

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ergebnis-Bericht

zu dem über die



im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages geförderten Vorhaben

**Entwicklung einer rationellen Technologie für die Integration und das
Recycling eines neuartigen, im geschlossenen Wäscherei-Kreislauf
eingesetzten RFID-Transponders in und aus Flachwäsche**

Bewilligungszeitraum: 01.10.2011-31.12.2013

Beteiligte Partner:

- Brändl Textil GmbH,
 - Nähtechnik Pfeil GmbH,
 - Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.,
 - IZT Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung Berlin gGmbH
-

Brändl Textil GmbH

Im Innenring 1
09468 Geyer



Teilprojekt KF2917201HG1

Entwicklung und Realisierung von Produktionsprozessen für das Verbinden eines neuartigen RFID-Transponders mit Flachwäsche aus Sicht eines Objekt- und Heimtextilien-Herstellers

Nähtechnik Pfeil GmbH

Neue Str. 2
09241 Mühlau



Teilprojekt KF2917401HG1

Konzeption und Einrichtung von Konstruktionen, Einzelkomponenten und Maschinenanpassungen für das Verbinden/Trennen eines neuartigen RFID-Transponders mit/von Flachwäsche

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.

Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz



Teilprojekt KF2034033HG1

Entwicklung, Anpassung und Evaluierung eines rationellen Verfahrens für die Integration und das Recycling eines im Wäscherei-Kreislauf agierenden Transponders in Flachwäsche

IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung Berlin gGmbH

Schopenhauerstrasse 26
14129 Berlin



Teilprojekt KF2917901HG1

Untersuchung, Anpassung und Bewertung einer rationellen Technologie für das ganzheitliche Recycling eines neuartigen, in Flachwäsche eingesetzten RFID-Transponders

Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit dem Forschungsvorhaben wurde das Ziel erreicht, einen im geschlossenen Wäscherei-Kreislauf eingesetzten RFID-Transponder in Flachwäsche zu integrieren, zu bewerten und wieder herauszulösen. Als technologische Grundlage sind dafür Konzepte, Konstruktionen, Maschinenanpassungen und Verfahrensabfolgen entwickelt, getestet, implementiert und optimiert worden. Von den untersuchten Fügeverfahren wurde das automatisierte Einnähen in den Saum als geeignete Transponderplatzierung favorisiert. Dabei wird der Transponder, von Längstrolche oder Stapel kommend, mit Hilfe eines an herkömmlichen Säumern fixierbaren Zusatzteiles zugeführt und eingebracht. Im Ergebnis bleiben die Resistenzen des Transponders sowie die Lesereichweite, auch nach 100 Wäschen erhalten. Durch diese Integration entsteht die für den Endkunden erforderliche Unsichtbarkeit bei einem Kostenaufwand von ca. 0,03 Euro/ Stück zuzüglich Materialkosten in Abhängigkeit von Saumbreite und Stoff. Das Recycling ist technologisch und markttechnisch verknüpft mit dem Lebenszyklus-Abschluss des Flachwäschestücks, bei dem der RFID-Transponder ohne Mehraufwand in den Wertstoffkreislauf nach Stand der Technik überführt werden kann.

Technische Funktionalitäten und Parameter

Innerhalb des durchgeführten Kooperationsprojektes ist eine rationelle Technologie für die Integration und das Recycling eines wäschereigeigneten RFID-Transponders in und aus Flachwäsche entwickelt worden. Konzepte, Konstruktionen, Maschinenanpassungen und Verfahrensabfolgen wurden dafür als technologische Grundlage entworfen, getestet, implementiert und optimiert. Im Ergebnis wurde von den getesteten Fügeverfahren das automatisierte Einnähen in den Saum als geeignete Transponderplatzierung für gegenwärtig zur Verfügung stehende UHF-Transponder favorisiert. Für neuartige RFID-Transponder wird die Antennengeometrie auf bandförmige Strukturen im Rolle-zu-Rolle Prozess gestickt. Aus Sicht des Objekt- und Heimtextilien-Herstellers sind beide Verfahren unter Berücksichtigung der Saumbreite anwendbar.

Pfeil Nähmaschinen erreichte im Rahmen dieser Entwicklung das Ziel, Konstruktionen, Einzelkomponenten und Maschinenanpassungen sowohl für das Verbinden eines neuartigen RFID-Transponders mit Flachwäsche als auch für dessen Trennen entwickeln und einrichten. In einzelnen Verfahrensbereichen wie Thermisches Fügen, Nähen und Schneiden sowie der Entwicklung eines konstruktiven Gesamtsystems sind Testreihen für die Anbringung bei verschiedenen Flachwäsche-Textilien durchgeführt worden. Eine prototypische Konstruktion für ein am Säumer anzubringendes Zusatzteil wurde im Ergebnis aufgebaut und getestet.

Das STFI kam im Rahmen dieser Entwicklung zum Ergebnis, einen neuartigen, im geschlossenen Wäscherei-Kreislauf einsetzbaren RFID-Transponder in Objekttextilien zu integrieren, zu bewerten und wieder herauszulösen. Vor diesem Hintergrund sind Konzepte und Verfahren entwickelt, konstruiert, getestet und qualifiziert worden. Berücksichtigt wurden Füge- und Veredlungsverfahren des Herstellungsprozesses wie Nähen, Sticken, Kleben, Beschichten, Kaschieren, Schweißen und Kapseln. Aus Sicht des Textil-Recyclings sind außerdem Verfahren für die Separierung des Transponders von der Flachwäsche untersucht worden. Im Ergebnis kann ein gegenüber Nässe, Wasch-Chemikalien, Waschttemperaturen und mechanische Beanspruchung resistenter UHF-Transponder auf Grundlage der entwickelten Technologievorschlüge mit einem vertretbaren Kostenaufwand sowohl auf der Flachwäsche platziert als auch wieder herausgelöst und ohne Mehraufwand in den Wertstoffkreislauf nach Stand der Technik überführt werden.

Brändl Textil erreichte im durchgeführten Kooperationsprojekt das Ziel, den im Wäscherei-Kreislauf eingesetzten RFID-Transponder aus Sicht eines Objekt- und Heimtextilien-Herstellers in Flachwäsche

einzubringen und entsprechende die Prozesse im Produktionsprozess beim Pressen, Sticken, Annähen, Einsäumen sowie Textildrucken anzupassen. Dabei wurden sowohl Fügeverfahren des STFI als auch Untersuchungen zu Konstruktionen des Schneid-, Zuführungs- und Nähsystems von Pfeil Nähmaschinen angewendet und Testreihen bei verschiedenen Flachwäsche-Textilien wie Haushalt-, Wohnambiente-, Wellness- und Fanartikel-Textilien durchgeführt.

Das IZT führte im Rahmen dieser Entwicklung eine begleitende Nachhaltigkeitsanalyse für den technologischen und logistischen RFID-Einsatz in Wäschereien durch. Dabei wurde das Ziel erreicht bereits während der Technologieentwicklung die mittel- und langfristige Zukunftsfähigkeit des RFID Einsatzes in Wäschereien sicherzustellen. Die vom IZT durchgeführte Nachhaltigkeitsanalyse lieferte konkretes Orientierungs- und Umsetzungswissen für die technologische Entwicklung und die konkrete Einsatzplanung von RFID Transpondern für Flachwäsche in Wäschereien

Vor diesem Hintergrund wurden im Einzelnen folgende technische Funktionalitäten und Parameter gemäß Antragstellung angestrebt und mit Projektdurchführung erreicht:

Technisches und wirtschaftliches Zielkriterium war primär die Entwicklung der neuen Fügetechnologie für die rationelle Integration der Transponder in Flachwäsche bei vertretbaren Mehrkosten von maximal 10% der Transponder-Anschaffungskosten oder maximal 0,03 € pro Stück. Dieses Kriterium wurde als technischer Parameter behandelt, da es unmittelbar Auswirkungen auf die Auswahl, Modellierung und Bewertung der technologischen Verfahrensschritte hatte. Im Ergebnis verursacht von den untersuchten Fügeverfahren nur das automatisierte Einnähen in den Saum, als verfahrenstechnisch geeignete Transponderplatzierung, einen Kostenaufwand von ca. 0,03 Euro/ Stück zuzüglich Materialkosten in Abhängigkeit von Saumbreite und Stoff.

Die Auf- bzw. Einbringung der Transponder durfte die Auslesequalität ohne Verluste nach mindestens 100 Waschperioden nicht beeinträchtigen. Im Ergebnis der Testreihen zur automatisierten und halbautomatisierten Transponder-Einbringung auf verschiedener Flach- und Haushaltwäsche bleiben die Resistenzen gegenüber Nässe, Wasch-Chemikalien, Waschttemperaturen und mechanischer Beanspruchung des Transponders sowie die erforderliche Lesereichweite, auch nach 100 Wäschen erhalten.

Mit der Erstellung technischer Daten über Testreihen bei weißer, farbiger und bedruckter Flach- und Haushaltwäsche nach erfolgter Transponder-Integration war deren Verhalten zu bewerten. Durch das Einbringen von Transponder wurde die Funktionstüchtigkeit und Haptik der Haushalt- und Küchentextilien kaum bis wenig beeinflusst. Nach 10 bis 20 Wäschen blieb die Lage der Konstruktionen im Saum unverändert. Ab 50 Wäschen und Mangeln war allerdings ein Durchpausen des Transponders und teilweise einsetzendes Durchstoßen des Baumwoll-Materials nicht zu verhindern. In 20% der präparierten Objekttextilien-Muster veränderte sich die horizontale Position des Transponders geringfügig oder die vertikale Lage in Abhängigkeit des im Saum zur Verfügung stehenden Raumes, obwohl der Transponder in der Regel mit der Saum-Naht fixiert wurde. Da der Transponder aufgrund der anzustrebenden Kundenakzeptanz quasi unsichtbar anzubringen ist, besteht dahingehend noch Optimierungsbedarf.

Im Ergebnis der Untersuchungen zur Transfertechik ist festzuhalten, dass das Aufbringen der Transponder mit dieser Methode aufgrund der einzusetzenden Ressourcen und Technik ein relativ teures Integrationsverfahren ist. Technologisch ist stets eine glatte Fläche erforderlich, da sonst keine ausreichende Haltbarkeit gewährleistet werden kann. Dies stellt eine Anforderung dar, die nicht von allen Flachwäsche-Artikeln erfüllt werden kann.

Humanökologische Prüfungen in Anlehnung an Oeko-Tex® Standard 100 und Oeko-Tex® Standard 201 wurden an Gewebe-Abschnitten mit RFID Chip, verkabelt und einlaminiert, unter besonderer Berücksichtigung der Eigenschaften an der Fügestelle durchgeführt. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass

die mit Transponder bestückte Flachwäsche die Anforderungen des Qualitätsmanagements, der Textilprüfung und den notwendigen Zertifizierungen erfüllt.

Aus den Testergebnissen wurden Bewertungen mit relevanten Parametern bei Material, Fügepartner, Saumeigenschaften, Transpondermaßen und -geometrie, Gebrauchsverhalten und Haptik für die Prozessabläufe des geschlossenen Wäscherei-Kreislaufs wie geplant geschlussfolgert.

Als günstige Transponder-Geometrie aus Sicht der Füge-Verfahren erwies sich ein schmales, langes Rechteck mit gestreckter Antenne, das längst in Richtung Nähkante mit der Naht fixiert wird und dessen Maße über die standardmäßig vorliegende Transponder-Länge zwischen 70 und 140 mm hinausgehen kann bis 280 mm (Länge einer Serviette). Als Minimallänge sind aus zuführungstechnischer Sicht wenigstens 50 mm anzusetzen. Ab 2 mm Stärke sind Transponder für die maschinelle automatisierte Verarbeitung ungeeignet. Breiten von 7 mm und 14 mm stellen Schwellenwerte für eine maschinentechnische Umstellung dar. Saumbreiten von weniger als 20 mm und zum Teil auch weniger als 10 mm werden in Objekttextilien von Hotels, Großwäscher, Altenpflege, Kindertagesstätten, Bundeswehr, Krankenhäuser und häusliche Krankenpflege konfektioniert und erfordern damit zum Teil eine Geometrie, welche die im Projektzeitraum verfügbaren und verwendeten UHF-Transponder noch nicht aufweisen.

Für ein ausgewähltes, geeignetes Fügeverfahren und für ein prädestiniertes Trennungs-/Recyclingverfahren waren Maschineneinstellungen und -erweiterungen zu testen und zu qualifizieren.

Mittels Sticktechnologie wurde anhand von Mustern getestet, dass einerseits die Transponderbreite unter Beibehaltung der gegebenen Antennen-Geometrie verringert werden kann und andererseits die Verwendung alternativer Antennenmaterialien und -anordnungen eine veränderte Geometrie und damit geringere Transponderbreiten zulassen. Die dabei zu verzeichnende Verringerung der Lesereichweiten zwischen 10 und 30 % werden im Prozess des geschlossenen Wäscherei-Kreislaufs in der Regel dadurch abgefangen, dass die Lesegeräte trotzdem noch innerhalb des elektromagnetischen Feldes oder in einer Gate-Formation platziert sind.

Die Zuführung und Vereinzelung von Transpondern sind auf der Stickmaschine realisierbar, eine Rolle-zu-Rolle Verarbeitung im Einzelnen möglich durch eine im Bereich der Nähtechnik konstruierte Zusatz-schnitteinrichtung. An der Stickmaschine erfolgte die Umsetzung durch eine Anpassung zur Aufnahme von Schneidnadeln und Deaktivierung von Fadenscheider und Fadenwächter in der Software.

Die Zuführung von vereinzelt Transponder-Chips (FR4 Platine) gelang mit zwei Verfahren, einerseits durch die Kombination der Knopfannähtechnik mit einer automatisierten Zuführung und andererseits durch die Verwendung von Applikatormaschinen Für die lagegerechte Positionierung der Transponder-Chips nebst Verbindung mit dem textilen Untergrund wurden Versuche mit einer Paillettenmaschine der Firma Nagel und Herrmann durchgeführt. Die Setzleistung des Prozesses lag bei 5.000 Elementen pro Stunde bei manuellem Betrieb bzw. ist bereits automatisiert verfügbar. Dadurch wären bis zu 30.000 Transponder-Chips pro Stunde aufbringbar.

Im Schneidsystem wurden die zueinander beweglichen Komponenten so angepasst, dass die Einstellung einer relativen Positionierung zum zugeführten Transponderband gewährleistet wird. Durch einen umstellbaren Nadelstangenhub kann der Nahtabstand präzisiert und damit flexibel reagiert werden auf verschiedene Materialstärken. Für die Entwicklung des Gesamtsystems wurde das gezielte Verändern des Differentialtransporteurvorschubes in Abhängigkeit einer intervallmäßigen Zuführung über eine Zuführrolle mit längsseits bestückten Transponderbändern getestet. Bei dieser Art der Bereitstellung kommt eine Bandzuführung in Anlehnung an eine Pfaff Bandschweißmaschine zum Einsatz, bei der von oben die Transponder in Längsrichtung von einem Band kalt geschnitten und versetzt eingesäumt

werden. Diese Konstruktion des Nähsystems sieht die Verwendung eines Zusatzteiles (Säumers) vor, das an bereits vorhandene Maschinen wie Kettenstichmaschine oder Doppelsteppstichmaschine befestigt wird.

Eine entsprechende prototypische Konstruktion wurde angefertigt und wie geplant in Betrieb genommen. Da die hierfür hergestellte Transponder-Zuführrolle in Aufbau und Abmessung von zukünftigen, industriell gelieferten Transponderrollen abweichen wird, sind dahingehend weitere konstruktive Anpassungen erforderlich.

Hinsichtlich des Recyclings sollte die Integration der Transponder so erfolgen, dass eine möglichst passgenaue Integration in bestehende Abläufe und Prozesse des Textilrecyclings möglich wird. Dafür waren solche Trennverfahren zu evaluieren und bereitzustellen, die eine Beeinträchtigung der bestehenden Abläufe und Prozesse des Textilrecyclings ausschließen. Die Untersuchung und Anwendung von Recycling-Verfahren zeigte, dass die mit Transpondern ausgerüstete Flachwäsche in den bestehenden Recycling-Prozess der Reißfaser-Aufbereitung (Schneidmaschine, Reißtambour) ohne Mehraufwand integriert werden kann. Die metallischen Anteile des Transponders werden dabei durch mehrstufige Fremdteilseparation und Ausreinigung herausgefiltert, die textilen Anteile in die Verwertungskette der textilen Altprodukte übernommen, zum Beispiel durch anschließendes Mischen, Kardieren und weiteren Vliesherstellungsprozessen.

Hinsichtlich der gestellten ressourcen-ökonomischen Fragen sind folgende technische Funktionalitäten und Parameter herausgefunden worden:

Von welchen Rohstoffmengen ist bei einer massenhaften Anwendung von RFID-Transpondern in Textilien auszugehen?

Bei den ressourcen-ökonomisch relevanten Rohstoffen zur Herstellung von RFID-Transpondern in Textilien ist zwischen dem RFID-Chip, seiner Verkapselung, der Antenne sowie dem textilen Trägersubstrat, auf dem Antenne und Transponder aufgebracht sind, zu unterscheiden. Sowohl bei der Verkapselung auf Basis eines thermoplastischen Massenkunststoffes als auch bei dem textilen Substrat werden Rohstoffe eingesetzt, die Bestandteil großvolumiger und globaler Stoffströme sind. Bei einer angenommenen massenhaften Ausbringung von 1 Mrd. Stück ergibt sich ein zusätzlicher Kunststoffbedarf von 80 Mg was ca. 5 Promille der nationalen PE-Produktionsmenge von 2010 entspricht. Damit ist die durch RFID-Transponder in Textilien induzierte zusätzliche Kunststoffnachfrage als marginal zu bewerten. Die zusätzliche Textilnachfrage liegt, bei derselben Ausbringungsmenge, bei 420 Mg. Dies entspricht ca. 0,6% der nationalen Jahresproduktionsmenge 2012 an Textilien für den technischen und industriellen Bedarf. Damit ist die zusätzliche Textilnachfrage durch die massenhafte Anwendung von RFID-Transpondern in Textilien ebenfalls vernachlässigbar. Das Gewicht des untersuchten Transponderchips HFT 41s beträgt im Mittel ca. 0,1 mg. Die bei einer massenhaften Ausbringung induzierte zusätzliche Nachfrage beläuft sich summarisch auf ca. 100 kg. Für die wesentlichen metallischen Chipinhalte (Kupfer, Silber, Aluminium und Nickel) ergeben sich zusätzliche Nachfragen von 49 kg Kupfer, 30 kg Silber, 21 kg Aluminium und 0,1 kg Nickel. Diese zusätzliche Rohstoffnachfrage durch die Ausbringung von 1 Mrd. RFID-Transpondern beträgt weniger als ein Promille der weltweiten Jahresproduktion der jeweiligen Metalle. Die zusätzliche Nachfrage nach metallischen Rohstoffen zur Herstellung des RFID-Chips ist damit ebenfalls marginal und vernachlässigbar. Hinsichtlich der Antenne beträgt die zusätzliche Rohstoffnachfrage durch die Ausbringung von 1 Mrd. Transponder ca. 120 Mg. Bei einer vollständigen Ausführung der Antenne aus Silber beträgt der Anteil des zusätzlichen Silberbedarfs ca. 0,5 % der globalen Minenproduktion des Jahres 2012. Zusammenfassend kann die durch eine massenhafte Anwendung von RFID-Transpondern in Textilien induzierte zusätzlich nachgefragte Rohstoffmenge als sehr gering angesehen werden. Mit 0,5 % der globalen Minenproduktion besitzt einzig die zusätzliche Silbernachfrage eine vorhandene, wenn auch geringe, ressourcen-ökonomische Relevanz.

Welche Nachfrageeffekte werden dadurch ausgelöst und welcher Einfluss auf die zukünftige Preisentwicklung der Rohstoffe ergibt sich daraus?

Die Nachfrageeffekte sind marginal und liegen für die wesentlichen metallischen Rohstoffe sowie die Kunststoffe im Promille-Bereich der jeweiligen nationalen bzw. globalen Jahresproduktionsmengen. Für das Trägertextil des Transponders beträgt der Nachfrageeffekt 0,6 % der nationalen Produktionsmengen von Textilien für den technischen und industriellen Bedarf. Für Silber als Antennenmaterial beträgt der Nachfrageeffekt 0,5 % der globalen Minenproduktion des Jahres 2012. Hinsichtlich etwaiger Preiseffekte ist für die hier betrachteten Rohstoffe von einem globalisierten Markt auszugehen. Preiseffekte aufgrund der massenhaften Anwendung von RFID-Transpondern in Textilien sind nicht zu erwarten. Insgesamt kann für metallische Rohstoffe von zukünftig durchschnittlich steigenden Preisen bei wachsender Volatilität ausgegangen werden. Allerdings ist der Preis nur bedingt ein aussagekräftiger Indikator für die tatsächliche geologische Verfügbarkeit der Rohstoffe. Vielmehr führen strukturelle, politische und spekulative Effekte ebenfalls zu Rohstoffverknappungen mit steigenden sowie volatilen Preisen. Die durch den RFID-Einsatz im Textilbereich ausgelösten Nachfragesteigerungen besitzen nur marginale Mengenrelevanz, so dass spezifische Preiseffekte weitgehend ausgeschlossen sind. Nicht gänzlich auszuschließen sind Preiseffekte bei Silber, wenn die Antenne gänzlich aus Silber gefertigt würde und von einer weltweiten massenhaften Anwendung von RFID-Transpondern in Textilien ausgegangen wird. Bei einer in den Verkehr gebrachten Transponderzahl von 10 Mrd. erhöht sich die ausgelöste Zusatznachfrage bereits auf 5 % der globalen Minenproduktion. Bei 100 Mrd. Transpondern wären bereits 50 % der 2012 global geförderten Silbermenge in RFID-Transpondern des Textilbereiches gebunden. In diesem Fall ist von beachtlichen preissteigernden Effekten auszugehen. Daraus ergibt sich die Empfehlung, bei der Antennenkonstruktion so weit als möglich auf Silber zu verzichten.

Welche Wertstoffgehalte lassen sich trotz dissipativer Verteilung durch ein Recycling wirtschaftlich zurückgewinnen und zur Erhöhung der Rohstoffverfügbarkeit sowie zur Preisdämpfung nutzen?

Eine separate Entfernung der RFID-Transponder ist aufgrund ihrer nähtechnischen Aufbringung im Saum mit erheblichem Aufwand verbunden und daher wirtschaftlich kaum darstellbar. Daraus ergibt sich, die Transponder gemeinsam mit den anderen nicht-textilen Bestandteilen der Alttextilien zu erfassen. Die so erfassten Transponder können zusammen mit den metallischen Fraktionen der Alttextilien weiterbehandelt werden. Eine spezifische Demontage der Transponder ist wenig erfolgsversprechend. Vielmehr erscheint eine metallurgische Aufbereitung zusammen mit anderen Elektro- und Elektronikschrott zielführend. Diese gemeinsame Aufbereitung ermöglicht dann eine metallurgische Separation der einzelnen Metallfraktionen in denen die metallischen Bestandteile der RFID-Transponder entsprechend einfließen. Einen relevanten Einfluss auf die Verfügbarkeiten der jeweiligen Rohstoffe ist aufgrund fehlender Mengeneffekte jedoch nicht zu erwarten. Dies gilt auch für etwaige preisdämpfende Effekte. Einschränkend ist allerdings die zugrunde gelegte Annahme, dass Alttextilien voll umfänglich einem Textilrecycling zugeführt werden und insbesondere nicht in den Siedlungsabfall eingetragen werden. Die Separierung und Ausschleusung von NE-Metallen aus Siedlungsabfällen erfolgt in der Regel unvollständig. Aufgrund der Miniaturisierung der RFID-Chips kann davon ausgegangen werden, dass die Metallgehalte in diesem Fall nur unvollständig Eingang in die späteren metallurgischen Recyclingprozesse finden. Insgesamt ist zu ergänzen, dass die Einschätzung möglicher Nachfrage- und Preiseffekte im Sinne einer konservativen Schätzung mit Hilfe summarisch-solitärer Annahmen erfolgt. Etwaige innovatorische Diffusionsdynamiken bleiben dabei unberücksichtigt. Eine Berücksichtigung der Marktdurchdringung von RFID-Transpondern über mehrere Jahre, führt je nach angenommener Diffusionsgeschwindigkeit zu einer weiteren Abschwächung der Mengen-, Nachfrage- und Preiseffekte.