

BMU-Umweltinnovationsprogramm

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

**Produktionsanlage für doppelseitige Acrylatklebebänder
mittels innovativer Technologie
Kennzeichen MBE1 - 001595**

Fördernehmer: tesa Werk Hamburg GmbH

Umweltbereich: Klimaschutz

Laufzeit des Vorhabens: 04.09.2008 – 21.12.2011

Autor: Stefan Schmidt

**Gefördert aus Mitteln des Bundesumweltministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung: Mai 2012

Berichts-Kennblatt

KfW-Aktenzeichen: MBE1 - 001595	
Titel des Vorhabens: Produktionsanlage für doppelseitige Acrylatklebebänder mittels innovativer Technologie	
Autoren: Schmidt, Stefan; Albrecht, Tobias; Besikcioglu, Attila; Brietzke, Rainer	Vorhabensbeginn: 04.09.2008
	Vorhabensende: 21.12.2011
Fördernehmer: tesa Werk Hamburg GmbH, Heykenaukamp 10, 21147 Hamburg	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenzahl: 35
Gefördert aus der Klimaschutzinitiative im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
<p><u>Kurzfassung:</u> tesa stellt am Produktionsstandort Hamburg-Hausbruch hochspezialisierte Acrylatklebebänder her. Aufgrund des anhaltenden wirtschaftlichen Erfolgs konnte tesa die Fertigungsmenge in den letzten Jahren kontinuierlich steigern. Dazu wurden am Standort Hamburg-Hausbruch in der Vergangenheit bestehende Anlagen genutzt. Die Auslastung dieser Anlagen hat jedoch zwischenzeitlich einen kritischen Stand erreicht. Daher hat tesa am Standort Hausbruch neue Fertigungskapazitäten mittels eines innovativen Verfahrens zum lösungsmittelfreien Mischen und Beschichten von Acrylat-Klebmassen geschaffen – den ACX-Prozess.</p> <p>Die zur Herstellung von doppelseitigen Hochleistungsklebebändern benötigten Acrylat-Kleber werden durch Polymerisation in organischen Lösungsmitteln gewonnen. Die Polymerisation in organischen Lösungsmitteln ist dabei zur Bereitstellung eines leistungsfähigen Klebers mit ausgewogenem Eigenschaftsprofil zwingend erforderlich. Bislang war es Stand der Technik, das Polymer im nächsten Schritt mit klebrig machenden Harzen in Lösung abzumischen und den so fertig formulierten Kleber in Lösung auf bahnförmige Materialien zu beschichten. Die Lösungsmittel müssen anschließend durch aufwändige, energieintensive Abdunstung in großvolumigen Trocknungsanlagen (Kanal- und Hängetrockner) entzogen werden. Zur Rückgewinnung der anfallenden Lösungsmittelmengen muss die beladene Abluft über nachgeschaltete Reinigungsanlagen behandelt werden. Zusätzlich müssen die bei der Regeneration der Abluftreinigungsanlagen anfallenden Abwässer über Abwasserbehandlungsanlagen aufbereitet werden. Dieser als Lösungsmittelverfahren bekannte Prozess ist durch den durchgängigen Umgang mit Lösungsmitteln geprägt und limitiert.</p> <p>Zur Überwindung dieser Hemmnisse hat tesa das fortschrittliche ACX-Verfahren entwickelt, qualifiziert und in den großtechnischen Maßstab überführt. Im Hinblick auf das Lösungsmittelhandling verkörpert die ACX-Technologie einen deutlich nachhaltigeren und ganzheitlicheren Ansatz. Die Polymerisation findet hierbei ebenfalls in Lösung statt; allerdings mit angepasster Masserezeptur und mit optimierter Lösungsmittelzusammensetzung für einen effizienten Entzug bereits direkt im nachfolgenden Prozessschritt. Dazu wird das lösungsmittelhaltige Basispolymer einem Aufkonzentrationsextruder zugeführt. In diesem Aggregat erfolgt der Lösungsmittelentzug über ein mehrstufiges Vakuumsystem. Die kondensierten Lösungsmittel werden in einem geschlossenen Kreislauf</p>	

wiedergewonnen und können mit hohen Wiedereinsatzraten von bis zu 90 % in den Polymerisationsschritt zurückgeführt werden. Alle nachfolgenden Prozessschritte wie die Abmischung mit klebrig machenden Harzen und die Beschichtung auf die Materialbahn erfolgen dann in lösungsmittelfreier Atmosphäre. Die hierfür benötigten Maschinen und Anlagen, wie beispielsweise die Misch- und Compoundierextruder und die Auftragswerke, wurden speziell auf die Aufgabenstellung der Förderung und Verarbeitung von hochviskosen, lösungsmittelbefreiten Klebstoffsystemen hin ausgelegt. Dazu hat tesa geeignete Lösungen entwickelt und in enger Zusammenarbeit mit ausgewählten Lieferanten abgesichert. Aufgrund der Tatsache, dass die Lösungsmittel bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt noch vor der Abmischung entzogen werden, entfällt die nachgeschaltete Trocknung der Materialbahn vollständig. Daher lassen sich zum Einen bestehende Sortimente mit höheren Bahngeschwindigkeiten und damit effizienter produzieren. Zum Anderen eröffnet die ACX-Technologie die Möglichkeit, eine ganz neue Klasse von Hochleistungs-klebebändern mit sehr hohen Klebmasseaufträgen herzustellen.

Die ACX-Technologie stellt einen produktionsintegrierten Ansatz zur Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungen dar. Das ACX-Verfahren zeichnet sich durch den hocheffizienten Lösungsmittelentzug und den Wegfall der energieaufwändigen Trocknung aus. Im Hinblick auf den umwelt- und klimaschonenden Einsatz von Ressourcen werden die folgenden umweltrelevanten Entlastungen als Ziele angestrebt (im Vergleich zum Lösungsmittelverfahren; bezogen auf eine jährliche Fertigungsmenge von 22 Mio. m²):

- Einsatz organischer Lösungsmittel: ~ 55 % entsprechend 3.400 t/a
- Entsorgung organischer Lösungsmittel: ~ 89 % entsprechend 2.500 t/a
- Energieeinsatz: ~ 50 % entsprechend 8.300 MWh/a
- Emission von CO₂: ~ 35 % entsprechend 2.000 t/a
- Prozesswasserbedarf: ~ 100 % entsprechend 9.000 m³/a

Da die angestrebte Vollausslastung der ACX-Anlage erst in mehreren Jahren erreicht wird, kann z. Zt. nur über die bereits realisierten Produktverlagerungen eine Aussage zur realen Entlastung der Umwelt gemacht werden. So sind heute etwa 3 Mio. m² Fertigprodukt vollständig auf die neue Technologie verlagert. Im Produktionslauf vom 18.04.2012 konnte aufgezeigt werden, dass die gesetzten prozentual Umweltziele erreicht oder sogar unterschritten wurden. Die Absolutwerte in t/a können erst bei Erreichung der geplanten jährlichen Fertigungsmenge von 22 Mio. m² nachgewiesen werden.

Durch Einführung der ACX-Technologie hat tesa den Stand für die beste verfügbare Technologie zur Herstellung acrylat-basierter Hochleistungsklebebänder entscheidend weiterentwickelt. Die Übertragbarkeit auf andere Produktionsstandorte ist gegeben.

Summary:

tesa produces highly-specialized, acrylic-based pressure sensitive adhesive tapes at its production site in Hamburg-Hausbruch. Due to the sustained economic success over the last years, tesa managed to continuously increase the production quantity employing existing coating equipment. In the meantime, the degree of capacity utilization has, however, reached a critical level. Therefore, tesa significantly enlarged its production capacities by means of a cutting-edge technology, namely the solvent-free mixing and coating of acrylic-based adhesives – the so-called ACX-technology.

Acrylic adhesives applied in the production of high-performance tapes have to be polymerized in organic solvents to meet the high requirements in terms of balanced cohesion and adhesion as well as superior temperature and long-term resistance. Up to date, it used to be state of the art to subsequently mix the polymer with tackifying resins and other agents and coat the finished formulation on the respective liner and backing materials. Both steps, the mixing and the coating, were exclusively conducted in solution so far. Consequently, the organic solvents had to be withdrawn from the web in a downstream drying step using large-volume, energy expensive drying equipment, e.g. channel and festoon dryers. Furthermore, the cleaning of the solvent-loaded exhaust air necessitates two additional treatment steps: the air purification in adsorption plants and the treatment of waste waters originating from the regeneration of the adsorption beds. This process – known as the solvent process - is subject to complex solvent handling throughout each single step, which puts restrictions onto the process both with respect to efficiency and to economic and ecological aspects.

In order to overcome these constraints, tesa developed, qualified, and established the sophisticated ACX-technology on an industrial scale. Compared to the conventional solvent process, the ACX-technology follows a more sustainable and comprehensive approach. Following the initial polymerization step, which is accomplished by the use of specifically adapted solvents, the solvent-born polymer is directly processed to a devolatilization unit. In this extrusion unit, the organic solvents are continuously removed from the polymer matrix by means of a multi-step vacuum system. The organic solvents are recovered in a closed-loop system and can be reutilized by the polymerization plant to a very high degree of up to 90 %. All downstream operations, including the mixing with tackifying resins and other agents as well as the coating, are taking place in a completely solvent-free environment. The machinery and equipment, e.g. the mixing and compounding extruder and the calander-like coating head, are specifically designed for processing highly viscous, solvent free adhesive formulations. To achieve this aim, tesa developed suitable solutions and assured the proper functionality of the equipment in close collaboration with first-class machine suppliers. Due to the fact, that the solvents are already being withdrawn at a very early stage of the process prior to the mixing, subsequent drying does not apply to the ACX-technology. On the one hand, existing assortments can be produced at higher web speed and, thus, more efficiently compared to the solvent process. On the other hand, the ACX-technology provides the opportunity of producing a completely new class of high-performance tapes with very high coating weights.

The ACX-technology incorporates an integrated approach in the prevention and reduction of organic solvents, water, energy uptake, and emission of carbon dioxide. Compared to the conventional solvent process, the ACX-technology is characterized by being more environmentally benign due to the highly efficient solvent recovery and the omission of energy expensive drying. Based on the planned annual production quantity of 22 Mio. sqm the following reductions are envisaged (compared to the solvent process):

- Usage of organic solvents: ~ 55 % amounting to 3.400 t/y
- Disposal of organic solvents: ~ 89 % amounting to 2.500 t/y
- Energy uptake: ~ 50 % amounting to 8.300 MWh/y
- Emission of carbon dioxide: ~ 35 % amounting to 2.000 t/y
- Usage of process water: ~ 100 % amounting to 9.000 m³/y

As the aspired full use of capacity will only be achieved in a few years time it is only possible to show real environmental benefits for the already shifted products. Up to now about 3 Mio. Sqm were completely shifted to the new technology. With the production run from 18th April 2012 it could be shown that the fixed percental environmental aims have been reached or even have been underrun. The absolute values in t/a can only be verified after reaching planned annual production quantity of 22 Mio. Sqm.

By establishing the ACX-technology, tesa managed to push forward the state of the art in producing acrylic-based pressure sensitive adhesives. The technology can also be transferred to other production sites.

Schlagwörter: Doppelseitige Haftklebeänder, Acrylat-Extrusion, Lösungsmittelrückgewinnung, produktionsintegrierter Umweltschutz, Emissionsvermeidung, Klimaschutz

Anzahl der gelieferten Berichte
 Papierform:
 Elektronischer Datenträger

Sonstige Medien:
 Veröffentlichung im Internet geplant auf
 der Homepage: [www.](http://www.tesa.com)

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	1
1.2	Ausgangssituation	2
2.	Vorhabensumsetzung.....	9
2.1	Ziel des Vorhabens.....	9
2.2	Darstellung der technischen Lösung	10
2.3	Darstellung der Umsetzung des Vorhabens.....	16
2.4	Behördliche Anforderungen	17
2.5	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	18
3.	Ergebnisse.....	19
3.1	Stoff- und Energiebilanz.....	19
3.2	CO ₂ -Bilanz.....	25
3.3	Wirtschaftlichkeitsanalyse	27
3.4	Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	27
4.	Empfehlungen.....	30
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	30
4.2	Modellcharakter.....	31
4.3	Zusammenfassung	32
5.	Literatur.....	34

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die tesa SE:

tesa ist seit 2001 eine eigenständige Aktiengesellschaft. Als global aufgestelltes Unternehmen erzielte tesa im Jahr 2010 einen Gesamtumsatz von 882 Millionen Euro. Dabei entfielen mehr als 70 % des Umsatzes auf das internationale Geschäft. Derzeit 3.600 Mitarbeiter in über 50 Ländern – davon 1.700 Mitarbeiter in Deutschland - unterstützen die weltweite Präsenz auf allen wichtigen Absatzmärkten und tragen durch ihre Arbeit den Unternehmenserfolg.

tesa produziert an sieben Standorten selbstklebende Produkt- und Systemlösungen für Industrie, Gewerbe und Endverbraucher. Mehr als drei Viertel des Umsatzes mit den mehr als 6500 von tesa entwickelten und hergestellten Produkten entfallen auf das Industriegeschäft. Etwa ein Viertel des Umsatzes wird durch Produktlösungen für den Endverbraucher erzielt. Im Industriegeschäft bietet tesa ein breites Spektrum von maßgeschneiderten Problemlösungen, beginnend von Spezialklebebändern für die Papier- und Druckindustrie, über Spezialprodukte für die Automobil- und Möbelbranche bis hin zu Stanzlingen für den Elektronikbereich. Im Endverbrauchergeschäft bietet tesa heute über den bewährten, transparenten Tesafilm hinaus eine breite Palette mit rund 300 verschiedenen Produkten für seine Konsumenten. Zu diesen zählen beispielsweise die tesa Powerstrips ebenso wie vielfältige, auf die Anwendung maßgeschneiderte Pack- und Abdeckbänder sowie die tesa Fliegenschutzgitter und das praktische Fotosortiment.

tesa verfolgt die Zielstellung, Ökologie und Ökonomie in Einklang zu bringen, und setzt sich dazu anspruchsvolle Ziele. Diese werden im Rahmen eines fortschrittlichen Umweltmanagementsystems festgelegt und fortlaufend überprüft. Für das Umweltprogramm 2007 – 2012 wurden die folgenden Ziele formuliert:

	Ziele 2007 – 2012	Ist 2007 - 2011
VOC-Emissionen*:	- 50 %	- 49 %
Lösungsmitelesinsatz*:	- 15 %	- 12 %
Energieeinsatz*:	- 10 %	- 10 %
Abfall**:	- 5 %	- 2 %
CO ₂ Europa*:	- 10 %	- 6 %

* bezogen auf Produktionsmenge in m² | ** bezogen auf Produktionsmenge in t

Als Vergleichsgröße dient die Produktionsmenge aus dem Jahr 2006.

Der Produktionsstandort Hamburg-Hausbruch:

Die tesa Werk Hamburg GmbH in Hamburg-Hausbruch wurde als Standort für die neue Produktionsanlage nach dem ACX-Verfahren ausgewählt. tesa stellt am Standort Hamburg-Hausbruch spezialisierte, qualitativ hochwertige Klebebandlösungen für industrielle Anwendungen her. Zu diesen zählen das EasySplice-Sortiment für die Papier- und Folienindustrie, die Softprint-Produkte für den Flexodruck und die hitzeaktivierbaren Klebstoffsysteme (HAF) für die Elektronikindustrie. Den Schwerpunkt der Geschäftstätigkeit bilden doppelseitige Hochleistungsklebebänder auf Acrylat-Basis. Diese kommen in unterschiedlichsten Branchen wie der Elektronik-, Möbel-, Automobil- und Hausgeräteindustrie für stark beanspruchte, dauerhafte Befestigungsaufgaben zur Anwendung.

1.2 Ausgangssituation

Wissenschaftlicher und technischer Stand:

Haftklebebänder kommen heute in vielfältigen Anwendungen sowohl im industriellen Bereich als auch beim Endverbraucher zum Einsatz. Die Kleberschicht weist üblicherweise eine Schichtdicke zwischen 15 und 150 µm auf. Die Art, Zusammensetzung und Schichtdicke des Klebers bestimmen im Zusammenspiel mit der Wahl des Trägermaterials die kleb- und anwendungstechnischen Eigenschaften des Klebebandes. Definitionsgemäß besitzen Haftklebebänder die Eigenschaft der Selbstklebrigkeit, das bedeutet, sie entfalten ihre Sofortklebkraft – den Tack – unter leichtem Andruck [1-9].

Dabei dominieren im unteren und mittleren Leistungsspektrum Klebebandsysteme auf Natur- und Synthetikautschukbasis. Beispiele hierfür sind einfache Verpackungs- und Abdeckbänder sowie doppelseitige Klebebänder mit geringen bis mittleren Anforderungen an die Performance. In diesem Bereich hat in den vergangenen Jahren eine weitestgehende Substitution lösungsmittelbasierter Klebstoffe durch lösungsmittelfreie Systeme stattgefunden [10]. tesa hat maßgeblichen Anteil an dieser Entwicklung, indem es am Produktionsstandort

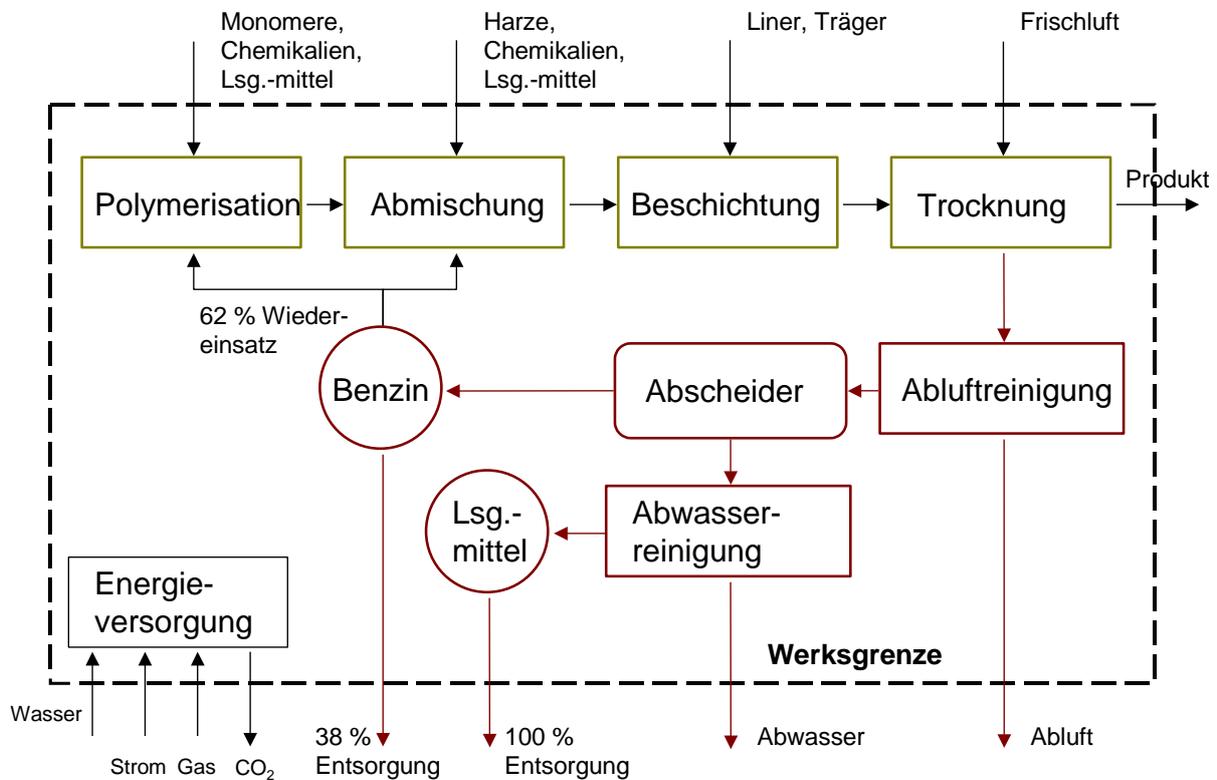
Offenburg ein vollständig lösungsmittelfreies Extrusionsverfahren für Naturkautschuke großtechnisch etabliert hat. tesa hat durch diese Innovation den Stand der Technik für die Herstellung von Naturkautschuk-Klebebändern entscheidend weiterentwickelt und für dieses Segment einen neuen Standard für die beste verfügbare Technik gesetzt. Dieses Vorhaben wurde seinerzeit aufgrund des Beitrags zum produktionsintegrierten Umweltschutz aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert [11].

Im Gegensatz dazu ließen sich doppelseitige Haftklebeblätter des oberen Leistungsspektrums bislang nicht mit lösungsmittelfreien Verfahren abmischen und beschichten. Hierbei handelt es sich ausnahmslos um Hochleistungs-Acrylatklebeblätter, an die höchste Anforderungen hinsichtlich Funktionalität, Qualität und Beständigkeit gestellt werden. Zur Herstellung solcher High-Performance-Produkte ist der Einsatz lösungsmittelbasierter Acrylat-Klebstoffe bis heute ohne Alternative. Die Polymerisation in organischen Lösungsmitteln ist zur Bereitstellung eines leistungsfähigen Acrylat-Klebers mit ausgewogenem Eigenschaftsprofil zwingend erforderlich. Zwar gibt es auch auf dem Gebiet der Acrylat-Klebstoffe neuere Entwicklungen und Verfahren zur Vermeidung organischer Lösungsmittel. Zu diesen zählen wasserbasierte Dispersionsklebstoffe und UV-vernetzbare, lösungsmittelfreie Systeme. Diese weisen aber wegen der grundsätzlich anderen molekularen Zusammensetzung und Polymerbasis ein grundlegend anderes Eigenschaftsprofil als die lösungsmittelbasierten Systeme auf. Diese Verfahren kommen daher eher für Spezialanwendungen, nicht aber für das breit gefächerte Einsatzspektrum von Hochleistungsklebeblättern in Betracht [12-15]. Zur Darstellung dieser Leistungsklasse werden lösungsmittelbasierte Systeme mit ihrer ausgewogenen, überlegenen Kohäsion und Adhäsion sowie ihrer hohen Alterungs-, Temperatur- und Witterungsbeständigkeit benötigt.

Herstellprozess nach dem Lösungsverfahren:

Es ist daher Stand der Technik, Hochleistungs-Acrylatklebstoffe in organischen Lösungsmitteln zu polymerisieren und anschließend in Lösung mit klebrig machenden Harzen und weiteren Zuschlagsstoffen abzumischen. Der Acrylat-Kleber wird dann in Lösung auf bahnförmige Trägermaterialien beschichtet. Die Lösungsmittel müssen anschließend über Trocknungsanlagen (Hängen, Kanäle) abgedunstet und in nachgeschalteten Verfahrensschritten aufwändig zurückgewonnen werden. Dieses Verfahren zur Herstellung leistungsfähiger Acrylat-Klebeblätter wird als Lösungsverfahren bezeichnet und im Folgenden eingehend beschrieben.

Bislang wurden Haftklebebänder auf Acrylatbasis am Standort Hamburg-Hausbruch nach dem folgenden Prozessschema gefertigt.



Vereinfachtes Blockfließbild des konventionellen Lösungsmittelverfahrens einschließlich der Anlagen zur Lösungsmittelaufbereitung und Wiedergewinnung; die Angaben zu Entsorgung – und Wiedereinsatz an Benzin spiegeln den Werksdurchschnitt über alle Anlagen wider

Der Prozess zur Fertigung der Klebebänder besteht aus vier Verfahrensschritten: Der Polymerisation, der Abmischung, der Beschichtung und der abschließenden Trocknung. Bedingt durch die Einschränkung, dass der Lösungsmittelentzug erst im abschließenden Trocknungsschritt erfolgen kann, werden bei der Herstellung nach dem Lösungsmittelverfahren zwei weitere Prozessschritte zur Behandlung der anfallenden Lösungsmittel erforderlich: die Abluftreinigung und die Abwasserreinigung.

Verfahrensschritte:

1. **Polymerisation:** Die Herstellung des Grundpolymers erfolgt durch batchweise Polymerisation in großen Rührkesselreaktoren. Dazu werden die Monomere in organischen Lösungsmitteln (etwa 2/3 Benzin und 1/3 wasserlösliche Lösungsmittel, wie z. B. Aceton oder Isopropanol) zur Reaktion gebracht. Die Zugabe der organischen Lösungsmittel ist zur Einstellung des gewünschten Eigenschaftsprofils des Acrylat-Klebers zwingend erforderlich.
2. **Abmischung:** Das gelöste Grundpolymer wird anschließend in Mischbehälter gepumpt und dort mit klebrig machenden Harzen und weiteren Zuschlagsstoffen in Lösung gemischt. Der so fertig formulierte Kleber wird in Lagertanks verpumpt beziehungsweise in Container abgefüllt und an den Anlagen bereitgestellt.
3. **Beschichtung:** Im Beschichtungsprozess wird der gelöste Acrylat-Kleber auf bahnförmige Trägermaterialien mit definierter Schichtdicke aufgebracht. Dabei kommt zur Herstellung doppelseitiger Haftklebebänder typischerweise ein zweistufiges Verfahren zur Anwendung. In einem ersten Arbeitsgang wird der Kleber auf einen sogenannten Trennträger, den Kundenliner, beschichtet. Bei diesem handelt es sich üblicherweise um Papiere oder Folienmaterialien. Nach dem Lösungsmittelentzug wird der eigentliche Träger (Vlies, Folie) auf die ausgetrocknete Klebmasse laminiert und der nichtklebende Verbund als Zwischenprodukt aufgewickelt. Dieses Zwischenprodukt wird in einem zweiten Arbeitsgang abgewickelt und der Acrylat-Kleber wird auf den Träger beschichtet. Zur Beschichtung des Acrylat-Klebers in Lösung kommen Auftragswerke nach Stand der Technik, wie beispielsweise Rakelsysteme, zum Einsatz. Diese Systeme unterliegen Einschränkungen im Hinblick auf die maximale Viskosität und damit Streichfähigkeit des zu verarbeitenden Klebers, sodass die organischen Lösungsmittel erst nach dem Beschichtungsprozess entzogen werden können.
4. **Trocknung:** Der Lösungsmittelentzug von der beschichteten Materialbahn erfolgt im nachgeschalteten Trocknungsschritt in großvolumigen Kanal- oder Hängetrocknungsanlagen unter thermischer Einwirkung und Zufuhr großer Luftmengen. Dabei sind der Klebmasseauftrag beziehungsweise die zu entziehende Lösungsmittelmenge maßgeblich für die Wahl der geeigneten Trocknungstechnik. Für geringere Klebmasseaufträge werden typischerweise Kanaltrockner mit gerader Führung der Materialbahn bevorzugt. Für höhere Klebmasseaufträge ist diese Technologie aufgrund der unzureichend kurzen Verweilzeiten zum Lösungsmittelentzug nicht anwendbar. Hier kommen bei tesa Hängetrocknungsanlagen, in denen die Materialbahn schlaufenförmig über umlaufende Stäbe gehängt wird, zum Einsatz. Auf diese Weise lassen sich die

Lösungsmittel auch bei deutlich höheren Klebmasseaufträgen vollständig und produktschonend entziehen. Während der Trocknung läuft auch die thermisch-chemische Vernetzung des Klebers zum endgültigen Eigenschaftsprofil ab.

Die getrockneten Fertigproduktbahnen werden anschließend zu Ballen gewickelt und in der Konfektionierung zu Stangen- oder Rollenware weiterverarbeitet und abgeliefert.

Die entzogenen Lösemittel werden mit der Abluft einer Abgasreinigungsanlage zugeführt.

Weiterführende Informationen zu den Herstellverfahren, einschließlich eingehender Beschreibungen der verwendeten Beschichtungssysteme und Anlagenkonfigurationen, finden sich in den einschlägigen Werken von Satas und Shepard [16,17].

Nachgeschaltete Lösungsmittelbehandlung:

5. **Abgasreinigungsanlage:** Die in der Abluft enthaltenen Lösungsmittel werden an Aktivkohle adsorbiert. Zur Regenerierung werden die Adsorberbetten mit Dampf beaufschlagt und das entstandene zwei-phasige System aus wässriger Phase und Benzolphase wird in einem Abscheider getrennt. Das Benzol wird heute im Werksdurchschnitt zu etwa 62 % in den Produktionsprozess zurückgeführt. Die verbleibenden 38 % werden als Abfallstrom zur Entsorgung aus dem Prozess ausgeschleust. Es findet eine externe Aufarbeitung mit anschließender stofflicher Nutzung statt.
6. **Abwasserreinigung:** Die wässrigen Phasen der Abgasreinigungsanlagen werden der zentralen Abwasserreinigung am Standort zugeführt und in einer Kolonne in einen gereinigten Abwasserstrom und einen Lösungsmittelstrom getrennt. Der gereinigte Abwasserstrom wird in das Siedewasser geleitet. Der als Kopfprodukt anfallende Lösungsmittelstrom wird vollständig zur Entsorgung ausgeschleust. Das Kopfprodukt wird extern aufgearbeitet und der stofflichen Nutzung zugeführt.

Grenzen des Lösungsmittelverfahrens:

Der gesamte Lösungsmittelprozess ist von der Polymerisation bis zur Trocknung durch den Umgang mit brennbaren und explosionsfähigen organischen Lösungsmitteln geprägt. Zwar können durch die Abgas- und Abwasserreinigungsanlagen etwa 99 % der im Trocknungsprozess freigesetzten Lösungsmittel erfasst und zurückgewonnen werden. Der Wiedereinsatz unterliegt jedoch prozessbedingten Einschränkungen.

Die am Standort Hamburg-Hausbruch nach dem konventionellen Lösungsmittelprozess betriebenen Produktions- und Reinigungsanlagen entsprechen dem Stand der Technik der Branche und erfüllen sämtliche emissionsrechtlichen Auflagen hinsichtlich Art, Umfang und Zusammensetzung der vorhandenen Umweltbelastungen. Dennoch stellt die Trocknungs- und Wiedergewinnungstechnik wegen des durchgängigen Umgangs mit Lösungsmitteln hohe Anforderungen an sicherheitstechnische Maßnahmen sowie Maßnahmen zum Gesundheitsschutz der Mitarbeiter und Maßnahmen zum Umweltschutz. Die Errichtung einer solchen Anlage nach Stand der Technik erfordert hohe Investitions- und Betriebskosten zur Lösungsmittelrückgewinnung, andererseits ist die Wiederverwertungsrate der zurückgewonnenen Lösungsmittel von durchschnittlich 62 % nicht besonders hoch.

Im Hinblick auf einen schonenden Umgang mit Ressourcen ist die Schaffung von Fertigungskapazitäten nach dem konventionellen Lösungsmittelprozess unter den folgenden Gesichtspunkten nicht mehr optimal:

- hoher Einsatz und geringe Wiederverwertungsrate an Lösungsmitteln
- hoher Energiebedarf in Form von Dampf zur Trocknung und anschließenden Abluft/Abwasserbehandlung
- damit verbunden erhöhte CO₂-Emissionen durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Erdgas) in Dampferzeugern
- hoher Prozesswasserbedarf

Durch die Abmischung und die nachfolgende Beschichtung mit lösemittelhaltigen Acrylat-Klebern in Lösung ergeben sich zusätzliche Einschränkungen hinsichtlich Produktivität und Innovationsmöglichkeiten. So sind die maximale Produktionsgeschwindigkeit und der maximale Klebmasseauauftrag limitiert. Bei speziellen Hochleistungsklebebändern, die zum Beispiel bei der Handyverklebung zur Anwendung kommen, werden strenge Anforderungen an die optische Beschichtungsqualität gestellt, die einen schonenden Lösungsmittelentzug erfordert

und damit eine reduzierte Produktionsgeschwindigkeit. Höhere Klebmasseaufräge, wie sie für die Herstellung noch leistungsfähigerer Klebebänder erforderlich sind, können aufgrund der begrenzten Trocknungskapazität und der Trocknungskinetik mit der Beschichtung in Lösungsmittel nicht realisiert werden. Darüber hinaus ergeben sich zunehmend Potentiale im Markt durch die gezielte Modifizierung des Acrylat-Klebers mit festen Zuschlagsstoffen. Die Zugabe und homogene Verarbeitung solcher Stoffe sind mit dem konventionellen Lösungsmittelverfahren jedoch heute nicht oder nur in sehr begrenztem Umfang möglich.

tesa hat die vorhandenen Anlagen nach dem Lösungsmittelprozess in der Vergangenheit ständig weiterentwickelt, modernisiert und mit Hinblick auf die stetig steigenden Anforderungen aus Produktqualität, Performance und Umweltschutz durch entsprechende Nachrüstungen angepasst. Diese Entwicklung ist mittlerweile sehr fortgeschritten. Die verbleibenden Potentiale sind überschaubar und – in Anbetracht der prinzipiellen Beschränkungen des Verfahrens - begrenzt.

tesa hat deshalb eine neue innovative Technologie und ein entsprechendes Verfahren zum lösungsmittelfreien Mischen und Beschichten von Acrylat-Klebebändern in 15-jähriger Arbeit entwickelt – die ACX-Technologie. Diese Extrusionstechnologie ermöglicht eine deutlich umweltverträglichere Herstellung der Klebebänder.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

tesa hat in die ACX-Technologie investiert und am Standort Hamburg-Hausbruch eine großtechnische Produktionsanlage errichtet, um die Fertigungskapazitäten für die Herstellung von Hochleistungs-Acrylatklebebändern zu erweitern. Dabei war für die Auswahl der ACX-Technologie die Erfüllung der folgenden Zielvorgaben maßgeblich:

- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit bei der Fertigung bestehender Produkte
- Technologische Eignung für zukunftsweisende Produktinnovationen
- Minimierung des Einsatz von Lösungsmitteln und Prozesswasser
- Minimierung des Energieeinsatzes und der Emissionen von CO₂
- Ausreichende Kapazitätserhöhung zur Abschaltung von Altanlagen

Diese Ziele wären in ihrer Gesamtheit durch die neuerliche Schaffung von Kapazitäten nach dem Lösungsmittelverfahren nicht realisierbar gewesen.

Im Hinblick auf den umwelt- und klimaschonenden Einsatz von Ressourcen werden die folgenden umweltrelevanten Entlastungen als Ziele angestrebt (im Vergleich zum Lösungsmittelverfahren; bezogen auf eine Fertigungsmenge von 22 Mio. m²):

- Einsatz organischer Lösungsmittel: ~ 55 % entsprechend 3.400 t/a
- Entsorgung organischer Lösungsmittel: ~ 89 % entsprechend 2.500 t/a
- Energieeinsatz: ~ 50 % entsprechend 8.300 MWh/a
- Emission von CO₂: ~ 35 % entsprechend 2.000 t/a
- Prozesswasserbedarf: ~ 100 % entsprechend 9.000 m³/a

Es ist das erklärte Ziel der tesa SE, den Prozess der Lösungsmitteltechnologie überall dort zu ersetzen, wo dies technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar ist. Der Technologiewechsel auf das ACX-Verfahren ist die logische und konsequente Umsetzung dieser Strategie.

Die Ziele der Umsetzung des Fördervorhabens waren:

- Planung und Aufbau der Produktionsanlage
- Inbetriebnahme und Produktumstellung, Nachweis über Eignung zur großtechnischen Fertigung von doppelseitigen Acrylat-Klebebändern
- Bewertung des Verfahrens hinsichtlich der oben genannten umweltbezogenen Zielstellungen im Vergleich zu dem herkömmlichen Verfahren

2.2 Darstellung der technischen Lösung

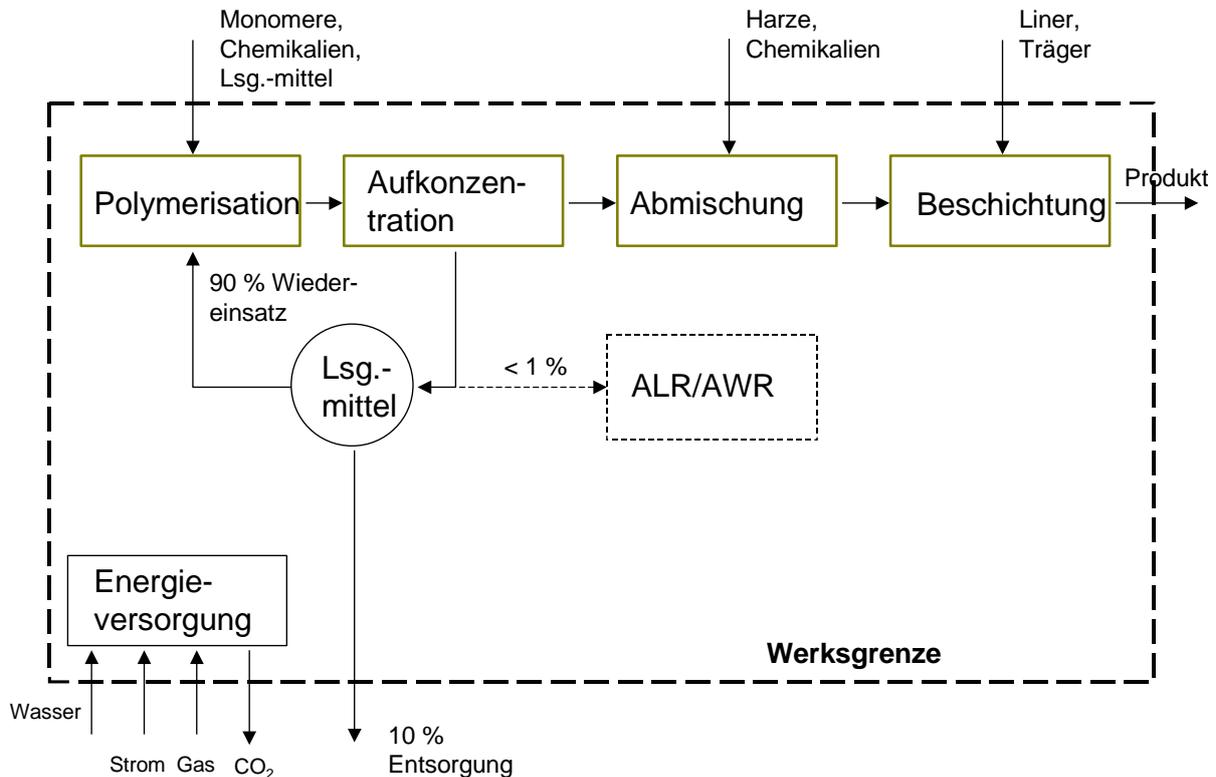
Die Investition in die innovative ACX-Technologie bietet eine Reihe von entscheidenden Vorteilen. Zu diesen zählen die weitestgehend lösungsmittelfreie Gestaltung des Gesamtprozesses und der deutlich reduzierte Umgang mit brennbaren und explosionsfähigen Gefahrstoffen. Darüber hinaus können bestehende Produktgruppen mit wesentlich höherer Produktivität gefertigt und neue Marktfelder durch Herstellung innovativer Produkte erschlossen werden.

Der Schlüssel zum Erfolg liegt hierbei in dem Entzug und der Inline-Rückführung der Lösungsmittel bereits im Anschluss an den Polymerisationsschritt. Die nachfolgenden Misch- und Beschichtungsprozesse sind komplett lösungsmittelfrei. Der Entzug der Lösungsmittel wird dabei durch einen Aufkonzentrationsprozess ermöglicht. Beim ACX-Verfahren werden die Lösungsmittel direkt im Anschluss an den Polymerisationsschritt in einem Aufkonzentrationsextruder entzogen und im geschlossenen Kreislauf in den Polymerisationsschritt zurückgeführt. Das Polymer liegt ab dem Austritt des Extruders als hochviskoses, lösungsmittelbefreites 100 %-System vor und wird über alle Folgeprozesse kontinuierlich gefördert und verarbeitet.

Im Hinblick auf den Umweltschutz bedeutet die Inline-Lösungsmittel-Rückführung im geschlossenen Kreislauf einen erheblichen Fortschritt gegenüber der konventionellen end-of-pipe Trocknungstechnik in Hänge- und Kanalanlagen mit anschließenden Abluft- und Abwasserreinigungsverfahren.

Die Lösung zur Verringerung der Umweltbelastungen liegt in der neuartigen Kombination von innovativen Verfahrensschritten über die gesamte Prozesskette, beginnend von der Polymerisation bis hin zur Aufwicklung des fertig beschichteten Klebebands. Der Technologiewechsel vom Lösungsmittelverfahren auf den neuen ACX-

Prozess ermöglicht den Inline-Entzug und die Inline-Rückführung der Lösungsmittel im geschlossenen Kreislauf. Damit entfällt die Notwendigkeit der Energiezufuhr und der Lösungsmittelhandhabung in nachgeschalteten Trocknungs- und Aufbereitungsschritten. Der ACX-Prozess ist in dem folgenden Blockfließbild dargestellt.



Vereinfachtes Blockfließbild des innovativen ACX-Verfahrens einschließlich der Lösungsmittelrückführung im geschlossenen Kreislauf

Wie im Fall des Lösungsmittelprozesses beruht die ACX-Technologie auf den Schritten Polymerisation, Lösungsmittelentzug (Aufkonzentration), Abmischung und Beschichtung, jedoch in geänderter Abfolge und durch Kombination von neuartigen Verfahren. Die Investition in die ACX-Technologie umfasste daher neben der Errichtung eines neuen Gebäudes auch die Beschaffung sämtlicher Anlagenteile bis zur Aufwicklung der fertigen Ballenware, mit Ausnahme der Polymerisationsbehälter.

1. **Polymerisation:** In Analogie zum Lösungsmittelprozess erfolgt die Herstellung des aus Acrylaten bestehenden Grundpolymers in Lösung. Hierfür können die bereits bestehenden diskontinuierlichen Reaktorbehälter genutzt werden. Im Gegensatz zum Lösungsmittelprozess kommen hierbei aber ausschließlich wasserlösliche Lösungsmittel wie z. B. Aceton und Isopropanol zum Einsatz. Der Verzicht auf die Benzine ist das Resultat langjähriger Forschungsarbeiten zur

Optimierung der Masserezepturen und der Reaktionsführung. Der Ersatz der Benzine ist ein wesentlicher Baustein zur Vereinfachung des Gesamtprozesses, insbesondere zum nachfolgenden Inline-Lösungsmittelentzug ohne weitere Aufbereitungsschritte.

Das Grundpolymer wird nach Abschluss der Reaktion in ein neu errichtetes Tanklager gepumpt. Die Errichtung eines neuen Tanklagers als funktionalem Bestandteil der Gesamtanlage ergab sich aus der chemisch begründeten Notwendigkeit, die nach dem ACX-Verfahren polymerisierten Klebmassen von den herkömmlichen Lösungsmittelmassen stofflich zu trennen. Die Bereitstellung dieser zusätzlichen Lagerkapazitäten war damit Voraussetzung für die Durchführung des Verfahrens im kontinuierlichen, großtechnischen Maßstab.

2. **Lösungsmittelentzug:** Hinsichtlich des Lösungsmittelentzugs ergeben sich gravierende Unterschiede im Vergleich zum konventionellen Lösungsmittelprozess. Der innovative Charakter des Vorhabens ist wesentlich durch den Aspekt der Inline-Rückführung der organischen Lösungsmittel im Anschluss an den Polymerisationsprozess geprägt. Hierzu wird das gelöste Grundpolymer über einen speziell ausgeführten Wärmeüberträger geleitet, auf Temperatur gebracht und einem Aufkonzentrationsextruder zugeführt. In diesem Aggregat werden die Lösungsmittel über eine Vakuumentgasung mit anschließender Kondensation kontinuierlich entzogen. Das Grundpolymer liegt dann als lösungsmittelbefreites 100 %-System vor.

Die Lösungsmittel werden in einem geschlossenen System gefasst und in einen Zwischenbehälter geleitet. Das recycelte Lösungsmittel wird in diesem Behälter mittels einer Inline-Prozessmesstechnik auf die Zusammensetzung hin analysiert und mit etwa 10 % frischem Lösungsmittel versetzt. Anschließend wird das so eingestellte Lösungsmittel in Erdlagertanks verpumpt und bedarfsgerecht von der Polymerisationsanlage abgefordert. Dieses Erdtanklager ist zur Entkopplung der diskontinuierlich betriebenen Polymerisation und des kontinuierlich anfallenden Recyclingstroms aus der Aufkonzentration erforderlich. Es wurde im Rahmen des Vorhabens als prozessbedingt benötigte Nebenanlage neu errichtet.

Die Inline-Rückführung zeichnet sich durch die hohe Wiederverwertungsrate des Lösungsmittels aus. Das zurückgewonnene Lösungsmittel kann zu 90 % im Polymerisationsprozess wieder eingesetzt werden. Lediglich 10 % des Lösungsmittels werden aus dem Produktionsprozess ausgeschleust und müssen mit einer entsprechenden Menge an frischem Lösungsmittel ergänzt werden.

Der innovative Ansatz des kontinuierlichen Lösungsmittelentzugs mittels Extrusionstechnologie in Kopplung mit einem Vakuum/Kondensationssystem wurde sowohl durch umfassende Grundlagenversuche im tesa-eigenen Technologiezentrum als auch durch Scale-up und Auslegungsversuche bei Lieferanten bis zur Produktionsreife geführt. In enger Zusammenarbeit mit den Lieferanten wurden abgesicherte Lösungen für diese vollständig neuen Aufgabenstellungen entwickelt.

3. **Abmischung:** Der gesamte Prozess ist vom Austritt des Aufkonzentrationsextruders an lösungsmittelfrei. Das Grundpolymer verlässt den Aufkonzentrationsextruder in aufgeschmolzenem Zustand und wird über eine Zahnradpumpe in den Mischprozess gefördert. Der Mischprozess läuft in einem weiteren Extruder, dem Misch- und Compoundierextruder, ab. Hier werden die Harze als Schmelze sowie weitere Substanzen als Trockenstoff inline zudosiert und mit dem Grundpolymer in dem Compoundieraggregat gemischt. Dieser Prozess verläuft vollkontinuierlich, das heißt, die in einem vorgeschalteten Aufschmelzextruder aufgeschmolzenen Harze sowie weitere Zuschlagsstoffe werden wie das Polymer kontinuierlich in den Compounder gefördert.

Dazu werden die benötigten Rohstoffe über ein vollautomatisiertes Handlingssystem an die entsprechenden Dosierpunkte der Extruder geführt. Sackförmige Gebinde, wie beispielsweise die Harze, werden auf Paletten gestapelt angeliefert und in eine automatische Depalettieranlage eingebracht. Dort werden die Säcke auf automatische Anforderung hin durch einen Roboter mit einem geeigneten Werkzeug vom Stapel aufgenommen und auf ein Horizontal-Förderband abgelegt. Über ein System aus Horizontal- und Vertikalförderern werden die Säcke automatisch arbeitenden Sackentleermaschinen auf der obersten Turmebene des Gebäudes zugeführt. Hier werden die Säcke durch ein rotierendes Kreismesser von unten aufgeschlitzt und die Feststoffe fallen in die darunter aufgestellten Bunker. Die entleerten Säcke werden in einen Schacht abgeworfen, über eine Schnecke verdichtet und in einen Endlosschlauch gestretcht. Feststoffe mit geringer Schüttdichte werden typischerweise nicht in Säcken sondern in Form handelsüblicher BigBags angeliefert. Zur Handhabung solcher Systeme dienen zwei zusätzliche BigBag-Aufgabestationen. Aus diesen werden die Feststoffe mittels einer pneumatischen Förderung direkt in die zugehörigen Bunker transportiert und abgeschieden.

Die gebunkerten Feststoffe werden auf Anforderung über Austragsorgane in Differentialdosierwaagen gefördert. Diese Waagen erfüllen die Aufgabe, die Feststoffe rezepturgetreu in die Extruder zu dosieren. Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit, flüssige Komponenten über entsprechende Dosiersysteme einzubringen.

Der abgemischte Acrylat-Kleber wird anschließend als 100 %-System über eine Zahnradpumpe in einen weiteren Extruder gefördert. In diesem Extruder erfolgt die abschließende Zugabe von Chemikalien. Der fertig formulierte Kleber wird dann über eine Zahnradpumpe zur Düse der Beschichtungsanlage gefördert.

Neben der effizienten Lösungsmittelrückführung im geschlossenen Kreislauf zeichnet sich das Verfahren durch den wesentlich verringerten Lösungsmittelbedarf aus. Dieser ergibt sich aus der Zugabe der Harze als Schmelze ohne Lösungsmittel in den Mischprozess.

Wie im Fall der Aufkonzentration wurden für die Compoundier- und Abmischextruder bestellfertige Lösungen in enger Zusammenarbeit mit den Lieferanten entwickelt. Das spezielle Design der Extruder für diese neuartige Aufgabenstellung ist das Ergebnis umfangreicher Auslegungsversuche bei den Lieferanten, in deren Zuge die technische Umsetzbarkeit für den Produktionsmaßstab bestätigt wurde.

4. **Beschichtung:** Die fertig formulierten Acrylat-Kleber werden über eine Düse auf die Beschichtungsbreite ausgeformt und über ein kalenderähnliches Mehrwalzen-Auftragswerk als lösungsmittelfreies 100 %-System auf die bahnförmigen Träger beschichtet. Bedingt durch den vorherigen Entzug des Lösungsmittels lassen sich hierbei im Vergleich zum konventionellen Prozess bedeutend höhere Produktionsgeschwindigkeiten und somit höhere Produktivitäten erzielen. Zudem können sehr viel höhere Schichtdicken realisiert werden, wie sie für die Herstellung noch leistungsfähigerer, innovativer Produkte benötigt werden.

Die gesamte Anlage ist vom Auftragswerk über die Ab- und Aufwickler und die Bahnführung als Hochleistungsbeschichtungsanlage ausgelegt. Im Gegensatz zum Lösungsmittelprozess entfällt die Notwendigkeit zur nachgeschalteten Wärmezufuhr in aufwändigen Kanal- und Hängetrocknungsanlagen, sodass die beschichteten Fertigproduktbahnen im Anschluss aufgewickelt und für die Konfektionierung bereitgestellt werden können.

Zu den Schlüsselkomponenten der Hochleistungsbeschichtungsanlage zählen die Vorverteilung über eine Düse, das Mehrwalzenauftragswerk sowie die Ab- und Aufwickler und das Kaschierwerk. Für diese Komponenten ist die Anwendung für die High-Performance-Klebebänder im beschriebenen Leistungsbereich als absolut neuartig einzustufen. Im Besonderen wurde das kalenderähnliche Mehrwalzenauftragswerk in jahrelanger Arbeit entwickelt und abgesichert, um die geforderten Ansprüche an die optische Qualität der Acrylat-Klebebänder zu erfüllen. Der Einsatz einer speziellen, strukturierten Walze prägt hierbei den innovativen Charakter des Auftragswerks ebenso wie die Übertragungswalze und technische Lösungen zur Biegekomensation, welche eine maximale Präzision im Hinblick auf den Klebmasseaufrag ermöglichen.

Zur Erreichung eines kontinuierlichen Betriebs im Verbund mit den vorgelagerten Extrusionsprozessen wurden sämtliche Komponenten der Beschichtungsanlage für einen unterbrechungsfreien Betrieb geplant und ausgeführt. Die Wickler wurden als Wendewickler mit zwei Wickelstellen konstruiert, um einen fliegenden Wechsel der Materialrollen ohne Verringerung der Liniengeschwindigkeit zu realisieren. Dazu wurden mit dem Lieferanten speziell auf die Materialeigenschaften zugeschnittene Lösungen für die Wechseleinrichtungen erarbeitet. Durch den fliegenden Wechsel der Materialbahn werden prozessbedingte Verluste beim Rollenwechsel – wie sie an älteren Anlagen anfallen – vermieden.

Das Beschichtungsverfahren wurde in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten in eine großtechnische Anlage überführt. Die Auslegung wurde hierzu speziell auf die neuartigen Anforderungen und Prozessbedingungen adaptiert.

Der gesamte ACX-Prozess ist von seiner Konzeption und technischen Ausführung ein kontinuierliches Verfahren. Sämtliche Prozessschritte von der Anforderung des Basispolymers aus dem Tanklager, über den Lösungsmittelentzug, die Abmischung und Beschichtung bis hin zur Aufwicklung des fertigen Klebebandes sind direkt gekoppelt und laufen unterbrechungsfrei ab.

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Die Umsetzung des Verfahrens in eine großtechnische Produktionsanlage wurde bei tesa durch eine effiziente Projektorganisation mit modernen Methoden des Projektmanagements bearbeitet. Die Steuerung, verantwortliche Durchführung und Kommunikation gegenüber der Geschäftsleitung erfolgte durch ein interdisziplinär besetztes Projektteam, welches über umfangreiche Erfahrungen aus anderen großen Investitionsprojekten verfügte. Zur operativen Durchführung wurden die folgenden Teilschritte festgelegt:

- Auswahl und Qualifizierung geeigneter Lieferanten
- Planung und Konstruktion der Anlage
- Bestellung der Komponenten
- Planung und Fertigstellung des Produktionsgebäudes einschließlich Technischer Gebäudeausstattung
- Aufbau und Montage der Anlage, technische Inbetriebnahme
- Start-up der Anlage
- Produkt-Transfer

Diese Teilschritte wurden hinsichtlich Aufgabenstellung, Projektteams, Schnittstellen, Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen, Terminrahmen, Meilensteinen und Budgets detailliert geplant und in Briefings beschrieben. Das Monitoring des Fortschritts erfolgte im Rahmen von regelmäßigen Projekt-Reviews.

Inhaltliche Basis für die Planung und Konstruktion der Anlage waren die Ergebnisse aus einem vorgelagerten Technologieprojekt, dem Scale-up-Projekt, in dessen Rahmen die grundlegenden Auslegungsdaten im tesa-eigenen Technologiezentrum erarbeitet und durch Versuche bei geeigneten Lieferanten abgesichert wurden. Dadurch lagen auch bereits wichtige Erkenntnisse und Einschätzungen hinsichtlich potentieller Lieferanten aus diesem Projekt vor.

Das Gebäude einschließlich der technischen Gebäudeausstattung war im Juni 2009 bezugsfertig. Ab diesem Zeitpunkt wurden die ersten Anlagen- und Maschinenkomponenten angeliefert und montiert. Im Rahmen der Möglichkeiten wurden die Anlagen noch vor der Freigabe zur Auslieferung Erprobungsläufen mit repräsentativen Versuchsmaterialien beim Lieferanten unterzogen. Zum Beispiel konnten große Teile der Bahnführung und der automatischen Depalettieranlage bereits vor Auslieferung umfangreich getestet werden. Optimierungsbedarfe konnten

auf diese Weise sehr frühzeitig erkannt und effektiv in technische Lösungen umgesetzt werden.

Die mechanische und elektrische Montage der Gesamtanlage war zum Ende des Jahres 2009 abgeschlossen. In der darauf folgenden Phase wurden die Anlagenteile zunächst einzeln, später dann im Inline-Betrieb technisch in Betrieb genommen. Im Rahmen der Inbetriebnahme wurde die bestimmungsgemäße, spezifikationskonforme Funktion der Anlagenteile überprüft und es wurden die einzelnen Komponenten zu einer funktionierenden Gesamtanlage abgestimmt.

Zügig konnten dann die ersten Prinzipversuche mit Produkt ab dem zweiten Quartal 2010 durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Versuche konnte die prinzipielle Eignung der Anlage zur Fertigung anforderungsgerechter Produkte gezeigt und das Scale-up in den großtechnischen Maßstab bestätigt werden. In der darauf folgenden Start-up Phase wurde der erste Großmengenartikel über Produktionsversuche reproduzierbar und stabil für die Serienfertigung qualifiziert. Sämtliche Prozesse und Dokumentationen wie Qualitätssicherung, Herstdokumentationen- und Anweisungen und Risikobetrachtungen wurden in diesem Projektabschnitt erfolgreich implementiert beziehungsweise erstellt.

Im Ergebnis wurde der erste Großmengenartikel Ende August 2010 an die Produktion übergeben. Damit startete der reguläre Serienbetrieb marktgerechter Ware mittels der neuen, innovativen ACX-Technologie. Weitere Produkte befinden sich zum Ende des Förderzeitraums in der Erprobungs- und Qualifizierungsphase. Über die nächsten Monate und Jahre wird die Auslastung der Anlage durch Produktumstellungen sukzessive erhöht und an die Nennauslastung herangeführt werden.

2.4 Behördliche Anforderungen

Die Anlage erfüllt die Anforderungen sämtlicher relevanter und anwendbarer Gesetze, Verordnungen und untergesetzlicher Regelwerke. Die zum Betrieb der Anlage erforderlichen Genehmigungen wurden erteilt.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Betriebsdaten der Anlage werden zum überwiegenden Teil kontinuierlich über Prozessleitsysteme erfasst und archiviert. Zu diesen Daten zählen die relevanten Mengenströme, Behälterfüllstände und die Gesamtaufnahme an elektrischer Leistung. Daneben gibt es auch Größen, die nicht kontinuierlich gemessen und mitgeschrieben werden. Dazu gehören der Feststoffgehalt des Basispolymers (chargenweise Bestimmung und Dokumentation) sowie die anfallende Menge an kondensiertem Dampf (Aufnahme und Dokumentation zu einzelnen Zeitpunkten).

Bislang wird ein Produkt mit großen Fertigungslosen an der Anlage hergestellt. Im Rahmen der ersten repräsentativen Fertigungen wurden die Verbrauchswerte der Anlage im Betrieb ermittelt. Auf dieser Datenbasis ist es möglich, eine Aussage im Hinblick auf die erreichbaren Umweltentlastungen zu treffen.

3. Ergebnisse

3.1 Stoff- und Energiebilanz

Lösungsmittelbilanz:

a) Einsatz organischer Lösungsmittel:

- **Ziel: - 55 % entsprechend 3.400 t/a (bei 22 Mio. m² Fertigprodukt)**

Organische Lösungsmittel werden sowohl im Lösungsmittel- als auch im ACX-Prozess zur Polymerisation des Grundpolymers benötigt. Zusätzlich findet beim Lösungsmittelverfahren auch der folgende Abmischprozess mit Harzen in Lösung statt. Der resultierende Massenanteil an fertig formuliertem Acrylatkleber in Lösung wird als Feststoffgehalt FG bezeichnet. Im Folgenden werden bei der Lösungsmittelbilanzierung die zur Umstellung auf das ACX-Verfahren vorgesehenen Klebmassensysteme herangezogen. Diese werden heute an einer Hängebeschichtungsanlage verarbeitet und weisen den Feststoffgehalt $FG_{\text{Hänge}}$ auf.

Analog dazu lässt sich auch ein Feststoffgehalt FG_{ACX} für den ACX-Prozess definieren. Dieser gibt den Anteil an fertig abgemischtem Acrylatkleber in Bezug auf die Summe der eingesetzten Komponenten an, also abgemischtem Acrylatkleber zuzüglich der eingesetzten Lösungsmittelmenge bei der Polymerisation. Daher bestimmen die beiden folgenden Größen den FG_{ACX} :

- Anteil Lösungsmittel am Grundpolymer → Feststoffgehalt Grundpolymer
- Anteil Grundpolymer an abgemischtem Acrylatkleber → Rezeptur

Die zugehörigen Daten wurden während der Inbetriebnahmen, Produktionsversuche und der ersten Fertigungskampagnen fortlaufend erhoben.

Der Lösungsmiteleinsatz im Vergleich zum Hänge-Prozess ergibt sich nach der folgenden Formel:

$$\frac{\dot{m}_{\text{Einsatz.ACX}}}{\dot{m}_{\text{Einsatz.Hänge}}} = \frac{(1 - FG_{\text{ACX}}) \cdot FG_{\text{Hänge}}}{(1 - FG_{\text{Hänge}}) \cdot FG_{\text{ACX}}}$$

Als Ergebnis der Lösungsmittelanpassung im Polymerisationsschritt und der fortschrittlichen Zugabe der Harze als Schmelze ohne Lösungsmittel resultiert für den ACX-Prozess ein deutlich höherer Vergleichs-Feststoffgehalt als beim Lösungsmittelverfahren. Mit den entsprechenden, durch Feststoffgehaltsbestimmungen des Grundpolymers und durch die Rezeptur des fertig abgemischten Klebers bestätigten Größen ergibt sich das oben formelmäßig beschriebene Verhältnis zu knapp 45 %.

Das heißt, es werden im Vergleich zum Lösungsmittelverfahren nur knapp 45 % der Einsatzmenge an Lösungsmitteln benötigt. Gegenüber dem Lösungsmittelverfahren ergibt sich damit durch Vermeidung eine Reduktion der Einsatzmenge um rund 55 %. Diese Menge muss gar nicht erst aufwändig über den Herstellprozess gehandhabt und aufbereitet werden. Bezogen auf eine Jahresmenge von 22 Mio. m² Fertigprodukt ergibt sich eine Reduzierung um 3.400 t /a.

Die Ergebnisse zum Lösungsmittelleinsatz spiegeln die gesteckten Ziele exakt wider. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Polymerisation mit dem geplanten Feststoffgehalt durchgeführt werden kann und die angestrebte Rezeptur des fertig formulierten Acrylat-Klebers bestätigt werden konnte.

b) Entsorgung organischer Lösungsmittel:

- **Ziel: - 89 % entsprechend 2.500 t/a (bei 22 Mio. m² Fertigprodukt)**

Die Entsorgungsmenge an Lösungsmitteln wird zum Einen schon durch die beachtliche Vermeidung beim Einsatz reduziert. Zum Anderen ist der Wiedereinsatz der Lösungsmittel beim ACX-Verfahren sehr viel effizienter und findet mit deutlich höherer Quote als beim Lösungsmittelverfahren statt.

Durchgeführte Messungen und Bilanzierungen des Aufkonzentrationsprozesses zeigen, dass die Wiedereinsatzquote an Lösungsmitteln $x_{\text{Regenerat,ACX}}$ beim ACX-Prozess ca. 90 % beträgt. Das bedeutet, 90 % der mit dem Grundpolymer in Lösung zugeführten Lösungsmittel werden an die Polymerisationsanlage zum Wiedereinsatz zurückgeführt. Der verbleibende Anteil wird als Abfall zur Entsorgung ausgeschleust.

Analog zum Lösungsmittelleinsatz werden auch bei der Entsorgung die zur Umstellung auf das ACX-Verfahren vorgesehenen Klebmassesysteme für die Bilanzierung betrachtet. Diese werden heute an einer Hängebeschichtungsanlage

verarbeitet. Für diese Massesysteme liegt der Anteil an Regeneratlösungsmittel $x_{\text{Regenerat,Hänge}}$ heute bei gut 50 %.

Das heißt, hinsichtlich des Wiedereinsatzes an Lösungsmitteln ergibt sich durch Umstellung von der Hänge auf die ACX-Anlage eine Steigerung von heute 50 % auf künftig 90 %.

Die Entsorgungsmenge im Verhältnis zum Hänge-Prozess ergibt sich nach der folgenden Formel:

$$\frac{\dot{m}_{\text{Entsorgung,ACX}}}{\dot{m}_{\text{Entsorgung,Hänge}}} = \frac{(1 - x_{\text{Regenerat,ACX}})}{(1 - x_{\text{Regenerat,Hänge}})} \cdot \frac{(1 - FG_{\text{ACX}}) \cdot FG_{\text{Hänge}}}{(1 - FG_{\text{Hänge}}) \cdot FG_{\text{ACX}}}$$

und beträgt knapp 11 %. Im Vergleich zum Lösungsmittelprozess müssen bei Umstellung auf den ACX-Prozess nur 11 % der Lösungsmittelmenge, also im Verhältnis rund 89 % weniger entsorgt werden. Bezogen auf eine Jahresmenge von 22 Mio. m² müssen durch Umstellung auf den ACX-Prozess 2.500 t/a Lösungsmittel weniger entsorgt werden.

Analog zum Lösungsmittelleinsatz werden auch bei der Entsorgung die gesteckten Ziele exakt erreicht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Lösungsmittelrückgewinnung am angestrebten Auslegungspunkt arbeitet und das Regeneratlösungsmittel im geplanten Umfang bei der Polymerisation eingesetzt werden kann.

Zusammenfassend ergeben sich die in der Tabelle dargestellten Einspareffekte.

	ACX1 ⁽¹⁾ bei 22 Mio m ²	Umweltziele bei 22 Mio m ²
Reduzierung Einsatz [%]	55	55
Reduzierung Entsorgung [%]	89	89
Reduzierung Einsatz [t/a]	3.400	3.400
Reduzierung Entsorgung [t/a]	2.500	2.500

Reduzierung der Lösungsmittelmengen durch Umstellung vom Lösungsmittel- auf das ACX-Verfahren im Vergleich zu den angestrebten Zielen; zum Vergleich wurden die für die Umstellung betrachteten Massesysteme von der Hänge herangezogen

(¹): Die m²-Angabe zum Fertigprodukt gilt für ein doppelseitiges Produkt mit einem Masseauftrag von 87,5 g/m² je Seite

Die gesteckten Ziele hinsichtlich Lösungsmittelvermeidung und Entsorgung werden damit schon heute im Verhältnis zum Lösungsmittelprozess erfüllt. Die angestrebten absoluten Tonnagen werden mit Erhöhung der Anlagenauslastung erreicht.

Prozesswasserbedarf:

- **Ziel: - 100 % entsprechend 9.000 m³/a (bei 22 Mio. m² Fertigprodukt)**

Wie geplant entfällt durch die Inline-Rückführung der Lösungsmittel beim ACX-Prozess der Prozesswasserbedarf nahezu vollständig. Messungen an der ACX-Anlage zeigen, dass die Abluftmengen aktuell nochmals deutlich unterhalb der ursprünglich angenommenen Werte liegen und damit der Prozesswasserbedarf im Vergleich zum Lösungsmittelprozess vernachlässigbar gering ist. Bezogen auf eine Jahresmenge von 22 Mio. m² müssen durch Umstellung auf den ACX-Prozess 9.000 m³/a weniger Wasser eingesetzt und aufbereitet werden.

Energiebilanz:

a) Bilanzierung auf Basis Nutzenergie:

- **Ziel: - 50 % entsprechend 8.300°MWh/a (bei 22 Mio. m² Fertigprodukt)**

ACX-Prozess sowie Lösungsmittelprozess benötigen Nutzenergie in Form von Wärme (Dampf) und elektrischer Arbeit. Der benötigte Dampf wird in der Dampfkesselanlage des tesa Werkes Hamburg als 20 bar-Sattdampf über Dampferzeuger zur Verfügung gestellt. Dazu wird Erdgas thermisch genutzt. Die benötigte elektrische Energie wird von einem Energieversorgungsunternehmen bezogen.

Zur Abschätzung der Energiebilanz wurden die relevanten Verbrauchsdaten der ACX-Anlage erhoben und mit den Daten der Hängebeschichtungsanlage, an der die umzustellenden Produkte heute gefertigt werden, verglichen.

Für die ACX-Anlage wurden die Verbrauchsdaten an Dampf und elektrischer Leistung im Rahmen der ersten großen Fertigungskampagnen ermittelt und zum Vergleich herangezogen. Diese Daten beinhalten sämtliche Verbräuche für die Technische Gebäudeausstattung sowie den Betrieb von Prozess und Anlage.

Für den Vergleich mit dem Lösungsmittelprozess wurde auf die Daten der Hängebeschichtungsanlage aus dem Jahr 2007 zurückgegriffen. Diese Daten spiegeln einen 3-Schicht-Betrieb an 7 Tagen in der Woche wider.

Mit diesen Daten und Annahmen ergibt sich die in der folgenden Tabelle dargestellte Abschätzung der Energieeinsparung (Nutzenergie) gegenüber dem Lösungsmittelprozess.

	ACX1 ⁽¹⁾ bei 22 Mio m ²	Umweltziele bei 22 Mio m ²
Reduzierung [%]	70	50
Reduzierung [MWh/a]	13.000	8.300

Jährliche erreichbare Energieeinsparung durch Umstellung vom Lösungsmittel- auf das ACX-Verfahren im Vergleich zu den angestrebten Zielen

(¹): Bezogen auf den fertig beschichteten und getrockneten Kleber; in die Bilanz gehen ein:

a) Hängebeschichtungsanlage: Prozess und Anlage Hänge (Beschichtung und Trocknung);

Technische Gebäudeausstattung; Anteil an Abluftreinigungsanlage und

Abwasserreinigungsanlage zur Aufbereitung der Lösungsmittel; der spez. Verbrauch wurde für den Vergleich zum ACX-Prozess als unabhängig von der Fertigungsmenge und somit konstant angenommen

b) ACX-Prozess: Prozess und Anlage ACX1 (Lösungsmittelentzug- und Rückführung,

Abmischung, Beschichtung); Technische Gebäudeausstattung; Anteil an

Abluftreinigungsanlage; die m²-Angaben zum Fertigprodukt gelten für ein doppelseitiges Produkt mit einem Masseauftrag von 87,5 g/m² je Seite

Die Ergebnisse zeigen, dass das Ausmaß der Energieeinsparung die gesteckten Ziele übertrifft. Mit Steigerung der Fertigungsmenge werden die absoluten Einsparungen sicher erreicht.

b) Bilanzierung auf Basis Energieträger:

Die Betrachtung der Nutzenergie beschränkt sich auf die Bilanzierung des Prozesses. Diese prozessbezogene Bilanzierung stellt die Umwelt- und Klimaschutzwirkung des Vorhabens aber nicht vollständig dar. Zur ganzheitlichen Bewertung werden im Folgenden die Verbräuche an den zugehörigen Energieträgern herangezogen.

Der benötigte Dampf wird in der Dampfkesselanlage des tesa Werkes Hamburg als 20 bar-Sattdampf über Dampferzeuger zur Verfügung gestellt. Dabei wird Erdgas mit

einem spezifischen Verbrauch von 881 kWh/t_{Dampf} thermisch genutzt [18]. Für die Bestimmung des Energieträgereinsatzes zur Stromerzeugung wurde auf die Daten nach [19] zurückgegriffen. Aus diesen Daten ergibt sich für das Jahr 2009 in Deutschland ein Energieträgereinsatz von 5.248 Petajoule zur Bruttostromerzeugung von 593,2 TWh. Dies entspricht einem Wirkungsgrad von 40,7 %. Die geleistete elektrische Arbeit wurde für die Energiebetrachtung mit diesem Wirkungsgrad auf den Einsatz an Primärenergie umgerechnet.

Mit diesen Daten und Annahmen ergibt sich die in der folgenden Tabelle dargestellte Abschätzung der Energieeinsparung (Energieträger) gegenüber dem Lösungsmittelprozess. Zum Vergleich sind die entsprechenden Daten zur Nutzenergie gezeigt.

	ACX1 ⁽¹⁾ bei 22 Mio m ² Primärenergie	ACX1 ⁽¹⁾ bei 22 Mio m ² Nutzenergie
Reduzierung [%]	67	70
Reduzierung [MWh/a]	22.500	13.000

Jährliche erreichbare Energieeinsparung durch Umstellung vom Lösungsmittel- auf das ACX-Verfahren; Vergleich Primärenergie zu Nutzenergie

(¹): Bezogen auf den fertig beschichteten und getrockneten Kleber; in die Bilanz gehen ein:

a) Hängebeschichtungsanlage: Prozess und Anlage Hänge (Beschichtung und Trocknung);

Technische Gebäudeausstattung; Anteil an Abluftreinigungsanlage und

Abwasserreinigungsanlage zur Aufbereitung der Lösungsmittel; der spez. Verbrauch wurde für den Vergleich zum ACX-Prozess als unabhängig von der Fertigungsmenge und somit konstant angenommen

b) ACX-Prozess: Prozess und Anlage ACX1 (Lösungsmittelentzug- und Rückführung,

Abmischung, Beschichtung); Technische Gebäudeausstattung; Anteil an

Abluftreinigungsanlage; die m²-Angaben zum Fertigprodukt gelten für ein doppelseitiges Produkt mit einem Masseauftrag von 87,5 g/m² je Seite

Unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade bei der Wandlung ergibt sich die deutlich höhere, umweltrelevante Einsparung an Energieträgern.

3.2 CO₂-Bilanz

- **Ziel: - 35 % entsprechend 2.000 t/a (bei 22 Mio. m² Fertigprodukt)**

Die Emissionen an CO₂ ergeben sich aus dem Energiebedarf in Form von Wärme und technischer Arbeit. Dazu müssen die entsprechenden Emissionsfaktoren bei der Nutzung der Energieträger herangezogen werden.

Für die thermische Nutzung von Erdgas in der Dampfkesselanlage wird gemäß Deutscher Emissionshandelsstelle ein Emissionsfaktor von 182 g_{CO2}/kWh_{Gas} angesetzt [18]. Für die Stromerzeugung aus Primärenergie wurde die Angabe des Versorgers mit 520 g_{CO2}/kWh_{elektr.} bezogen auf den deutschlandweit gemittelten Energieträgermix herangezogen [18].

Mit diesen Faktoren ergeben sich die in der Tabelle dargestellten Reduzierungen im Vergleich zum Lösungsmittelverfahren.

	ACX1 (¹) bei 22 Mio m ²	Umweltziele bei 22 Mio m ²
Reduzierung [%]	65	35
Reduzierung [t/a]	4.000	2.000

Jährliche erreichbare Reduzierung der CO₂-Emissionen durch Umstellung vom Lösungsmittel- auf das ACX-Verfahren im Vergleich zu den angestrebten Zielen

(¹): Bezogen auf den fertig beschichteten und getrockneten Kleber; in die Bilanz gehen ein:

a) Hängebeschichtungsanlage: Prozess und Anlage Hänge (Beschichtung und Trocknung);

Technische Gebäudeausstattung; Anteil an Abluftreinigungsanlage und

Abwasserreinigungsanlage zur Aufbereitung der Lösungsmittel; der spez. Verbrauch wurde für den Vergleich zum ACX-Prozess als unabhängig von der Fertigungsmenge und somit konstant angenommen

b) ACX-Prozess: Prozess und Anlage ACX1 (Lösungsmittelentzug- und Rückführung,

Abmischung, Beschichtung); Technische Gebäudeausstattung; Anteil an

Abluftreinigungsanlage; die m²-Angaben zum Fertigprodukt gelten für ein doppelseitiges Produkt mit einem Masseauftrag von 87,5 g/m² je Seite

Analog zur Energiebilanz werden auch für die CO₂-Einsparungen die gesteckten Ziele sicher erreicht beziehungsweise übertroffen.

Übersicht über die spezifischen Reduzierungen von Lösemittel, Prozesswasser, Energie und CO₂

Im Produktionslauf vom 18.04.2012 ist ein Standardprodukt gefahren worden, dass bereits zu 100% auf das ACX-Verfahren verlagert worden ist. Hier sollte anhand der spezifischen Daten aufgezeigt werden, inwieweit die gesteckten Ziele umgesetzt werden konnten.

Insgesamt sind alle Ziel-Werte im Produktionslauf erreicht oder sogar unterschritten worden. Das Maß der Unterschreitung ist prozess- und produktabhängig und kann nicht direkt auf das ganze Sortiment übertragen werden.

	Zielwert Reduzierung um	Lösemittel- Verfahren Ist	ACX- Verfahren Ziel	ACX- Verfahren Prod.-Lauf am 18.04.2012
Einsatz org. Lösemittel	- 55 %	Ø 143 g/m ²	Ø 65 g/m ²	62 g/m ²
Entsorg. org. Lösemittel	- 89 %	Ø 72 g/m ²	Ø 8 g/m ²	4 g/m ²
Prozesswasser- bedarf	- 100 %	Ø 215 g H ₂ O/m ²	0	0
Energiebilanz auf Basis Nutzenergie	- 50 %	Ø 0,38 kWh/m ²	Ø 0,19 kWh/m ²	0,10 kWh/m ²
CO ₂ -Bilanz auf Basis Primärenergie	- 35 %	Ø 171 g/m ²	Ø 111 g/m ²	61 g/m ²

3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die angestrebten Kostenreduzierungen im Wesentlichen durch den geringeren Einsatz von Lösemitteln und deren höheren Wiedereinsatzquote werden aus heutiger Sicht entsprechend der Beantragung zukünftig realisiert werden können. Die 1,5 Mio. € p.a. prognostizierten Einsparungen werden mit steigender Belegung der Anlage erreicht werden.

Mit dem Rückbau der ersten Alt-Anlagen wurde bereits begonnen, wodurch bereits ab 2011 erste positive Effekte erwartet werden. Weitere Rückbauten von Alt-Anlagen werden folgen.

Insbesondere durch Anpassungen der Werksstrukturen in den Bereichen Logistik & Technik wurden bereits Einsparungen i.H.v. ca. 0,7 Mio. € p.a. erfolgreich umgesetzt. Weitere Anpassungen werden folgen, wodurch die geplanten 1,0 Mio. € p.a. zukünftig erreicht werden.

Die Werte stellen Durchschnittswerte über den Betrachtungszeitraum von 10 Jahren dar.

3.4 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Im direkten Verfahrensvergleich zwischen dem innovativen ACX-Prozess und dem konventionellen Lösungsmittelprozess ergeben sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch erhebliche Unterschiede.

Grundsätzlich sind beide Verfahren geeignet, doppelseitige Haftklebebänder auf Acrylat-Basis herzustellen. Dabei ist beiden Prozessen gemeinsam, dass die Polymerisation des Grundpolymeren in organischen Lösungsmitteln erfolgen muss. Beide Verfahren nutzen anschließend die Grundoperationen Abmischung, Beschichtung und Lösungsmittelentzug/Trocknung – allerdings in unterschiedlicher Reihenfolge und völlig anderer technologischer Ausgestaltung.

Beim ACX-Verfahren werden die Lösungsmittel im Anschluss an den Polymerisationsschritt in einem Aufkonzentrationsextruder entzogen und im geschlossenen Kreislauf in den Polymerisationsschritt zurückgeführt. Das Polymer liegt ab dem Austritt des Extruders als hochviskoses, lösungsmittelbefreites 100 %-System vor. Die Abmischung mit klebrig machenden Harzen und weiteren

Zuschlagsstoffen findet im anschließenden Mischprozess in einem kontinuierlich arbeitenden Compoundierextruder statt. Dazu werden die Harze in einem Schmelzextruder aufgeschmolzen und kontinuierlich mit dem Polymer in dem Compounder gemischt. Der so abgemischte Acrylat-Kleber wird anschließend über eine Düse auf Beschichtungsbreite ausgeformt und über ein kalanderähnliches Auftragswerk als hochviskoses 100 %-System auf den Träger beschichtet.

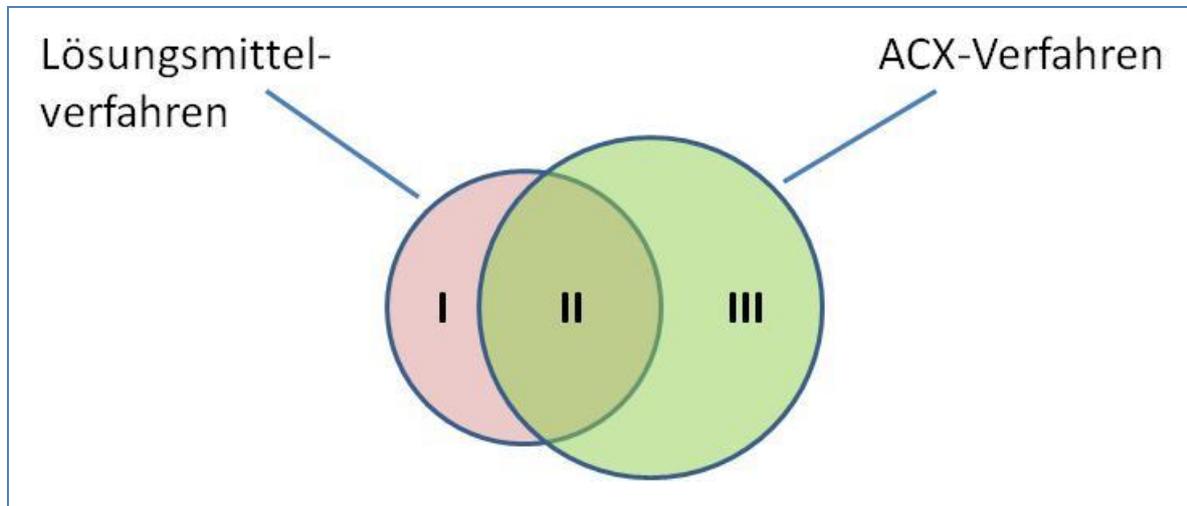
Der ACX-Prozess läuft ab dem Eintritt in den Aufkonzentrationsextruder vollständig kontinuierlich, einschließlich der Inline-Abmischung mit Harzen und Zuschlagsstoffen. Sämtliche Aggregate sind auf die Förderung und Verarbeitung von hochviskosen 100 %-Systemen ausgelegt.

Demgegenüber findet die Abmischung beim Lösungsmittelverfahren batchweise in organischen Lösungsmitteln statt. Der Kleber wird anschließend fertig formuliert in Lagertanks verpumpt und für die Beschichtung bereitgestellt. Die Beschichtung erfolgt im gelösten, niedriger-viskosen Zustand. Die Lösungsmittel werden im abschließenden Trocknungsschritt über großvolumige Trocknungsanlagen von der Materialbahn entzogen und über Abluft- und Abwasserreinigungsanlagen zurückgewonnen.

In beiden Verfahren wird der Kleber auf die gleichen bahnförmigen Materialien in einer für moderne Anlagen üblichen Arbeitsbreite von 1 – 1,5 m beschichtet. Im Lösungsmittelprozess sind die Trocknungskinetik- und Kapazität limitierend für den Output. Diese Limitierung entfällt bei der ACX-Technologie aufgrund des vorgeschalteten Lösungsmittelentzugs, sodass deutlich höhere Produktivitäten erzielt werden können.

Der ACX-Prozess wurde mit der Zielstellung geplant, entwickelt und ausgelegt, Großserien zu fertigen. Über die Umstellung bestehender Sortimente hinaus werden künftig auch neue, großvolumige Produkte mit der ACX-Technologie entwickelt. Erwartungsgemäß ist diese Technologie durch die unmittelbare Kopplung der kontinuierlich betriebenen Prozessschritte Lösungsmittelentzug, Abmischung und Beschichtung für eine Kleinmengenfertigung mit häufigem Wechsel der Klebmasserezeptur und der Prozessparameter nicht bevorzugt geeignet. Dagegen kommen die Vorzüge der ACX-Technologie bei hoher Anlagenauslastung und Auflegung großer Fertigungslose optimal zum Tragen. Im Vergleich dazu bleibt das Lösungsmittelverfahren erste Wahl für das breit gefächerte Kleinmengengeschäft mit seinen vielen unterschiedlichen Klebmasserezepturen.

Die unterschiedlichen Einsatzbereiche der beiden Technologien sind in der folgenden Abbildung schematisch veranschaulicht.



Schematische Darstellung der Einsatzbereiche von Lösungsmittel- und ACX-Verfahren

I: Kleinmengengeschäft mit vielen verschiedenartigen Masserezepturen („Spezialitäten“);

II: Großmengenfertigung („Volumengeschäft“);

III: Produktinnovationen durch ACX-Technologie

Für die sehr spezialisierten Produkte der Kategorie I ist eine Umstellung auf die ACX-Technologie nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand möglich. Die mengenmäßig äußerst bedeutenden Produkte der Kategorie II sind durch große Fertigungslose charakterisiert und werden auf das umweltschonende ACX-Verfahren umgestellt. Bei der Kategorie III handelt es sich um zukunftsweisende Produktinnovationen, die erst durch die ACX-Technologie ermöglicht werden. Zu diesen zählen Hochleistungs-Klebebänder mit deutlich höheren Klebmasseaufträgen. Zusätzlich können durch die überlegene Mischwirkung im Extruder Zuschlagsstoffe zur gezielten Einstellung und Optimierung des Eigenschaftsprofils eingearbeitet werden. Die Herstellung erfolgt dabei ebenso wie bei den Produkten der Kategorie II auf umweltverträgliche Weise.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Erfahrungen aus der Praxiseinführung bestätigen die Erkenntnis, dass bei einem Investitionsprojekt dieser Größenordnung mit seinem sehr hohen Innovationsgrad nicht sämtliche Detailprobleme im Vorwege zu erkennen und zu lösen sind. Dabei berühren die Detailfragen nicht die grundsätzliche Machbarkeit des Verfahrens im großtechnischen Maßstab. Diese Machbarkeit konnte bereits frühzeitig im Rahmen der Inbetriebnahmen und Produktionsversuche gezeigt werden. Der Nachweis über die prinzipielle Fähigkeit zum Scale-up in den Produktionsmaßstab und über die Eignung zur Serienfertigung wurde in dieser Projektphase durch die Versuchsmannschaften erbracht.

Die Herausforderungen bei der Praxiseinführung eines solchen Demonstrationsvorhabens stellen sich vielmehr in Bezug auf die Prozessstabilität und die Verfügbarkeit der Anlage. Naturgemäß kommt es in dieser frühen Phase des Lebenszyklus einer neuen Technologie trotz aller vorbereitenden Qualifizierungs- und Erprobungsmaßnahmen vermehrt zu technischen Problemstellungen, aus denen entsprechende Optimierungs- und Abstellmaßnahmen erwachsen. Dabei durchläuft die gesamte Organisation einschließlich der Maschinenlieferanten eine normale Lernkurve, mit deren Fortschreiten die Probleme sukzessive gelöst und die Maschinenverfügbarkeit erhöht werden. Im Ergebnis wird die Anlage in den stabilen Serienbetrieb überführt. Auch im Hinblick auf den Transfer der umzustellenden Sortimente ergeben sich begrenzte produktbezogene Erfordernisse zu Prozessanpassungen. So werden für einige Produkte, die in hochspezialisierten Anwendungen wie der Handy- und Bildschirmverklebung zum Einsatz kommen, besonders strenge Anforderungen an die optische Beschichtungsqualität gestellt. Die stabile, qualitätsgerechte Erfüllung dieser Anforderungen bedingt erfahrungsgemäß Iterationen während der Qualifizierungs- und Umstellphase.

Bis heute konnte bereits ein repräsentatives, doppelseitiges Hochleistungsklebeband auf die neue Technologie umgestellt und in den Serienbetrieb überführt werden. Weitere Produkte befinden sich in der Erprobungs- und Qualifizierungsphase und werden in naher Zukunft gemäß einem definierten Umstellungsplan folgen.

Für die Erreichung dieses Zieles haben sich die intensiven Anstrengungen und Vorarbeiten im Vorfeld der Praxiseinführung als außerordentlich hilfreich und empfehlenswert erwiesen. Das gesamte Investitionsprojekt basierte durch die langjährigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den Laboratorien und im tesa-eigenen Technologiezentrum auf einem belastbaren Fundament. Frühzeitig wurde besonderer Wert auf die Auswahl, Bewertung und Entwicklung potentieller Lieferanten gelegt. So wurden bereits während der Scale-up Phase Auslegungsversuche bei Lieferanten durchgeführt, deren Bewertung gemeinsam mit anderen Kriterien wie Angebotsumfang und Fertigungstiefe den Ausschlag bei der Auswahl gaben. Wesentliche Elemente der Anlage, wie beispielsweise die Bahnführung, Depalettierung, pneumatische Förderung und Sackentleerung, konnten bereits vor der Auslieferung umfangreichen Tests und Erprobungen bei den Lieferanten unterzogen werden.

Darüber hinaus hat sich die weitestmögliche Minimierung von Schnittstellen als nachhaltiger Vorteil für eine zügige Umsetzung erwiesen. Die gesamte Bahnführung wurde von einem einzigen Lieferanten zum weit überwiegenden Teil in Eigenfertigung hergestellt und von der Düse bis zu den Wicklern schlüsselfertig geliefert. Ebenso konnte jeweils ein einzelner Lieferant für einen großen Umfang der Extrusionslinien und des Feststoffhandlings qualifiziert werden. Das partnerschaftlich-kooperativ geprägte Verhältnis zu den Lieferanten hatte dabei ebenso wie die transparente Adressierung offener Fragestellungen in interdisziplinären Teams maßgeblichen Anteil zur lösungsorientierten Bearbeitung über alle Projektphasen. Die enge Verzahnung zwischen Produktionswerk und Technologiezentrum und der frühzeitige Aufbau von Know-how durch Schulung der beteiligten Betriebsmannschaften bereits im Vorwege der Inbetriebnahmen trugen wesentlich zum Erfolg des Vorhabens bei.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass bei der Realisierung dieses Demonstrationsvorhabens weitestgehend Sondermaschinen- und Anlagen zum Einsatz kommen und dass insgesamt auf wenige standardisierte Elemente zurückgegriffen werden konnte. Zur Lösung dieser anspruchsvollen Aufgabe hat sich die Zusammenarbeit mit Lieferanten aus Deutschland bewährt.

4.2 Modellcharakter

Die ACX-Technologie zeichnet sich durch ihren modellhaften Neuheitswert aus. Bislang war es nicht möglich, hochwertige Acrylat-Klebmassen, die im Polymerisationsverfahren hergestellt werden, als 100 % Feststoffsysteme

abzumischen und auf bahnförmige Trägermaterialien zu beschichten. Nach dem konventionellen Lösungsmittelprozess waren dazu bis heute erhebliche Mengen an Lösungsmittel erforderlich. Erst durch die Extrusionstechnologie und intensive Forschungsarbeiten bei der Formulierung der Klebmasserezeptur ist das lösungsmittelfreie Mischen und Beschichten für hochwertige Acrylat-Klebstoffmassen möglich geworden.

tesa bringt die ACX-Technologie am Standort Hamburg-Hausbruch erstmalig zum großtechnischen Einsatz. tesa-seitig durchgeführte Recherchen und intensive Marktbeobachtungen bestätigen, dass diese Technologie bislang nicht im Einsatz und als absolut innovativ einzustufen ist. Die ACX-Technologie setzt damit einen neuen Standard für die beste verfügbare Technologie zum Mischen und Beschichten von lösungsmittelbasierten Acrylat-Klebstoffsystemen.

Die ACX-Technologie verkörpert den fortschrittlichen Stand der Technik. Bestehende, durch den konventionellen Lösungsmittelprozess bedingte Restriktionen hinsichtlich des Lösungsmittelentzugs werden durch die Umstellung auf den ACX-Prozess entfallen. Heute bereits im Markt etablierte Sortimente von Spezial-Produkten, an die sehr hohe Anforderungen hinsichtlich Funktionalität, Qualität und Leistungsvermögen gestellt werden, können künftig mit dieser Technologie deutlich effizienter sowie ressourcen- und klimaschonender produziert werden. Die Extrusionstechnologie eröffnet tesa darüber hinaus den Zutritt zu neuen Märkten durch eine völlig neue Art von Klebeband-Produkten.

Für tesa wird die ACX-Technologie ein wesentlicher Baustein bei der Herstellung von Spezial-Klebebändern sein. Die Technologie ist grundsätzlich auch auf andere Produktionsstandorte im tesa-Verbund übertragbar. Dabei kommen die Standorte in den USA (Sparta, Michigan) und China (Suzhou bei Shanghai) in Betracht.

4.3 Zusammenfassung

tesa hat ein innovatives Verfahren zum lösungsmittelfreien Mischen und Beschichten von Acrylat-Klebebändern – den ACX-Prozess - am Produktionsstandort Hamburg-Hausbruch großtechnisch etabliert. Dabei handelt es sich um eine von tesa in intensiver Forschungsarbeit selbst entwickelte und in die Serienreife überführte Technologie. Bei der Umsetzung des Demonstrationsvorhabens in die großtechnische Fertigungsanlage wurden die inhaltlichen Ziele innerhalb des vorgegebenen Termin- und Kostenrahmens erreicht.

Der ACX-Prozess eröffnet eine Reihe von Vorteilen gegenüber dem konventionellen Lösungsmittelverfahren. So lässt sich ein breites Spektrum von doppelseitigen Acrylat-Klebebändern künftig durch Umstellung auf die ACX-Technologie sehr viel effizienter und umweltschonender herstellen als dies bislang möglich war. Bis heute wurde bereits das erste Großmengenprodukt auf die neue Technologie umgestellt. Die klebtechnischen Auswertungen bestätigen, dass die hergestellte Ware sämtliche Kriterien erfüllt und dass der ACX-Prozess geeignet ist, anforderungs- und marktgerechte Ware zu fertigen. Weitere Produkte befinden sich in der Qualifizierungs- und Umstellphase und werden gemäß einem definierten Umstellungsplan folgen. Die Bewertung der Betriebsdaten zeigt, dass die gesteckten und formulierten Umweltziele mit steigender Auslastung der Anlage erreicht werden.

Das ACX-Verfahren stellt darüber hinaus die technologischen Mittel für zukünftige Produktinnovationen im Bereich noch leistungsfähigerer Spezialklebebänder zur Verfügung. Es ist bereits gelungen, das erste Sortiment dieser neuartigen Hochleistungsklebebänder über die neue Produktionsanlage zu qualifizieren und im Markt einzuführen.

Beide Ereignisse – die Umstellung des ersten Großmengenprodukts auf die neue Technologie und die Markteinführung der ersten Produktinnovation mit der neuen Technologie – sind Meilensteine in der 75-jährigen Unternehmensgeschichte von tesa. Sie markieren den Übergang in das Zeitalter des lösungsmittelfreien Mischens und Beschichtens von acrylat-basierten Spezialklebebändern.

5. Literatur

- [1] ASTM D1878-61T ASTM Bull.221, 64, (1957)
- [2] Satas, D.: Tack in Adhesive Bond Making Process Advances in Pressure Sensitive Adhesive Technology-2, 1-14, Satas & Associates, Warwick, RI, (1995)
- [3] Zosel, A.: Fracture Energy and Tack of Pressure Sensitive Adhesives. Advances in Pressure Sensitive Adhesive technology-1, D. Satas, ed., Satas & Associates, Warwick, RI, (1992)
- [4] Kamagata, K.; Saito, T.; Toyama, M.: J. Adhesion 2, 279, (1970)
- [5] Druschke, W.: Adhesion and Tack of Pressure Sensitive Adhesives, Association des Fabricants Europeens de Rubans Auto-Adhesives, Meeting Edinburgh, Scotland, October 1-4, (1986)
- [6] Kinloch, A.: J. Adhesion and Adhesives, p. 270, Chapman and Hall, London, New York, (1987)
- [7] Mizumachi, H.J.: Appl. Polymer Sci. 30, 2675-2686, (1985)
- [8] Johnston, J.: Adhesive Age 11 (4), 20-26, (1968)
- [9] Gent, A.N.; Hamed, G.R.: Polym. Eng. Sci. 17 (7), 462-466, (1977)
- [10] Peters, N.; Nunge, J.; Geldermann, J.; Rentz, O.: Bericht über Beste Verfügbare Techniken (BVT) im Bereich der Lack- und Klebstoffverarbeitung in Deutschland; Teilband II Klebstoffverarbeitung, pp. 1-31, (2002)
- [11] Röber, S.: Abschlussbericht zum Vorhaben: Lösemittelfreies Verfahren zur Herstellung von technischen Klebebändern; Kennzeichen 30441/2 (00/6), (2002)
- [12] Röber, S.: Packaging Tapes, Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology, 3rd ed., 801-803, (D. Satas, ed.), Satas & Associates, Warwick, RI (1999)
- [13] Lehmann, H.; Curts, J.: German Patent DE1719096 (assigned to Beiersdorf AG)
- [14] Meyer-Roscher, B.; Barwich, J.; Duesterwald, U.; Zosel, A.: Radiation Curable Acrylic Systems, Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology, 3rd ed., 515-547, (D. Satas, ed.), Satas & Associates, Warwick, RI, (1999)
- [15] Auchter, G.; Barwich, J.; Rehmer, G.; Jaeger, H.: Adhesion Kleben und Dichten, 37, 14-20 (1993)
- [16] Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology, Donatas Satas, Satas & Associates, Warwick, Rhode Island, (1999)

- [17] Shephard, F.: Modern Coating Technology Systems for Paper Film and Foil, published by Emap McLaren Ltd., UK, (1995)
- [18] Dettmer, M.: tesa Werk-Hamburg GmbH, Leiter Energie- und Umwelтанlagen, persönliche Mitteilung (2008)
- [19] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Online-Ausgabe Energiedaten, Homepage des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, (2010)