mehr als gleich große Transponder mit Aluminium- bzw. Silberantenne.

RFID-Tags sind in verschiedenen Bauformen erhältlich. Bei den mengenmäßig in Zukunft dominierenden Smart Labeln wird die Ablösbarkeit vom Objekt durch die Eigenschaften des

Klebstoffs bestimmt. Das Gewicht der Deckschicht liegt in der Größenordnung des eigentlichen RFID-Tags. RFID-Inlays werden auch in Objekte integriert, z.B. als Inmould in Kunststoff, als textiler Transponder oder in Smart Cards.

Zu den Hauptentwicklungsfeldern von passiven RFID-Tags mit stofflicher Relevanz gehören die Mikroelektronik und das Antennendesign. Gedruckte Mikroelektronik auf Polymerbasis soll zur drastischen Verringerung der Kosten führen; eine weitreichende Verdrängung der Siliziumchip-Technologie ist jedoch nicht absehbar. Die Materialeinsparungspotenziale beim Antennendesign werden in naher Zukunft ausgereizt sein, da der Miniaturisierung durch die erforderlichen elektromagnetischen Eigenschaften enge Grenzen gesetzt sind. Silberbasierte Leitpasten werden bei gedruckter Elektronik zunehmend verwendet, da diese kostengünstig produktionsintegriert verarbeitet werden können. In Zukunft wird es unter Umständen möglich sein, den RFID-Tag direkt auf ein Produkt oder eine Verpackung aufzudrucken, wobei dann eventuell kein Substrat mehr erforderlich ist.

Die RFID-Technologie ist eine Querschnittstechnologie, deren Anwendungspotenziale also in fast allen Wirtschafts- und Lebensbereichen liegen. Der Einsatz von RFID-Systemen eignet sich überall dort, wo automatisch gekennzeichnet, erkannt, registriert, gelagert, überwacht oder transportiert werden muss. Wesentliche Faktoren für die RFID-Markteinführung sind die technologische Reife, das Kosten/Nutzen-Verhältnis, die technische Standardisierung, staatliche Regulierung und öffentliche Akzeptanz.

Die valideste zur Verfügung stehende Marktanalyse ist im Bridge-Projekt für Europa von 2007 bis 2022 entstanden (Bridge 2007). Daraus wurden in diesem Vorhaben die Marktentwicklungen in Deutschland und die Mengen an RFID-Tags, die in die Entsorgungssysteme gelangen abgeschätzt (Referenz-Szenario):

Tabelle 2: Aufteilung von RFID-Tags nach Anwendungsbereichen im Referenz-Szenario für Deutschland von 2007 bis 2022 [Mio. St.]

Anwendungsbereich	2007	2012	2017	2022
Distribution	6	110	1.210	4.120
Einwegverpackungen	20	645	4.225	17.600
Mehrwegsysteme				
Bestandsaufbau	6,8	40	620	1.430
Rückfluss	-	6,8	40	620
Konsumgüter				
Bestandsaufbau	0	25	125	500
Rückfluss	-	0	25	125
Personenbezogene Anwendungen	60	80	160	850
RFID-Tags im System	86	840	5.700	23.300

Quellen und Anmerkungen: Berechnungen des IZT; RFID-Tags im System zuzüglich Rückfluss, ohne Bestandsaufbau; Werte gerundet

Heute dominieren die personenbezogenen Anwendungen (Smart Cards, Smart Tickets) den Einsatz von RFID-Tags, in Zukunft werden aber die Einwegverpackungen (insb. Lebensmittel) und der Distributionssektor (insb. Post) den Gesamteintrag von RFID-Tags in die Abfallentsorgung prägen.

Da die Autoren des Bridge-Projektes ihre Schätzungen für konservativ halten und wir diese aber als optimistisch bezüglich der RFID-Verbreitung ansehen, haben wir neben der Referenzprojektion zusätzlich eine dynamischere und eine moderatere Projektion erstellt. Die Stückzahlen können aufgrund der Prognoseunsicherheit um einen Faktor 3 oder 4 über oder unter denen des Referenz-Szenarios liegen.

Mögliche Probleme durch den zukünftigen Eintrag von RFID-Tags in die Umwelt und die Abfallentsorgung

Im F+E-Vorhaben ist es gelungen, realistische Szenarien zu formulieren und zusätzlich Extrembetrachtungen anzustellen, die auch als solche gekennzeichnet sind. Die Bandbreiten möglicher Entwicklungen konnten so sinnvoll eingegrenzt und durch systematische Einbeziehung der RFID-Branche und der Entsorgungsbranche validiert werden. Damit geht das Vorhaben über bestehende Vorläuferstudien mit ähnlichen Inhalten hinaus.

Aus der empirisch gestützten Analyse der Entsorgungsprozesse konnte die Verträglichkeit einzelner Tag-Bestandteile in den Recyclingprozessen und –produkten ermittelt werden.

Im Recycling gelingt es in unterschiedlichem Maße, die RFID-Tags als Ganzes in vorgeschalteten Sortierschritten zu separieren. Abgetrennte RFID-Tags gelangen in Reststoffe zur thermischen oder metallurgischen Verwertung, nicht abgetrennte RFID-Tags in die Recyclingprozesse. In den Recyclingprozessen wiederum werden die verbleibenden RFID-Tags in das Rezyklat eingetragen, oder sie gelangen in Reststoffe, Abfälle oder Emissionen.

Beim Recycling von PPK und Verbundkarton werden zwar 100 % der RFID-Tags in den Pulper eingetragen, mindestens 98 % gelangen jedoch in die Reststoffe. Auch beim Kunststoffrecycling gelingt eine weitgehende Abtrennung der RFID-Tags in der Dichtentrennung. Aus dem hohen Eintrag von RFID-Tags in Reststoffe zur thermischen Verwertung bei PPK/Verbundkarton und Kunststoffen folgt eine starke Beladung der thermischen Verwertung mit RFID-Tags und als Konsequenz auch der Sekundärbaustoffe aus Schlacke mit RFID-Bestandteilen, insbesondere Kupfer.

Für das Glas-, Aluminium- und Weißblechrecycling ist charakteristisch, dass der überwiegende Anteil der RFID-Tags in die Hochtemperatur-Recyclingprozesse eingetragen wird. Größere Anteile an RFID-Tags werden beim Glasrecycling vorher aussortiert und gelangen in die metallurgische und thermische Verwertung.

Was passiert mit den in die Recyclingprozesse eingetragenen RFID-Tags?

Im Glas- und Kunststoffrecycling kommt es zum teilweisen Bruch der Tags in vorgeschalteten Aufbereitungsprozessen. Auch die Anhaftung der Tags am Sekundärrohstoff kann in diesen Aufbereitungsprozessen zu einem Rohstoffverlust führen.

Die RFID-Tags werden im PPK/Verbundkarton-Recycling und – sofern sie nicht zerbrochen sind – auch im Kunststoffrecycling durch Dichtentrennung als Ganzes abgeschieden. Das Substrat bzw. Trägermaterial der RFID-Tags kann je nach Dichte in der Dichtentrennung die Abscheidungsrate der RFID-Tags vom Sekundärrohstoff verringern.

Wichtige Auswirkungen auf den Prozess sind, dass im PPK-Recycling durch den Eintrag von Klebstoffen Siebe verstopfen können. Bei den Kunststoffen sind die Verarbeitungsprozesse ggf. durch den ganzen RFID-Tag bzw. durch die Metallantenne behindert.

Beim Aluminium- und Weißblech-Recycling treten keine nennenswerten Auswirkungen der RFID-Komponenten auf die Recyclingprozesse auf – die RFID-Tags verbrennen im Prozess. Bei thermischer Verwertung von Ersatzbrennstoffen und der Schlackeaufbereitung wurden die Auswirkungen nicht näher untersucht. Vermutlich sind sie aber vernachlässigbar.

Folgende Auswirkungen auf die Rezyklate sind möglich:

Tabelle 3: Mögliche Auswirkungen des Eintrags von RFID-Tags auf die Rezyklate

Stoff	Glas	PPK und Verbundkarton	Kunststoffe	Aluminium und Weißblech	EBS und SBS
Silizium	Bruch	Verunreinigung	Verunreinigung	Verunreinigung	keine
Kupfer	Verfärbungen	Verunreinigung	Verunreinigung	Verunreinigung	Verunreinigung
Aluminium	Bruch	Verunreinigung	Verunreinigung	Düngung/keine	Verunreinigung
Silber	Verfärbungen	Verunreinigung	Verunreinigung	?	Verunreinigung
PET	keine	keine	Verunreinigung, Düngung (PET)	keine	Brennstoff/keine
Acrylat	keine	Verklumpungen („Stickies“)	Verunreinigung	keine	Brennstoff/keine
Sonstige	Verfärbungen (ggf. Lote)	Verunreinigung	Eintrag von Loten	Legierung (ggf. Nickel)	-

Quelle und Anmerkungen: Bewertungen der Empa; Sonstige: Verbindungsmaterialien – Nickel, Epoxy-basiertes Material, Polyurethan, Bonding Agent, Lote

Die möglichen Auswirkungen von RFID-Tags im Recycling sind vielfältig. Generell sind Verunreinigungen des Sekundärrohstoffs unerwünscht, insbesondere bei Glas ist aber durch Bruch und Verfärbungen eine drastische Qualitätsverschlechterung des Rezyklates möglich. Die Verklumpungen durch „Stickies“ beim PPK-Recycling sind eine alt bekannte Problematik, die nicht spezifisch für den Eintrag von RFID-Tags ist.

Sowohl beim Eintrag von Aluminiumantennen ins Aluminiumrecycling, als auch beim Eintrag von PET-Substraten ins PET-Recycling entsteht ein isoliert gesehen wünschenswerter Eintragseffekt („Düngung“). PET und Acrylat-Klebstoff sind auch in Ersatzbrennstoffen als Energieträger erwünscht.

Wissenslücken hinsichtlich der Auswirkungen bestehen insbesondere bei größeren Einträgen von Silber in das Aluminium- und Weissblechrecycling.

Dies alles sind *mögliche* Auswirkungen eines zukünftigen massenhaften Einsatzes von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung. Doch wie verhält es sich mit realistischen Entwicklungen; welche Auswirkungen sind unter gegebenen Bedingungen zu erwarten?

Folgende Abbildung zeigt die zentralen Wirkungsmuster der vier gebildeten Szenarien mit einem Zeithorizont von 2022 für den Einfluss von RFID-Tags auf die Siedlungsabfallentsorgung in Deutschland:

Tabelle 4: Hauptwirkungsmuster der Szenarien auf die Stoffströme

Szenario	Hauptwirkungsmuster	Mögliche Grenzwertüberschreitungen für Sekundärrohstoffe
Referenz	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Eintreten heute absehbarer Technologie- und Marktentwicklungen ▶ Keine Anpassungen des Entsorgungssystems an den RFID-Eintrag ▶ Belastungen der Recyclingprozesse durchweg zwischen den Extremen 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Glasrecycling (Si, Al) ▶ Kunststoffrecycling (Fremdpolymere, Metalle) ▶ Kupfer im Aluminiumrecycling, in EBS und SBS
Technisch-ökonomischer Push	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Stückzahlen stärkster Faktor für die Eintragsmengen in die Rezyklate ▶ größerer Anteil an Silber-Antennen und Polymerchips ▶ durchgängig die höchsten Belastungen für die Recycling-Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ früher und deutlicher ▶ ggf. neue Probleme durch andere Stoffe (u.a. Spezialpolymere, Tantal, Lithium)
Staatliche Regulierung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ gehemmte technologische Entwicklung verringert Stückzahlen ▶ keine Entlastung des Glasrecyclings von Siliziumchips durch Polymerchips ▶ doppelte Wiederverwendungsquote für Verpackungen im Großgewerbe entlastet PPK- und KS-Recycling 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ später oder gar nicht
Selbstregulierung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Getrenntsammlung Smart Tickets entlastet PPK-Recycling ▶ Ausschleusung von RFID-Tags aus Glasrecycling durch konstruktive Maßnahmen ▶ Abtrennung der RFID-Tags in der LVP-Sortierung entlastet alle LVP-Recyclingprozesse 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Entschärfung beim Glasrecycling (Si, Al) ▶ Entschärfung beim Kunststoffrecycling (Fremdpolymere, Metalle) ▶ Entschärfung beim Kupfer im Aluminiumrecycling ▶ Kupfer in EBS und SBS mittelbar entlastet

Quelle: Bewertungen des IZT

Im Szenario Selbstregulierung sind Maßnahmen zur vorbeugenden Entschärfung des Problemdrucks formuliert und im Stoffstrommodell quantifiziert worden. Die Maßnahmen erwiesen sich in der Modellrechnung als effektiv.

Die möglichen Probleme eines massenhaften Eintrags von RFID-Tags in das Recycling können mit vergleichsweise einfachen Strategien wirksam entschärft werden:

- ▶ Durch Ecodesign können die RFID-Tags separierbar und/oder massenstromtauglich gestaltet werden.
- ▶ Die Recyclingprozesse können so angepasst werden, dass sie die RFID-Tags besser detektieren und ausschleusen.
- ▶ Wie in der Sekundärrohstoffverwertung üblich kann die Konzentration von Fremdstoffeinträgen durch Verschnitte mit unbelasteten Fraktionen verringert werden. Bei einem zukünftigen ubiquitären Einsatz von RFID-Tags wird diese Option aber erschwert.

Je nach Recyclingprozess sind verschiedene Maßnahmen auszuwählen und zu kombinieren.

Beim Glasrecycling sind die Optionen für ein massenstromtaugliches Design aus heutiger Sicht begrenzt, da es zu Silizium-Mikrochips keine Alternative gibt und alle drei Antennenmaterialien, vor allem Aluminium, aber auch Kupfer und Silber, negative Auswirkungen auf das Glas-Rezyklat haben. Als konstruktive Maßnahmen zur besseren Separierung stehen die Integration in den Behälterdeckel, das Tagging der Banderole und die Erhöhung der Duktilität des Tags zur Verfügung. Am geeignetsten scheint das Tagging der Banderole zu sein, da die Integration in den Behälterdeckel heute noch nicht möglich ist und auch die Erhöhung der Duktilität zur Abscheidung durch Scherkräfte ohne Bruch der RFID-Tags nur schwer darstellbar ist. Geeignete Maßnahmen zur Prozessanpassung schätzen wir als relativ aufwändig ein.

Der Problemdruck durch RFID-Tags im Recycling von PPK und Verbundkarton ist derzeit gering und wird es auch in naher Zukunft bleiben. Durch Verwendung von Kunststoffen statt Zellulose als Trägermaterial kann die Abtrennung der RFID-Tags in der Dichtentrennung erleichtert werden. Die Integration des RFID-Tags in Zellulose wird aber z.B. zur Authentifizierung von Dokumenten bevorzugt. Maßnahmen zur Eliminierung des geringen zusätzlichen Metalleintrages aus Antennenmaterialien sind aufwändig und können nur im Zusammenhang mit anderen Fremdstoffeinträgen bewertet werden. Sollten RFID-Tags in Zukunft direkt auf Verpackungen gedruckt werden, so käme dem Deinking im Verpackungsbereich gegebenenfalls eine neue Bedeutung zu.

Bei Leichtverpackungen besteht die Möglichkeit, RFID-Tags so zu gestalten, dass sie durch optische Verfahren detektiert (spektroskopische Detektion oder Muster-Erkennung) und anschließend separiert werden können. Dies könnte die Recyclingprozesse von Verbundkarton, Aluminium, Weißblech und Kunststoffen entlasten. Wie dies im Einzelnen umgesetzt werden kann, bedarf weiterer Prüfungen.

Beim Tagging von Kunststoffverpackungen mit Smart Labeln besteht die Möglichkeit des Taggings der Banderole, bei verschiedener Materialdicke auch des Deckels, und die Verwendung von Materialien, die eine Dichtentrennung erleichtern, wie z.B. Aluminiumantennen. Hier ist insbesondere das Recycling von PET und PS zu adressieren, da das Standardsubstrat PET aufgrund seiner Dichte als Carrier für die Metallbestandteile in den Kunststoff wirkt und auch das PET im PS-Recycling stört. Beim Inmould von RFID-Tags in Kunststoffverpackungen ist im Vergleich zur Verwendung von Smart Labeln die Trennung deutlich erschwert.

Beim Weißblech- und Aluminiumrecycling gilt es, das potenziell schädliche Kupfer als Antennenmaterial zu vermeiden. Die Möglichkeiten zur Separierung der RFID-Tags und der Prozessanpassung sind eingeschränkt.

Bei der Verwertung von Ersatzbrennstoffen ist insbesondere der Kupfereintrag zu minimieren. Die Vermeidung von Kupfer als Antennenmaterial oder die vorherige Separierung von Kupfer aus den Ersatzbrennstoffen ist auf dieser Analyseebene nur schwer begründbar. Intelligent zusammengestellte Verschnitte mit anderen Fraktionen können den Kupfereintrag unter den Grenzwert senken. Auch bei der Verwertung der Verbrennungsschlacken als Sekundärbaustoffe ist der Kupfergehalt zu adressieren. Eine Extraktion von Kupfer und Silber aus der Verbrennungsschlacke wäre nicht nur im Hinblick auf die Schlackequalität wünschenswert, sondern auch zur Wiedergewinnung der Wertstoffe.

Handlungsempfehlungen

Insgesamt entscheidet das Zusammenspiel von RFID-Tags, Verpackung/Objekt und Entsorgungsprozessen über die Auswirkungen der RFID-Technologie auf das Entsorgungssystem. Es bestehen große Unsicherheiten über die tatsächlichen zukünftigen Auswirkungen der RFID-Technologie auf das Entsorgungssystem.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die durch ein hohes Aufkommen von RFID-Tags im Entsorgungssystem zu erwartenden Probleme beherrschbar sind, wenn vorsorgende Maßnahmen ergriffen werden. Das Engagement der beteiligten Branchenverbände aus der Informations- und Kommunikationstechnikbranche und der Entsorgungsbranche ist eine vielversprechende Basis zur Vermeidung und Begrenzung der potenziellen Probleme.

Im Laufe des F+E-Vorhabens haben wir vier Basisstrategien herausgearbeitet, die wir aus heutiger Sicht für hinreichend, aber auch für notwendig halten, um das Vorsorgeprinzip zu operationalisieren:

- ▶ Beobachten: Die Entwicklungen der RFID-Technologie und -Märkte müssen gemäß des Vorsorgeprinzips weiter beobachtet werden (Monitoring).
- ▶ Untersuchen: Es verbleiben erhebliche Kenntnislücken, wie z.B. über den Verbleib von verschiedenen RFID-Tag-Komponenten in Verbrennungsprozessen (F+E-Bedarf).

- ▶ Getrennt halten: Grundsätzlich ist in Recyclingprozessen und Rezyklaten jeder Fremdstoff unerwünscht. Die Separierung der RFID-Tags kann oft durch einfache konstruktive Maßnahmen gefördert werden.
- ▶ Massenstromtauglich gestalten: Die Feinverteilung der potenziell ubiquitären RFID-Tags erschwert eine gezielte Adressierung der RFID-Tags in der Entsorgung. Die massenstromtaugliche Gestaltung ist ein wichtiger Ansatz zur weitreichenden Operationalisierung des Vorsorgeprinzips.

Diese vier Basisstrategien können in konkrete Aktivitäten überführt werden, die im Laufe des F+E-Vorhabens identifiziert, bewertet und präzisiert worden sind.

Für Deutschland gibt es kein Monitoring, welche RFID-Tags in welchen Stückzahlen und Anwendungsbereichen eingesetzt werden. Grundsätzlich erfolgt das Monitoring von Technologie- und Marktentwicklungen meist aus betriebs- und volkswirtschaftlichem Interesse. Aus Sicht des Umweltschutzes ist eine Integration in bestehende Monitoring-Aktivitäten zu prüfen, wobei sich insbesondere die Frage nach der Erhebung stofflicher Parameter stellt.

Im Laufe des F+E-Vorhabens sind zahlreiche Wissensdefizite zu Tage gekommen. Der weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarf kann grob in drei Bereiche eingeteilt werden: praktische Erprobung, ganzheitliche Bewertung und innovatives Tag-Design.

Praktischer Erprobungsbedarf besteht insbesondere in der vertieften Analyse der Wechselwirkungen zwischen Detektionsverfahren, Aufbereitungs- und Verwertungsprozessen einerseits und der Beschaffenheit von RFID-Tags und ihrer Aufbringungsart andererseits. Nur durch Feldversuche in Zusammenarbeit mit den betroffenen Akteuren können die Auswirkungen des Eintrags von RFID-Tags in die Entsorgung zweifelsfrei geklärt werden. Die praktische Erprobung sollte realistische Szenarien des RFID-Eintrags unter Einbeziehung von Wirtschaftlichkeitsaspekten aufgreifen.

Das F+E-Vorhaben fokussiert auf mögliche Auswirkungen eines massenhaften Eintrags von passiven RFID-Tags in die Abfallentsorgungssysteme. Im Sinne einer ganzheitlicheren Bewertung sehen wir Forschungsbedarf beim Eintrag von RFID-Tags auf Textilien in die Abwasserentsorgung und beim Entsorgungspfad Bioabfälle. Auch die Bewertung des Eintrags alternativer RFID-Inhaltsstoffe in die Siedlungsabfallentsorgung und der indirekten Umwelteffekte der RFID-Nutzung sind wichtige Elemente einer ganzheitlichen Umweltbewertung.

Der zukünftige Einfluss von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung und die Umwelt kann durch das Design der RFID-Tags wesentlich beeinflusst werden. Prioritärer Forschungsbedarf besteht insbesondere bei der Gestaltung der RFID-Tags selbst (insbesondere der Antennenmaterialien) und ihrer Separierbarkeit vom Objekt (insbesondere Klebstoffe, konstruktive Maßnahmen und Direktdruck).

Die Getrennthaltung der RFID-Tags vom restlichen Objekt- oder Stoffstrom kann an einigen Stellen mit vermutlich geringem Aufwand erfolgen, in anderen Bereichen ist dies sehr aufwändig. Aus dem F+E-Vorhaben ergibt sich folgende Hierarchie:

- ▶ Bei einigen quasi-offenen RFID-Tag Anwendungen mit klar lokalisierter Anfallstelle, wie z.B. Smart Cards, Smart Tickets im ÖPNV und RFID-Tags für die Fluggepäcklogistik, ist darauf hinzuwirken, dass separate Sammelsysteme geschaffen werden.
- ▶ Konstruktive Lösungen wie die Integration des Tags in den Deckel von Kunststoff- oder Glasflaschen (z.B. Smart Corque), in die Banderole oder in andere separierbare Teile von Verkaufsverpackungen sind zu bevorzugen, wenn separate Sammelsysteme für RFID-Tags nicht möglich sind.
- ▶ Leicht lösliche Klebstoffe für Tags verbessern die Separierbarkeit und eignen sich für die Aufbringung auf Kunststoff-, Weißblech-, Aluminium- und Glasverpackungen; der Abtrennungsprozess wird dadurch vereinfacht und einer Qualitätsverschlechterung der Rezyklate wird vorgebeugt.
- ▶ Insbesondere bei Inmold von RFID-Tags in Kunststoffe ist die Separierung erheblich erschwert. Eine Materialzusammensetzung von RFID-Tags, die die spektroskopische Detektierbarkeit in der LVP-Sortierung begünstigt, könnte für die Ausscheidung von Tag-Bestandteilen aus den Flakes sortenreiner Kunststoffe grundsätzlich von Vorteil sein.

Realistische Möglichkeiten zur partiellen Rückgewinnung der in RFID-Tags enthaltenen Metalle bestehen nur, wenn durch weiter stark steigende Metallpreise die Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Ansonsten sind die metallischen Wertstoffe durch Dissipation verloren.

Die zielsicherste Maßnahme für eine – aus Sicht des Recyclingprozesses – Best-Case-Situation wäre ein massenstromtaugliches Design. Aus heutiger Sicht sollten folgende stoffliche Brennpunkte vordringlich entschärft werden:

- ▶ Aluminium auf Objekten aus Glas,
- ▶ Kupfer auf Objekten aus Aluminium und
- ▶ Substrat-Polymere, die sich von den Polymeren des etikettierten Kunststoff-Objekts in ihrer Dichte nur wenig unterscheiden (erschwerter Dichtesortierung).

Zu Silizium-Mikrochips als störendem Eintrag ins Glasrecycling gibt es derzeit keine praktische Alternative, da die Alternativen entweder unverhältnismäßig teuer sind (z.B. Galliumarsenid) oder sich noch im Entwicklungsstadium befinden (Polymer-Mikrochips). Das Design der RFID-Tags, und damit auch die Wahl des Antennenmaterials und des Substrates, unterliegt jedoch vorwiegend funktionalen und ökonomischen Anforderungen. Zum Eintrag größerer Mengen an Silber in die Abfallentsorgung liegen keine praktischen Erfahrungen vor, weshalb diese Empfehlungen nur vorläufigen Charakter haben können.

Umsetzung

Für die Behandlung möglicher zukünftiger Probleme durch den Eintrag von RFID-Tags in das Recycling ist mit dem Multi-Stakeholder-Ansatz in der ISO/IEC-Norm TR 24729-2:2007 'Recycling and RFID-Tags' ein Handlungsrahmen geschaffen worden.

Grundsätzlich ist sowohl in der RFID-Branche, als auch in der Entsorgungsbranche Bereitschaft vorhanden, potenzielle Probleme durch RFID-Tags im Recycling in einem kooperativen Verfahren zu entschärfen, sofern gewisse Bedingungen wie klare Problemdefinition und vertretbarer Aufwand gegeben sind. Etwaige Maßnahmen fallen deshalb derzeit in ein günstiges Zeitfenster.

Insgesamt gesehen schätzen wir die Chancen zumindest für einen reduzierten Multi-Stakeholderansatz als sehr gut ein. Eine solche Zusammenarbeit zwischen Siedlungsabfallwirtschaft und Industrie wäre beispielhaft und könnte ggf. auch für weitere Themen genutzt werden.

Die Verbände sehen ihre Rolle vor allem in der Verbreitung von Informationen und der Sensibilisierung ihrer Mitgliedsfirmen. Es ist auch Bereitschaft zur Übernahme klar definierter Aufgaben, u.a. im Rahmen eines Monitorings, vorhanden. Unklar ist derzeit allerdings die Initiative und Organisation eines solchen Hersteller-, Anwender-, Entwickler- und Entsorger-Dialogs.

Angesichts des lediglich potenziell vorhandenen Handlungsdrucks setzten die staatlichen Organe aus gutem Grunde auf „weiche“ Maßnahmen und die Selbstregulierung der Marktteilnehmer. Da die Umweltaspekte von RFID-Tags sehr stark auch technische, ökonomische und soziale Aspekte der Technologieentwicklung berühren, empfehlen wir, die Umweltaspekte zu bündeln und so weit wie möglich in übergeordnete F+E-Roadmaps zu integrieren.

Das Umweltbundesamt hat mit der Förderung dieses Vorhabens im Rahmen des UFOPLANs 2007 einen ersten Aufschlag zur turnusmäßigen Evaluierung des Einflusses von RFID-Tags auf die Abfallentsorgung gemacht. Vorbehaltlich weiterer Prüfungen und Abstimmungen mit dem BMU empfehlen wir, die Thematik ggf. um das Jahr 2010 in modifizierter Form neu zu bewerten.

Summary

Goal definition and scope

The R&D-Project „Prognosis of potential impacts of a mass use of RFID-Tags in the area of consumer products on the environment and waste management” was commissioned by the German Federal Environmental Agency. It was supported within the research programme UFOPLAN 2007 under the reference number 3707 33 302. Contractors were the Institute for Futures Studies and Technology Assessment (IZT), Berlin and the Swiss Federal Materials Testing and Research Institute (Empa), St. Gallen.

Against the background of the fast market penetration of Radio Frequency Identification (RFID) the research project investigates potential future impacts of a mass use of RFID-Tags in the area of consumer products on the environment and waste management. Today’s use of RFID tags doesn’t challenge current municipal solid waste management systems substantially. However, if no precautionary action is undertaken the dynamic growth of RFID markets could have adverse effects on these waste management systems in the future.

The project aims at the assessment of today’s and future’s RFID tag quantities, the characterisation of the fate of RFID tags in current municipal solid waste management systems, the building and quantification of future scenarios and policy recommendations for an environmentally sound use of RFID tags in Germany. This final report is the first systematic quantitative description of the future impacts of RFID tags on waste management, having involved the most important stakeholders closely.

The project’s scope is on municipal solid waste management systems in Germany for a time horizon of 2022. The project focuses on passive RFID tags, being attached to consumer products or their packaging. The separately collected waste fractions end-of-life glass, paper and cardboard, light packaging and residual waste are analysed downstream, including secondary fuels (SF) and secondary construction materials (SC). Organic waste is treated in a brief digression. The R&D project addresses potential risks of RFID-Tags in municipal solid waste management. Opportunities to improve recycling, e.g. of WEEE, is not accounted for in this study.

RFID tags today and in the future

Radio Frequency Identification (RFID) denotes a transponder technology to identify objects, animals or people wirelessly. A transponder system consists of two principal components, the transponder (mobile data unit, called ‘tag’) and the reading device (able to read data from the tag or write data on it). The reading device is usually connected to another data infrastructure. The tag itself is made up from a microchip with an integrated circuit for a miniature receiver/transmitter and an antenna, which is mounted on a substrate.

The ISO/IEC Technical Report 24729-2:2007 provides the most appropriate and reliable data on the material composition of passive RFID-Tags to assess whether these RFID-Tags can do any harm on today’s recycling processes.

Table 1: Material composition of today's passive RFID-Tags

Component	Material	Mass [mg]		
		76,2 mm * 76,2 mm Tag	15 mm * 97 mm Tag	15 mm * 148 mm Tag
cover material	PP	270	65	100
	paper	525	130	200
adhesive	acrylate	115	30	45
IC	silicium	0,5	0,5	0,5
ACP	epoxy-based material	0,8	0,8	0,8
ACP metal	nickel	0,1	0,1	0,1
adhesive	Polyurethane	40	10	15
antenna	copper	340	105	140
	aluminium	50	15	20
	silver (printed)	36,3*	10,9	14,5*
	bonding agent (printed)	15,3*	4,6	6,1*
substrate	PET	410	100	155
adhesive	acrylate	155	40	60
total	tag (without cover)	Cu: 1021,4 Al: 731,4 Ag: 733,0*	Cu: 286,4 Al: 196,4 Ag: 196,9	Cu: 401,4 Al: 281,4 Ag: 282,0*

Source and comments: ISO/IEC TR 24729-2:2007, * Calculations by IZT analogue to aluminium and copper; IC – integrated circuit, ACP – anisotropic conductive paste

The total weight of passive RFID tags (without cover material) is mainly determined by the antenna material and the size of the RFID tag. The total weight lies between roughly 200 and 1.000 mg per tag (without cover material). The minor substances silicium, epoxy-based material und nickel for the microchip and it's contacting is the same for all sizes. In contrast, the adhesives, the substrate and the antenna materials depend on tag-size. Tags with a copper antenna weigh some 30-40 % more than a transponder of equal size with aluminium or silver antenna.

RFID tags are available in different designs. Smart Labels will dominate RFID tag quantities in the future. The properties of the adhesives determine to which degree the Smart Labels can be detached from the objects. The weight of the cover material is in the order of magnitude of the real RFID tags. RFID inlays are also integrated into objects, e.g. as in mould in plastics, as textile transponder or in smart cards.

Main areas of passive RFID tag development with material relevance include microelectronics and antenna design. Printed microchips based on polymer semiconductors are destined to reduce production costs substantially. A far-reaching replacement of silicium technology cannot be foreseen today. The material reduction potentials of antenna design will be exploited in the near future, as the miniaturisation is limited by the required

electromagnetic properties. Silver-based pastes will be increasingly used in printed micro-electronics, as they enable cost-effective inline processing of antenna. In future, it might be even possible to print the entire RFID tag on a product or packaging so that the substrate could become obsolete.

The RFID technology is a cross-sectional technology, of which application potentials lie in almost all sectors of economy and living. The use of RFID systems is suitable wherever automated characterisation, recognition, registration, storage, control or transport is required. Principal factors which affect market introduction are technological maturity, the cost/benefit-ratio, standardisation, governmental regulation and public acceptance.

The most reliable market analysis available to us has been carried out within the Bridge-Project (2007) for Europe. From this basis we have derived the market developments in Germany until 2022 and the amounts of RFID tags, which will finally end up in the waste management systems (Reference Scenario):

Table 2: Break-down of RFID tag numbers by application areas in the Reference Scenario for Germany from 2007 to 2022 (million pieces)

Application area	2007	2012	2017	2022
distribution	6	110	1.210	4.120
one-way packaging	20	645	4.225	17.600
returnable systems				
inventory input	6,8	40	620	1.430
return flow	-	6,8	40	620
consumer products				
inventory input	0	25	125	500
return flow	-	0	25	125
personalised applications	60	80	160	850
RFID tags in the system	86	840	5.700	23.300

Source and comments: calculations by IZT; RFID tags in the system including return flow, excluding inventory input; rounded values

Today personalised applications (esp. Smart Cards, Smart Tickets) dominate the use of RFID tags. In future, one-way packaging (esp. for food and beverages) and the distribution sector (esp. postal services) will be the major sources of total RFID tag numbers in the waste management system.

As the authors of the Bridge-Project conceive their assessments as conservative, but we see them as optimistic, we have contrasted the reference projection with a more dynamic and a more moderate projection. As a consequence the real future numbers might be a factor of three to four higher or lower than in the Reference Scenario.

Potential problems caused by the entry of RFID-Tags into the environment and waste management

In the R&D project we have built realistic scenarios and labelled extreme thoughts as such. Thus the range of possible developments could be outlined and validated by systematic involvement of the RFID industry and the waste management sector. This is a major difference to previous studies with similar thematic scopes.

Based upon an empirical survey of the waste management processes the impacts of RFID-Tags and their components on both recycling processes and products could be studied. The detachment of entire RFID tags is achieved to different degrees in previous sorting steps. The separated RFID tags are treated with residues either for thermal or metallurgical recycling, the remaining fraction of RFID tags entering the recycling process itself. In the recycling process the RFID tags enter the recycled product, slags and ashes, other residues or they finally end up in landfills.

In the recycling of paper, card-board and compounds almost 100 % of attached RFID tags enter the pulper, but more than 98 % end up in the residual waste. Also in plastics recycling there is a gravity separation of RFID tags to a high degree. As a consequence of the far-reaching entry of RFID tags into residual fractions for energy recovery, the secondary fuels and secondary construction materials are loaded to a big extent with RFID tags and their components, especially copper, respectively.

In glass, aluminium and tinplate recycling RFID tags are burnt to a high degree. In glass recycling a significant fraction of RFID tags is separated in advance and enters the residual fractions for metal or thermal recovery.

What happens to the RFID tags in the recycling processes?

In glass and plastics recycling RFID tags might break into pieces in preceding sorting and cleaning processes. The adhesion of the tags can lead to increased rejects of the secondary raw materials.

The entire RFID tags in paper, card-board and compound recycling and – if not broken into peaces – in plastics recycling are separated by gravity separation. The substrate or cover material can reduce the separation rate depending on its gravity. The adhesives of RFID tags might clog filters in paper, card-board and compound recycling. In plastics recycling, processes might be hindered by the entire tags or the metal antenna.

In aluminium and tinplate recycling there are no significant impacts of RFID components on the processes – the RFID tags are simply burnt. The impacts of RFID tags and their components on the burning of secondary fuels and the production of secondary construction materials have not been investigated. Supposedly, they are negligible.

The following impacts on recycled materials are possible:

Table 3: Potential impacts of RFID-Tags on recycled materials

Substance	Glass	Paper, cardboard and compouds	Plastics	Aluminium and tinfoil	SF and SC
silicium	fracture	impurity	impurity	impurity	none
copper	colour change	impurity	impurity	impurity	impurity
aluminium	fracture	impurity	impurity	fertilizer/none	impurity
silver	colour change	impurity	impurity	?	impurity
PET	none	none	impurity, fertilizer (PET)	none	fuel/none
acrylate	none	stickies	impurity	none	fuel/none
other	colour change (e.g. by solders)	impurity	impurity	alloy (e.g. by nickel)	-

Source and comments: assessments by Empa, based on interviews; SF – secondary fuels, SC – secondary construction materials; other - nickel, epoxy-based material, polyurethane, bonding agent, solders

The potential impacts of RFID tags on recycled materials are manifold. In general, impurities are unwanted. Especially in the case of glass, a drastic deterioration of product quality is possible due to fractures and colour changes. Stickies in the recycling of paper, cardboard and compouds pose a well-known problem, which is not specific for RFID tags.

There is an unintended fertilizer effect in the case of the entry of aluminium antennas into aluminium recycling and PET-substrate into PET-recycling. The failure of gravity separation in the case of PET-recycling may let PET-substrates act as carriers for metal impurities. PET and acrylate are also appreciated in secondary fuels because of their energy content.

Knowledge is scarce with regard to the impacts of significant entries of silver into aluminium and tinfoil recycling.

It has to be emphasized that these are *potential* impacts of RFID tags in recycling. Whether they will materialize or not depends on future developments, which have been simulated in scenarios until 2022 under given conditions. The table sums up main impact patterns of the scenarios for the impact of RFID tags on waste management systems in Germany.

Table S-4: Main impact patterns of the scenarios on material flows

Scenario	Main impact patterns	Potential conflicts with thresholds for recycled material
Reference	<ul style="list-style-type: none"> ▶ foreseeable technology and market developments ▶ no adaptation of waste management to RFID entry ▶ impact in recycling between the extremes 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ glass recycling (Si, Al) ▶ plastics recycling (different polymers, metals) ▶ copper in aluminium recycling, SF and SC
Techno-economic Push	<ul style="list-style-type: none"> ▶ tag numbers are decisive for the total load in recycled materials ▶ larger share of silver antenna and polymer chips ▶ highest impact in Recycling 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ earlier and more clearly ▶ new problems possible due to other substances (e.g. special polymers, tantalum, lithium)
Governmental Regulation	<ul style="list-style-type: none"> ▶ constrained technological development reduces tag numbers ▶ no load relieving of silicon-microchips in glass recycling by polymer-microchips ▶ double re-use rate for packaging in large enterprises relieves recycling of paper and card-board as well as plastics 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ later or never
Self Regulation	<ul style="list-style-type: none"> ▶ separate collection of smart tickets relieves recycling of paper and card-board ▶ separation of RFID tags in glass recycling by design measures ▶ separation of RFID tags in sorting of light packaging discharges all light packaging recycling processes 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ mitigation in glass recycling (Si, Al) ▶ mitigation in plastics recycling (different polymers, metals) ▶ mitigation in aluminium recycling (copper) ▶ SF and SC discharged indirectly

Source: assessments by IZT; SF – secondary fuels, SC – secondary construction materials

In the Self Regulation Scenario the effectiveness of measures to mitigate potential problems has been proven successfully in quantitative model simulation runs.

The potential problems of a mass entry of RFID tags into recycling can be encountered by relatively simple strategies effectively:

- ▶ By ecodesign the RFID tags can be made easy separable and/or material stream consistent.
- ▶ The recycling processes can be adapted in a way that they are capable to detect and separate the RFID tags.
- ▶ Secondary raw material with impurities can be blended with purer secondary raw material fractions. However, if RFID tags become ubiquitous this option might be limited in the future.

Measures should be chosen and combined appropriately depending on the recycling process.

In glass recycling, options for a material stream consistent design of the tags are limited, as there is no alternative to silicon-microchip technology today and because all three antenna materials, above all aluminium, but also copper and silver, have negative impacts on the recycled glass. Measures to separate the tags include integration in the lid of the packaging, tagging of the banderole and the enhancement of the ductility of the tag. Currently, tagging of the banderole seems to be the most appropriate measure, as integration into the lid is not possible today and the enhancement of ductility of the tag is difficult to be realised technically. We conceive appropriate measures to adapt the glass recycling process itself as costly.

Problem pressure by the entry of RFID tags in recycling of paper, cardboard and compounds is and will remain weak in the near future. The use of plastics as cover material can facilitate the separation of RFID tags in gravity separation. The integration of RFID tags into cellulose is preferred e.g. for the authentication of documents. Measures to eliminate the additional metal entry from antenna are complex and can be assessed only by taking other impurities into consideration. If RFID tags can be printed directly on packaging in the future, deinking in the recycling of packaging could become more important than today.

In light packaging there is the opportunity to design RFID tags in a manner that they can be detected by optical techniques (spectroscopic or pattern recognition) and subsequently separated by now not known processes. This would unload the recycling processes of cardboard compounds, aluminium, tinsplate and plastics. How this could be realised needs further investigation and testing.

In the tagging of plastic packaging with Smart Labels there is the possibility to tag the banderole, the lid if the material's density differs from the rest, or to use material, which facilitates gravity separation such as aluminium antenna. Especially PS and PET recycling should be addressed, as the standard substrate PET acts as a carrier for metal constituents into recycled plastics due to its specific gravity. Inmould of RFID tags aggravates separation of RFID tags from plastics compared to Smart Label attachment.

In aluminium and tinsplate recycling it is important to avoid the entry of copper antennas. The opportunities to separate the entire RFID tags or to adapt the processes are limited.

Copper entry is also to be minimised in the case of secondary fuels. However the avoidance of copper as an antenna material or an earlier separation of copper from the secondary fuels cannot be justified easily from this perspective. The intelligent blending of secondary fuels can sink the copper flows below the thresholds. In the case of secondary construction materials copper is also to be addressed. An extraction of copper and silver is not only desirable because of the slag's quality but also to recover these valuable materials.

Recommendations

The impact of RFID technology on the waste management system is determined by the interplay among RFID tags, packaging/object and waste management processes. Real future impacts of the RFID technology on the waste management system are highly uncertain.

To sum it up, the expected problems due to a mass entry of RFID tags in the waste management system will be manageable, if precautionary action is undertaken. The engagement of the trade associations from RFID industry and waste management industry provides a promising basis to avoid and limit the potential problems.

During the R&D project we have elaborated four basic strategies, which we conceive as necessary and sufficient to handle emerging problems from today's point of view:

- ▶ **Monitoring:** The developments of RFID technology and markets have to be monitored further according to the precautionary principle.
- ▶ **Research:** Many blind spots remain, such as the fate of RFID tags in incinerators, underpinning the need for further investigation.
- ▶ **Separation:** In principal any impurity is unwanted in recycling processes and products. The separation of RFID tags can often be promoted by simple design measures.
- ▶ **Material stream consistent design:** The dissipation of potentially ubiquitous RFID tag applications hampers a precise addressing of RFID tags in waste management. Material stream consistent design is an important means to implement the precautionary principle comprehensively.

These four basic strategies can be converted into concrete activities, which have been identified, assessed and defined in the research project.

In Germany there is no monitoring, which tags are used in which numbers in which application area. Generally, monitoring of technology and market development is carried out mostly for economic reasons. From an environmental point of view, the integration of environmental aspects into existing monitoring activities is to be pursued. This poses the question which additional parameters to collect.

During the project a number of knowledge gaps have been disclosed. The need for R&D can be clustered roughly into three domains: practical testing, integrated assessment and innovative tag design.

Practical testing should focus on the in depth analysis of the interdependence of detection technique, pre-treatment and recycling processes on the one hand and the properties and application types of the RFID tags on the other hand. Only field tests in cooperation with the affected actors can unveil the impacts of RFID tags in waste management doubtlessly. The practical testing should make use of realistic RFID tag scenarios including aspects of cost effectiveness.

The project has focussed on potential impacts of a mass use of passive RFID tags in waste management systems. From a holistic point of view we see the need to investigate the fate of RFID tags on textiles in sewage systems and the management of organic wastes, loaded with RFID tags. In addition, the assessment of alternative substances in municipal solid waste management originating from RFID tags and the indirect environmental effects of RFID use are important building blocks of an integrated assessment.

The future impact of RFID tags on waste management systems and the environment can be influenced to a high degree by the design stage. R&D on the design of the tags themselves (esp. antenna materials) and their ability to be detached from the object (esp. application modes, adhesives and direct printing) are pivotal.

The separation of RFID tags from the object or material stream can be realised supposedly with low effort in some places, in others it will be rather costly. In the project we have identified the following hierarchy:

- ▶ In quasi open-loop uses with clearly defined sources of waste generation, e.g. Smart Cards, Smart Tickets in public transport and RFID tags for air luggage logistics, it should be aimed at separate collection systems.
- ▶ Design solutions, such as the integration of tags into the lid of plastic or glass containers (z.B. Smart Corque), into the banderole or into other easily separable parts of item-level packaging should be preferred if separate collection systems are unfeasible.
- ▶ Easily soluble adhesives for Smart Labels improve the chances to separate them from plastics, aluminium, tinfoil and glass packaging; the separation process could be simplified and a deterioration of the recycled product's quality could be prevented.
- ▶ Especially in the case of in-moulded RFID tags into plastics, separation is hindered severely. A material composition of RFID tags, which facilitates the optical detection in the sorting stage of light packaging could be a basis for the separation of tag (constituents) from the flakes in plastics recycling.

Realistic opportunities to recover the metals contained in RFID tags can be assumed in the case of strongly growing metal prices, which renders the recovery cost effective. In the other case the metal constituents are lost by dissipation into slags and ashes, recycled products, onto landfills and other.

The most unerring measure to prevent any problem in recycling is material stream consistent design. From today, the following hot spots should be mitigated with priority:

- ▶ aluminium on glass objects,
- ▶ copper on aluminium objects and
- ▶ polymer-substrates, whose gravity is similar to the gravity of the plastics objects.

With regard to glass recycling, there is currently no suitable alternative to microchips made out of silicium, as the alternatives are either prohibitively expensive (e.g. galliumarsenide) or they are immature (e.g. polymer microchips).

The design of RFID tags, and as a consequence the choice of the antenna material and the substrate, are predominantly subject to functional and economic conditions. There are no practical experiences with a substantial mass flow of silver in waste management. So these recommendations can only have preliminary character.

Implementation

The multi-stakeholder-approach, described in the ISO/IEC-Norm TR 24729-2:2007 'Recycling and RFID-Tags' provides a suitable framework for the treatment of potential future problems by the entry of RFID tags into recycling.

In principle, the German ICT and waste management industries are willing to alleviate potential problems by RFID tags in recycling in a co-operative procedure - provided that certain preconditions, such as clear problem definition and limited time and effort, are met. Therefore we face a window of opportunity for concrete action.

Overall, we consider the opportunities - at least for a reduced multi-stakeholder-approach - as excellent. Such a co-operation between waste management industry and manufacturing industry could be exemplary and thus a model for other related subjects.

The trade associations involved in the project see their role mainly in the diffusion of information and the sensitisation of their member companies. There is also disposition to take care for clearly defined tasks, e.g. within a monitoring. However, to date it is unclear who will take the initiative and organise such a dialogue between manufacturers, operators, developers and waste managers.

Against the background of the only potential call for action, the governmental bodies focus on "soft" measures and self regulation of the market actors. As environmental aspects of RFID tags touch also technical, economic and social aspects of technology development we recommend to bundle environmental aspects and to integrate them as far as possible into more general R&D roadmaps.

In funding this project, the German Federal Environmental Agency has undertaken the first valuable step to evaluate the impact of RFID tags on waste management on a regular basis. Subject to further testing and coordination with the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety we recommend to assess the impact of RFID tags on waste management at around 2010 once again in a modified form.