

Zero Emission Retrofitting for Existing Textile Plants

ZERMET

J. Fresner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

76/2010

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Zero Emission Retrofitting for Existing Textile Plants

ZERMET

Dr. Johannes Fresner
STENUM GmbH

DI Josef Bärnthaler
Energieagentur Obersteiermark GmbH

Mag. Stefan Birkel
Mag. Stefan Birkel Unternehmensberatung

Graz, Juli 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.FABRIKderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1. Aktualisierte Kurzfassung	5
2. Abstract	6
3. Inhalte und Ergebnisse des Projektes	7
3.1. Motivation von ZERMET	7
3.2. Zielsetzung von ZERMET	9
3.3. Zielgruppe für ZERMET	18
3.4. Transfer des ZERMET Ansatzes und Ergebnis	19
3.5. Öffentlichkeitsarbeit für ZERMET	33
4. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	37
5. Detailangaben im Bezug auf die Ziele der Programmlinie	40
6. Literatur-/Abbildungs-/Tabellenverzeichnis	42
6.1. Literatur	42
6.2. Literatur zur Erstellung des Excel-Tools	43
6.3. Abbildungen	46
6.4. Tabellen	46
7. Anhang	47

1. Aktualisierte Kurzfassung

Der klassische Ansatz von Cleaner Production zur Identifizierung von Maßnahmen zur Abfallvermeidung und zum optimierten Einsatz von Wasser und Energie kommt aus der Verfahrenstechnik. Dieser Ansatz besteht klassisch aus der Erstellung eines Fließbildes, dem Erstellen einer Input/Output-Analyse, Stoff- und Energiebilanzen, der Ableitung von Verbesserungsansätzen sowie deren Bewertung und Umsetzung.

In diesem Prozess verlässt man sich vor allem bei der Definition möglicher Verbesserungsmaßnahmen auf Expertenwissen oder auf vorhandene Checklisten (z. B. BREF-Notes). Dieser Ansatz bewährt sich besonders in Teams mit einem starken verfahrenstechnischen Hintergrund.

Dieser Hintergrund ist in der Praxis der Umweltbeauftragten nicht gegeben. Viele Umweltmanager, die dann in Cleaner Production Projekten mitarbeiten, haben einen beschränkten oder gar keinen technischen Hintergrund. Daher haben die Autoren den Cleaner Production Ansatz für eine breite Zielgruppe mit relativ breit gefächertem Ausbildungshintergrund weiterentwickelt. Der weiterentwickelte Ansatz sollte besonders auch für Anwender ohne verfahrenstechnischen Hintergrund einsetzbar sein. Er sollte Werkzeuge zur Modellierung verwenden, die so nahe wie möglich an der natürlichen Sprache sind, und er sollte Gruppen helfen, über ihr Vorwissen hinaus Ansätze für Verbesserungsmaßnahmen identifizieren zu können.

Dazu wurden Elemente der so genannten TRIZ-Methode verwendet. TRIZ ist eine russische Methode, die in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt wurde und steht kurz für „Theorie des systematischen Lösens von Erfindungsaufgaben“. TRIZ bietet sehr starke Werkzeuge, um Prozessverbesserungen zu entwickeln, ohne dass man dazu spezielles Wissen über den Prozess benötigt. Besonders die Ansätze des idealen Endergebnisses und der Evolutionsgesetze bieten einen Rahmen, der sehr leicht und effizient zur Identifikation von Verbesserungsmaßnahmen beiträgt.

Als Ergebnisse liegen vor:

- das Vorgehenskonzept zur Betriebsanalyse und zur Befragung,
- eine Fragenliste mit Elementen zur Problembeschreibung, zur Entwicklung des Idealen Endergebnisses und zur Ableitung von Handlungsansätzen,
- ein Exceltool zur interaktiven Bearbeitung der Fragenliste mit spezieller Anwendung in der Textilindustrie,
- 4 dokumentierte Fallstudien,
- eine Homepage (zermet.stenum.at) mit einer Einführung in die Projektidee, einer Beschreibung des Optimierungsansatzes, und Anwendungsbeispielen
- eine Veröffentlichung dieses Ansatzes im Journal of Cleaner Production und in den Melliand Textilberichten.

2. Abstract

The standard approach of Cleaner Production to identify measures to avoid waste and to optimise water and energy consumption originates from chemical engineering. This approach classically consists of drawing a flow chart, doing an input/output analysis, doing a mass and energy balance, identifying sources for waste and emissions, setting priorities as well as identifying options.

In the process of option generation one generally relies on expert knowledge or on checklists which are available in different manuals or in the best available technology reference (BREF) notes. This approach is strong with teams with a (chemical) engineering background.

In the practice environmental managers, who work on Cleaner Production projects, have no or less technical background. Therefore the authors developed the Cleaner Production approach further for a broad target group with a wide variety of educational background.

This approach should be also applicable especially for users without any (chemical) engineering background. It should apply tools which use a modelling language as close to natural language as possible and it should help groups, to go beyond the knowledge they have from their own training and experience in the identification of options for improvement.

For that purpose the elements of the so called TRIZ method were used. TRIZ is a Russian method, developed in the seventies of the last century, as the “Theory of inventive problem solving”. TRIZ offers very strong tools for developing process improvement options on a generic level without specific technological knowledge about the process which shall be improved. Especially the concept of the Ideal Final Result and the Laws of Evolution form a conceptual framework which can aid effectively in the identification of improvement options in a systematic way.

The results there the following

- a process model for the implementation of the approach
- a checklist with elements to describe problems, to develop the Ideal Final Result as well as to derive action approaches,
- an Excel tool for the interactive treatment of the checklist with special application in the textile industry,
- four documented case studies,
- a webpage (zernet.stenum.at) with an introduction to the project idea, a description of the improvement approach, and the documented cases
- a publication in the Journal of Cleaner Production and in the Melliland Textilberichte.

3. Inhalte und Ergebnisse des Projektes

3.1. Motivation von ZERMET

Aufgrund der komplexen, vielstufigen Verfahren und der Vielfalt an Chemikalien ist es für einen Betrieb in der Textilindustrie oft schwierig, die optimalen Prozessbedingungen (Dosierung von Chemikalien, Kontrolle der Badbedingungen, Kontrolle des Spülwasserdurchflusses) zu kennen und über die Bandbreite von Produkten und wechselnde Auslastung auch einzuhalten. Viele Betriebe verlassen sich bei der Chemikalienauswahl und der Definition der Prozessbedingungen vorwiegend auf ihre Chemikalienlieferanten.

Das führte dazu, dass in vielen Betrieben einzelne punktuelle Maßnahmen umgesetzt werden, die der Beobachtung der Anlagenbetreiber entsprangen oder aus publizierten Checklisten entnommen wurden. Es blieb stets die Unsicherheit, was diese Maßnahmen bei Betrachtung des Gesamtsystems wirklich bringen, der Vergleich scheinbar alternativer Maßnahmen bezüglich ihrer Auswirkungen war schwer möglich. Tatsächlich verbrauchen auch heute noch viele Textilbetriebe mehr Chemikalien und Wasser als technisch notwendig ist.

Ziel des Vorläuferprogramms von ZERMET (ZERMEG – Zero Emission Retrofitting of Existing Galvanizing Plants) war es, eine Dienstleistung als einen konsistenten Ansatz zu schaffen, der aufgrund zugänglicher Daten des Betriebes mit vertretbarem Aufwand zielsicher die idealen bestmöglichen Chemikalienverbräuche und den minimalen Wassereinsatz bestimmt, um ein gewünschtes Produkt in der gewünschten Qualität zu erzeugen.

Aus diesem idealen Endergebnis wird in einem Backcasting-Prozess ein Satz von Maßnahmen abgeleitet, der Entwicklungspfade von der bestehenden Ausgangssituation möglichst nahe an den Idealzustand (definiert durch minimalen Chemikalieneinsatz, Wasserverbrauch und Abwasseranfall) beschreibt. So entsteht für den Betrieb Richtungssicherheit bei der Auswahl von Maßnahmen zur Reduktion des Wasserverbrauchs, Energieeinsatzes sowie Chemikalienverbrauchs und eine sichere Basis für Investitionsentscheidungen bei der umwelttechnischen Optimierung einer Bestandsanlage.

Ziel von ZERMET ist es, den Prozess von ZERMEG auf die Textilindustrie zu übertragen, ein Analysetool zu erstellen und eine Faktenbasis zu schaffen. Weiters wird das Dienstleistungsmodell in drei Textilbetrieben und in einem Referenzbetrieb aus einer anderen Branche angewendet.

In ZERMEG wurde ab 2001 ein Vorgehensmodell zur schrittweisen Optimierung bestehender galvanischer Anlagen geschaffen. Es besteht aus folgenden Schritten:

1. **Ist-Analyse** (Messen des Wasserverbrauches und des Chemikalieneinsatzes in der zu untersuchenden Galvanik, Feststellen der tatsächlichen Verschleppung von Prozessbädern, Definition des tatsächlich erforderlichen Spülkriteriums, um die geforderte Produktqualität zu erreichen)
2. **Vergleichsberechnung** (Berechnung des idealen Wasserverbrauches, Berechnung der idealen Chemikalienverbräuche anhand der mit ZERMEG erstellten Modelle)
3. **Ableitung von Optimierungsmaßnahmen** in einem Backcasting-Prozess
4. Definition von möglichen Rückführungen, möglicher **externer Verwertung** und Entsorgung
5. **Bewertung** der Optionen und Prioritätenbildung
6. Optimierung der Abwasseranlage

Die Schritte werden durch Formulare und Excelwerkzeuge unterstützt. Als Werkzeug zur Bewertung galvanischer Prozesse wurde ein Spinnendiagramm entwickelt („ZERMEG-Grid“), in dem auf sechs Achsen die Quotienten aus den tatsächlich erreichten Werten im Verhältnis zu „idealen Werten“ der für den Wasser- und Chemikalienverbrauch entscheidenden Faktoren Spülkriterium, Ausschleppung, Spülwasserverbrauch, Beizabtrag, Standzeit und Verwertungsgrad aufgetragen werden. Für diese Faktoren werden Idealwerte als Bezugsgrößen angegeben.

Eine Bibliothek mit Maßnahmenvorschlägen (Vorschläge zur Betriebsweise der Anlagen, Regelung und Automatisierung, apparative Maßnahmen, neue Technologien) wurde erstellt. Dieses Modell wurde in zwei „Fabrik der Zukunft“ Projekten entwickelt und getestet. Anschließend wurde es vereinfacht marktreif gemacht und beworben. Mittlerweile wurde es in über 20 Anwendungen eingesetzt.

Eine spezifische Herausforderung bei der Entwicklung von ZERMEG lag darin, der Breite an Verfahren und der Komplexität der chemischen Vorgänge in der Branche gerecht zu werden. Daher wurde nach Ansätzen gesucht, die der Komplexität gerecht werden, ohne einen enormen Aufwand durch die Behandlung einer Vielfalt von Details zu verursachen.

Die Autoren kamen im Zuge der Arbeit an ZERMET zum Schluss, dass für eine weitere Verbreitung ein Ansatz am erfolgversprechendsten ist, der

- eine Balance aus notwendigem Fakten- und Detailwissen, Vereinfachung und Abstraktion darstellt
- mehr mit Fragen als mit Berechnungen arbeitet
- das Wissen der Nutzer und ihre Erfahrungen direkt anspricht
- in der Analysephase stärker als bisher das Umfeld des Prozesses einbindet und in die Wahrnehmung rückt
- in der Phase der Suche nach Verbesserungsansätzen die Wahrnehmung von Veränderungsmöglichkeiten an den bestehenden Prozessen fördert

Aus diesen Überlegungen entstand eine Fragenliste auf der Basis der Funktionsanalyse und der TRIZ-Trimming Fragen mit drei Blöcken (Problemanalyse, Entwicklung des Idealen Endergebnisses und Entwicklung von Lösungen).

Als primäres Ergebnis liegt aus ZERMET ein Vorgehensmodell dokumentiert vor, das folgende Elemente beinhaltet:

- Modell zur Ermittlung von „idealen Vergleichsprozessen“ mit minimalem Wasser- und Energieverbrauch zur Erreichung des Prozesszieles auf Basis einer Fragenliste
- Vorgehensmodell zur Analyse des Status Quo im Vergleich zu den idealen Prozessen, Abweichungsanalyse (Erstellen eines Fließbildes, Dokumentation von Eckdaten, Grobeinschätzung der Prozesse, Detailanalyse mit der Fragenliste, Auswertung)
- Definition von (radikalen) Verbesserungsmaßnahmen zur Reduktion von Wasserverbrauch, Chemikalieneinsatz und Energieverbrauch

Dazu werden Fallstudien mit Textilbetrieben durchgeführt und das Vorgehen und die Ergebnisse dokumentiert.

Die Ergebnisse wurden in einer Publikation im Journal of Cleaner Production veröffentlicht, zwei weitere Publikationen wurden eingereicht und befinden sich in der Begutachtung.

Es wurden zwei Seminare durchgeführt:

- Ein Seminar mit dem Österreichischen Textilforschungsinstitut in Vorarlberg
- Ein Seminar mit sechs Betrieben in der Obersteiermark

Modell, Ergebnisse und Publikationen werden auf der Internetseite zermet.stenum.at verfügbar gemacht.

3.2. Zielsetzung von ZERMET

Der klassische Ansatz von Cleaner Production zur Identifizierung von Maßnahmen zur Abfallvermeidung und zum optimierten Einsatz von Wasser und Energie kommt aus der Verfahrenstechnik. Dieser Ansatz besteht aus den Schritten:

- Zeichnen eines Fließbildes
- Sammeln von Input/Output-Daten zum Prozess
- Durchführung von Stoff- und Energiebilanzen
- Identifizierung von Quellen für Abfälle und Emissionen
- Prioritätensetzung
- Ableitung von Verbesserungsansätzen
- Bewertung und Umsetzung

In diesem Prozess verlässt man sich auf Expertenwissen oder auf vorhandene Checklisten (z.B. BREF-Notes (BREF, 2003)). Dieser Ansatz bewährt sich besonders in Teams mit einem starken verfahrenstechnischen oder prozesstechnischen Hintergrund.

Dieser Hintergrund ist in der Praxis der Umweltbeauftragten nicht gegeben. Viele Umweltmanager, die dann in Cleaner Production Projekten mitarbeiten, haben einen beschränkten oder gar keinen technischen Hintergrund.

Eine Analyse, die von STENUM 2008 unter den Betrieben, die am Grazer ÖKOPROFIT teilnehmen, durchgeführt wurde, zeigte, dass 24 % der Umweltbeauftragten Facharbeiter sind, 22 % einen Mittelschulabschluss, 22 % einen HTL Abschluss, 10 % einen Universitätsabschluss in Naturwissenschaften, 9 % einen Universitätsabschluss in Betriebswirtschaft, 6 % einen Universitätsabschluss in JUS und 7 % einen technischen Universitätsabschluss haben, aber keiner einen verfahrenstechnischen Hintergrund hat.

Daher haben die Autoren versucht, den Cleaner Production Ansatz für eine breite Zielgruppe mit relativ breitem Ausbildungshintergrund weiterzuentwickeln, damit dieser besonders auch für Anwender ohne verfahrenstechnischen Hintergrund einsetzbar ist. Er sollte Werkzeuge zur Modellierung verwenden, die so nahe wie möglich an der natürlichen Sprache sind, und er sollte Gruppen helfen, über ihr Vorwissen hinaus Ansätze für Verbesserungsmaßnahmen identifizieren zu können.

Dazu wurden Elemente der sogenannten TRIZ-Methode verwendet. TRIZ ist eine russische Methode, die in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt wurde und steht kurz für „Theorie des systematischen Lösens von Erfindungsaufgaben“. TRIZ bietet sehr starke Werkzeuge, um Prozessverbesserungen zu entwickeln, ohne dass man dazu spezielles Wissen über den Prozess benötigt. Besonders die Ansätze des idealen Endergebnisses und der Evolutionsgesetze bieten einen Rahmen, der sehr leicht und effizient zur Identifikation von Verbesserungsmaßnahmen beiträgt.

Der Pionier dieser Entwicklungen war Genrich Altshuller, der nach generellen Prinzipien zur Lösung von Erfindungsaufgaben suchte. Altshuller analysierte eine große Anzahl von russischen Patenten, wie die jeweiligen Entwickler die patentierten Lösungen erreichten. Er beschrieb die folgenden Gesetze der Entwicklung von technischen Systemen:

1. Schrittweise Entwicklung von technischen Systemen: Systeme entwickeln sich in diskreten Schritten
2. Gesetz der Zunahme der Idealität¹: Systeme entwickeln sich in die Richtung von Idealität. Diese wird beschrieben als das Zurverfügungstellen einer technischen Funktion ohne schädliche Funktionen zu verursachen (z. B. Ressourcenverbrauch, etc.).

¹ Idealität ist in TRIZ definiert als die Summe der nützlichen Funktionen gebrochen durch die Summe der schädlichen Funktionen (schädliche Funktionen beinhalten Abfall und Kosten), Funktionen werden strikt aus der Perspektive des Kunden definiert.

3. Verschiedene Entwicklung von Systemelementen: Systemelemente entwickeln sich auf verschiedenen Ebenen
4. Zunahme von Dynamik und Kontrolle: Systeme werden zusehends beweglicher. Die Kontrolle nimmt mit der Entwicklungsstufe zu
5. Zunahme von Komplexität und anschließende Abnahme: Die Komplexität eines Systems steigt und fällt wiederum ab, nachdem ein bestimmter Komplexitätsgrad erreicht worden ist
6. Zunahme der Koordination: Der Rhythmus der verschiedenen Elemente eines technischen Systems wird mehr und mehr koordiniert.
7. Miniaturisierung: Das System und seine Elemente werden zusehends verkleinert
8. Abnahme der menschlichen Interaktion: Menschliche Interaktion mit dem System nimmt mit den Evolutionsstufen ab

Die Autoren haben herausgefunden, dass die acht TRIZ-Prinzipien Ähnlichkeiten und Übereinstimmungen mit den Strategien von vorsorgendem Umweltschutz aufweisen. Die Tabelle 1 vergleicht die Strategien von Cleaner Production mit Evolutionsgesetzen, wie sie von Genrich Altshuller beschrieben wurden (Altshuller, 1998).

Genrich Altshuller hat auch herausgefunden, dass der Erfindungsprozess bedeutet, Widersprüche in einem System zu definieren. Diese Widersprüche verhindern, dass das System entsprechend der Ideallösung funktioniert. Widersprüche können technisch oder physikalisch sein. Technische Widersprüche erscheinen, wenn es widersprüchliche Anforderungen bezüglich zwei verschiedener technischer Parameter gibt (z. B. sollte die Anzeige eines Laptops hell sein und gleichzeitig sollte die Lebensdauer des Akkus lang sein). Physikalische Widersprüche erscheinen, wenn der gleiche Parameter verschiedene Ausprägungen zur gleichen Zeit haben sollte (z. B. sollte eine Kaffeetasse gleichzeitig heiß sein, um den Kaffee warm zu halten, und kalt sein, damit man sie in die Hand nehmen kann). Wenn der zugrunde liegende physikalische Widerspruch identifiziert werden kann, kann er normalerweise gelöst werden, in dem man

- Systemelemente in der Zeit trennt (in dem man Eigenschaften verändert, sodass sie abhängig von der Zeit – verschiedene Ausprägungen annehmen können: den Kaffee zuerst in einer isolierten Kanne warm halten und dann in eine Tasse füllen, bevor er serviert wird)
- Das System räumlich zu trennen (Eigenschaften so zu ändern, dass sie lokal veränderbar sind: z. B. der Kaffeetasse einen Henkel hinzufügen)
- Die Rahmenbedingungen zu trennen (z. B. den Prozess der Kaffeeherstellung auf Löskaffee umzustellen, sodass er bei einer niedrigen Temperatur hergestellt werden kann.)

Eine detaillierte Erläuterung dieser Separationsprinzipien findet man unter (Mann, 2002). Der Prozess der Problemanalyse, die Identifikation der technischen Widersprüche, die Überführung in physikalische Widersprüche und die Auflösung wurde später, mittels des ARIZ genannten Algorithmus, beschrieben (http://www.ideationtriz.com/TRIZ_tutorial_2.htm, last accessed July 2010).

Schüler von Altshuller arbeiteten später daran, diese Evolutionsprinzipien neu zu formulieren, um ihre Anwendung zu erleichtern. Eine leicht anwendbare Version sind die so genannten „Evolutionslinien“ (Mann, 2002).

TRIZ wurde in einer großen Anzahl von Firmen in den letzten 20 Jahren angewendet, um verschiedene Probleme zu lösen (darunter Procter & Gamble, Ford Motor Company, Boeing, Philips Semiconductors, Samsung, LG Electronics). Die Anwendung von TRIZ bei der Entwicklung von Produkten zur Steigerung ihrer Nachhaltigkeit und zur Lösung von ökoeffizienzbezogenen Problemen ist in einigen wenigen Literaturzitate belegt (Hockerts, 1999; Jones, Mann, 2001; Chen, Liu, 2001; Kobayashi, 2006, <http://www.sixsigmatriz.com>, last accessed July 2010). Die Verwendung von TRIZ innerhalb von Cleaner Production ist bisher nicht dokumentiert. TRIZ ist jedoch innerhalb von Six Sigma Projekten sehr effektiv angewendet worden (Ericson, Bertoni, Larsson, 2009).

Tabelle 1: Vergleich der Strategien von Cleaner Production und den Entwicklungsgesetzen

CP strategy → Line of evolution ↓	New raw materials	Changes in operational practises	Internal recycling	External recycling	Technology change	Product redesign
Stepwise evolution of systems	Acquiring Material safety data sheets, evaluating them, using them in supply chain management	Improved organisation of processes, continuous control, full implementation of management system	Separate useful fractions, reuse them, install continuous process	Separate useful fractions, find application, install continuous process	Mechanical instead of physical or chemical (decrease number of transformations)	New materials, new technologies, new manufacturing processes
Increasing ideality	Purer raw materials, with less toxic substances	Narrow process conditions to optimum conditions	Close cycles internally (e. g. cooling water, vapour recompression)	Industrial Ecology	Reduce drag in, improve process conditions, improve mixing, avoid dead zones	Avoid harmful materials, longer life
Different evolution of system elements	New materials with special properties to replace standard ones	Less developed components are typically control of utilities and auxiliary materials	Technology used in sensors, controls, drives	Quality control of waste	Heaters, drives, controls	New materials, new manufacturing processes
Increase in dynamics and control	Automatic control of dosage	Organisation, control, standardisation	Conditional internal recycling (e. g. by conductivity control)	Considering feedback from external companies regarding specifications	Counter current flow, cascaded use, Energy efficient systems	Use of recycled materials
Increase in complexity and decrease again	Automatic dye preparation system, finally based on three elementary colours only	Integrated management systems	Process integrated internal recycling (runners in injection moulding), reactants in chemical processes	waste separation, replaced by application for mixed waste (yarns for carpets, plastic for fuel)	Separate waste	Integration of additional functions
Increase in Coordination	Electronic purchasing, automatic stock control	Improving utilisation of plants, synchronise processes, preparatory action	Reuse waste in same process immediately	Customer specifications for accepting by products	Size/speed of equipment, preliminary action	Design for recycling
Miniaturisation	High tensile steel, thinner film	5S: minimize stock	Minimize hold-up, high pressure cleaning instead of flushing	Continuous supply	Micro reactors, use of staged systems	Integration of electronic elements, sensors
Decrease in human interaction	Preformulation of tailored formulations	Automatic process control	Automatic recycling (coolant, water)	Automatic sorting (e. g. glass, paper)	Automatic control	Automatic functions (calibration)

Dieser Vergleich von Cleaner Production und TRIZ zeigt, dass in der Sprache von TRIZ, Cleaner Production auf dem exakten Verständnis von Prozessbedingungen, der Optimierung von Regelung und der Reduktion menschlicher Interaktion fokussiert, um Prozesse in die Richtung idealer Endergebnisse und idealer Prozesse weiterzuentwickeln. Das ideale Endergebnis lässt sich für Cleaner Production definieren als das Erreichen der nützlichen Funktion eines Prozesses ohne Abfälle und Emissionen bei minimaler Entstehung von Nebenprodukten und minimalem Verbrauch von Wasser und Energie und damit minimalen unnützen Kosten. Diese Formulierung von Cleaner Production unter Benutzung der Definitionen von TRIZ kann dazu führen, das Konzept von Cleaner Production allgemeiner, als durch die üblichen Strategien zur Vermeidung von Abfällen und Emissionen (Ökodesign, Ersatz von Roh- und Hilfsstoffen, Good Housekeeping, Ersatz von Technologien, internes und externes Recycling), darzustellen. Der Optimierungsansatz kann aus dem Konzept des idealen Endergebnisses abgeleitet werden (Abbildung 1).

Der TRIZ Algorithmus verlangt, dass am Beginn eines Problemlösungsprozesses ein Modell der bestehenden Situation entwickelt werden soll, der sie exakt abbildet, indem er die Elemente des Problems und ihre Wechselwirkungen zeigt - gemeinsam mit den Ressourcen, die zur Problemlösung zur Verfügung stehen. Das nennt man Funktionsanalyse. Eine Funktionsanalyse modelliert ein technisches System als ein System aus Komponenten und Funktionen. Eine Funktion ist eine Aktivität, durch die eine Komponente eines Systems eine Eigenschaft einer anderen Komponente verändert (Subjekt ändert die Eigenschaft eines Objektes). Die Definition von Funktionen ist ähnlich der Beschreibung von Aktivitäten in natürlicher Sprache und deswegen einfach verständlich und anwendbar auch für Menschen ohne technischen Hintergrund. Das Funktionsmodell öffnet buchstäblich die Black Box Modelle von Prozessschritten, wie sie normalerweise im Rahmen von Cleaner Production verwendet werden. Diese Art von Modellierung führt rasch zu den grundlegenden Elementen eines Problems, die verändert werden müssen, und hilft oft auch Lösungsansätze zu erkennen.

Auf der Basis des Funktionsmodells wird das ideale Endergebnis entwickelt. Das ideale Endergebnis ist definiert als das Zurverfügungstellen der nützlichen Hauptfunktionen eines Systems ohne jede schädliche Funktion. Diese Analogie nimmt man dann als Ausgangspunkt zur Erarbeitung von praktischen Lösungen.

Wenn das Modell des idealen Endergebnisses nicht direkt in eine praktische Lösung übersetzt werden kann, wird als Lösungsansatz eine rückwärts schreitende Problemlösung empfohlen. Ausgehend von der Frage: „Was hält uns davon ab das ideale Endergebnis zu realisieren?“ werden Zwischenstufen zur Problemlösung und damit verbundene mögliche Lösungen identifiziert. Wenn wiederum keine praktischen Lösungen gefunden werden können, wird der Schritt wiederholt, so lange, bis Lösungen gefunden werden (Jantschgi, Fresner, 2005).

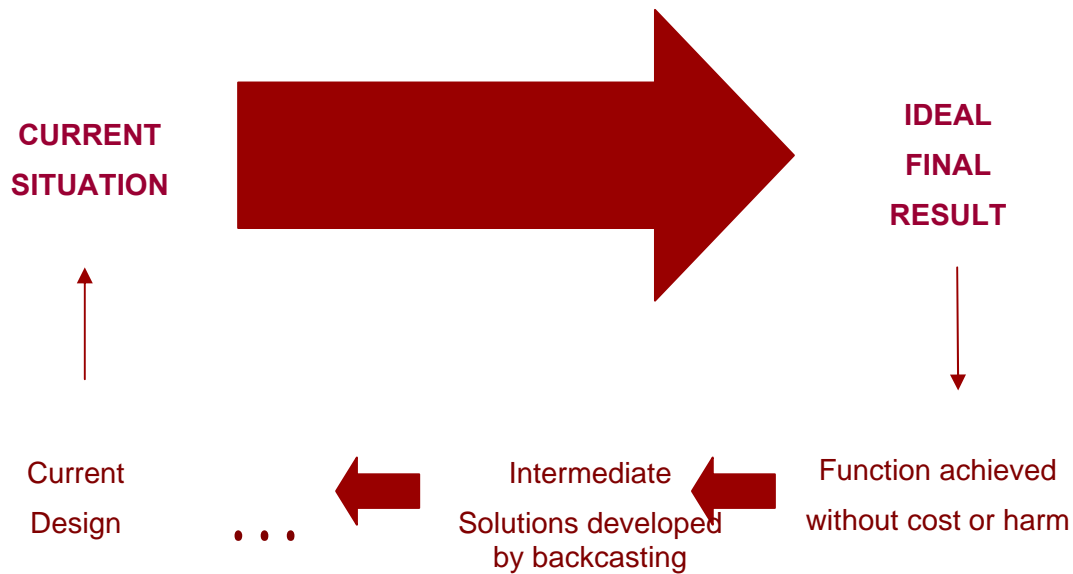


Abbildung 1: Problemlösen durch Anwenden des idealen Endergebnisses und Backcasting

Grawatsch verwendet die folgenden Fragen zur Optimierung, nachdem das ideale Endergebnis beschrieben wurde (Grawatsch, 2005). Grawatsch nennt diesen Prozess „trimming“:

- Können Komponenten oder Funktionen weggelassen werden?
- Kann der Bedarf nach einer Funktion eliminiert werden?
- Können Funktionen von anderen Komponenten oder Komponenten selbst übernommen werden?
- Können nicht gewünschte Funktionen eliminiert werden?
- Können Komponenten durch andere Komponenten ersetzt werden?
- Können Komponenten durch existierende Ressourcen ersetzt werden?
- Kann das System Funktionen selbst übernehmen?
- Können gratis verfügbare Ressourcen benutzt werden?

Diese Fragen wurden aus den Evolutionsgesetzen abgeleitet und können diesen zugeordnet werden (Tabelle 2). Diese Fragen können somit als grundlegende Darstellung des in TRIZ vorhandenen Problemlösungswissens angesehen werden.

Tabelle 2: Vergleich der Fragen des Trimming mit den Evolutionsgesetzen (Fresner, Jantschgi, Birkel, Bärnthaler, Krenn, 2010)

Laws of Evolution	Corresponding optimisation questions
Stepwise evolution of systems	Can the need for a function be eliminated?
Increasing ideality	Can operating components be replaced by existing resources (free, perfect, now)?
Different evolution of system elements	Can operating components be replaced by other ones (more advanced ones)?
Increase in dynamics and control	Can the system take over functions itself?
Increase in complexity and decrease again	Can components or functions be gotten rid of?
Increase of coordination	Can unwanted functions be eliminated by other functions?
Miniaturisation	Can operating components be replaced by other ones (smaller ones)?
Decrease in human interaction	Can unwanted functions be eliminated by other functions (automatic control)?

Beispielsweise würde man dieses Vorgehen zum Trimming auf den Spülprozess beim Galvanisieren folgenderweise anwenden: Das Problem des Prozesses ist der Verbrauch von Spülwasser, um den anhaftenden ausgeschleppten Film von Badchemikalien auf der Oberfläche der Teile zu verdünnen.

Ein kurzer Exkurs: Während der Problemanalyse könnte die Frage auftauchen, ob die Teile überhaupt eine galvanische Oberflächenbehandlung benötigen oder ob der Prozess vermieden werden könnte, indem Alternativen, wie z. B. die Pulverbeschichtung, eingesetzt werden können. Das ist eine berechtigte Frage, die analysiert werden muss. Allerdings wird es außerhalb des Handlungsbereiches von vielen Klein- und Mittelbetrieben sein, die ihre Prozesse von ihren Kunden spezifiziert bekommen. In solchen Fällen können manchmal völlig neue Prozessalternativen angeregt werden, indem diese fundamentale Frage gestellt wird.

Wenn wir annehmen, dass wir galvanische Oberflächenbehandlung benötigen, ist das ideale Endergebnis für den Spülschritt eine Oberfläche frei von schädlichen Verunreinigungen für den nächsten Prozessschritt, erreicht ohne schädliche Funktion (Abwasser, Abfall, Energieverbrauch). Bei der Verbesserung des Prozesses können wir dieses Ziel erreichen, indem wir den anhaftenden Film auf dem Werkstück von Anfang an vermeiden, da dies den Spülungsbedarf und damit auch die Spültechnologie definiert. Das kann z. B. erfolgen, indem die Auftauchzeiten und die Haltezeiten über dem Bad verlängert oder dem Bad Mittel zur Verringerung der Viskosität zum verbesserten Abrinnen beigesetzt werden. Sollten diese Ansätze nicht möglich sein, dann beschäftigt man sich rückwärts planend mit dem optimalen Spülen, z. B. in Form von Kaskaden mit Leitfähigkeitsmessung zur Minimierung des Spülwassers.

Dieser Ansatz aus ZERMEG wurde für ZERMET neu formuliert. Zu Beginn der Anwendung wird ein Team aus Mitarbeitern des Betriebes, in dem Lösungen gesucht werden sollen unter Anleitung eines Beraters (oder zukünftig eines erfahrenen Mitarbeiters) gebildet. Dann werden folgende Begriffe erläutert:

- Fließbild
- Prozessschritt
- Schädliche Funktion (schädliche Nebenwirkung, ökologische Nebenwirkung, verursacht Kosten)
- Funktionsanalyse

Weiters wird folgendermaßen vorgegangen:

1. Beschreibung der Ist-Situation (im Gesamtzusammenhang):

- Auflisten der Prozessschritte in der täglichen betrieblichen Abfolge (in Form eines Fließbildes, Muster zeigen, Nutzung des ZERMET-Excel Tools)
- Angabe des Zieles der Prozessschritte im Sinne der Produktqualität (Funktionsbeschreibung)
- möglichst klare Beschreibung/Zuordnung der Energie- und Stoffströme, Produktionsmengen, Wasserverbrauch, Abfallmengen für jeden Schritt (viel/mittel/wenig): schädliche Funktionen in Tabellenform (z. B. Kühlwasser transportiert Wärme in Kanal; chemische Substanzen aus der Färberei gehen ins Abwasser, Prozess verbraucht Dampf)
- Aufnahme der Hilfsprozesse (Druckluft, Raumheizung, Kühlung, Klimatisierung, Beleuchtung ...)

Ergebnis dieses Schrittes ist ein einfaches tabellarisches Fließbild mit Stoffströmen und eine Tabelle mit Hauptfunktion und schädlichen Funktionen (Emissionen, Abwasser, Abwärme).

2. Beschreibung der Ist-Situation für jeden Prozessschritt mit schädlichen Funktionen:

- Warum findet der Prozessschritt statt?
- Warum gerade an dieser Stelle im Prozessablauf?
- Ist dies Ihrer Meinung nach der bestmögliche Ort für diesen Schritt im Prozessablauf?
- Warum wurde dieser Prozessschritt (Methode, Technologie) ausgewählt?
- Kann man die Reihenfolge der Prozessschritte verändern, um schädliche Funktionen zu minimieren?
- Kann man den Prozessschritt weglassen? Was müsste ich am Vorprozess ändern, damit ich den Prozess weglassen kann?
- Ist dies Ihrer Meinung nach die beste verfügbare Technologie?
- Wer hat die Prozessparameter festgelegt? (Temperatur, Druck,...).
- Basieren die Parameter auf eigenen Erfahrungswerten, Herstellerangaben, Referenzwerten. Wer (Name!) hat diese Parameter festgelegt? (Temperatur, Druck,...)...
- Seit wann gelten diese Parameter?

- Wurden diese Parameter schon einmal verändert?
- Wie müsste man die Parameter oder den Prozess verändern, um die schädlichen Funktionen zu minimieren?

Ergebnis dieses Schrittes ist eine detaillierte Dokumentation der Prozessschritte, ihrer Elemente und deren Zusammenspiels, sowie das Erkennen der Ursache der schädlichen Funktionen (und eventuell erste dokumentierte Optimierungsansätze).

3. Beschreibung des idealen Prozessschrittes (für jeden Prozessschritt mit schädlichen Funktionen) im Hinblick auf ein qualitativ hochwertiges Produkt (kein Abfall, minimaler Energieverbrauch, kein Wasserverbrauch, kein Abwasser, vgl. Carnot für Kreisprozesse):

- Eventuell Ergänzung durch Funktionsanalysen der Prozessschritte
- Kann man Prozessparameter variieren, um dem IFR näher zu kommen?
- Können Funktionen entfallen?
- Können Funktionen von anderen Elementen übernommen werden?
- Können zusätzliche Elemente schädliche Funktionen reduzieren?
- Gibt es organisatorische oder technische Alternativen, die die Schadfunktion vermeiden?
- Was hält uns davon ab, diese Alternativen einzusetzen?
- Kann eine schädliche Funktion aus einem anderen Prozessschritt für diesen Prozessschritt einen Nutzen stiften oder deren schädliche Funktionen reduzieren oder umgekehrt?
- Wird der Prozess an anderer Stelle (mit gleichen oder anderen Parametern) wiederholt? Ist das notwendig, gibt es Alternativen?

Ergebnis dieses Schrittes ist Funktionsanalyse in Form von Fragen und Antworten, sowie die Anwendung des Trimming Ansatzes zur Identifikation von Optimierungsansätzen.

Diese Ansätze werden im Excel-Tool (siehe Anhang) in einer eigenen Auswertung zusammengefasst und durch Handlungsempfehlungen ergänzt, die aus den BREF-Notes abgeleitet wurden. Dies umfasst, wo vorhanden, auch das Verfügungsstellen von Benchmarks (z. B. für den Wasserverbrauch einer textilen Waschmaschine).

3.3. Zielgruppe für ZERMET

Die „klassischen“ Ansätze zur Steigerung der betrieblichen Ressourceneffizienz basieren auf der Anwendung von Stoff- und Energiebilanzen. Durch Anlagen- und Prozessbilanzen werden die Anfallorte für Abfälle und Verluste herausgearbeitet und auf der Basis dieser Stoff- und Energiestromdarstellungen werden Optimierungsansätze gefunden. Theorie und Praxis von Stoff- und Energiebilanzen werden im Rahmen der Ausbildung vorwiegend im Chemieingenieurwesen, in der Chemie und in der Wärmetechnik vermittelt.

Die Mehrzahl der betrieblichen Abfall- oder Umweltbeauftragten verfügt nicht über eine solche Ausbildung und das Know-how zur Anwendung von Stoff- und Energiebilanzen. Dieses Wissen fehlt oft völlig auf der Betriebsleiter-, Meister- oder Betreiberebene.

Die Zielgruppe für ZERMET wurde aus diesen Beobachtungen heraus abgeleitet:

- leitende Mitarbeiter in der Produktion
- Abfall- und Umweltbeauftragte
- Ausbildungsinstitutionen
- Branchenvertreter

ZERMET arbeitet mit einfachen, in natürlicher Sprache formulierten Fragen. Diese sind mit hohem Abstraktionsgrad formuliert, um allgemeingültig zu bleiben. Gleichzeitig halten sie dazu an, alle Elemente einer Anlage oder eines Prozesses systematisch anzusprechen, die Basis für Veränderungen zur Steigerung der Ressourceneffizienz sein können. Im nächsten Schritt werden ihre Funktionen im Prozess hinterfragt. So soll ein rasches Arbeiten mit frühen Erfolgserlebnissen ermöglicht werden.

Daher waren in den verschiedenen Projektphasen verschiedene Personen eingebunden, die einerseits aus verschiedenen Ebenen von Betrieben kommen, andererseits aus Ausbildung und Forschung sowie von Interessensvertretungen.

Mit den beiden Verbreitungseminaren wurden daher einerseits Vertreter aus Betrieben (Abfall- und Umweltbeauftragte), sowie Lehrende und Studierende und Branchenvertreter angesprochen.

3.4. Transfer des ZERMET Ansatzes und Ergebnis

Die Autoren haben den auf TRIZ basierenden Cleaner Production Ansatz in verschiedenen Textilfabriken in Österreich innerhalb des ZERMET Projektes angewendet (Fussenegger, Leichtfried, Baumann, Zentrale Krankenhauswäscherei).

Zu Beginn der Anwendung wurde für jede dieser Firmen ein Fließbild gezeichnet. Diese Fließbilder wurden verwendet, um die Anfallquellen von Abwasser und energetischen Emissionen zu beschreiben. Gemeinsam mit dem Projektteam wurden jeweils Prioritäten festgelegt. Dann wurden detaillierte Analysen für diese prioritären Gebiete durchgeführt. Dazu wurde die ZERMEG-Fragenliste (siehe Anhang) angewendet.

Als besonders interessant für die Anwendung von ZERMET sind Waschprozesse, Färbeprozesse und nasse Ausrüstung. Für diese Prozesse wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Ausarbeitung „ideale Vergleichsprozesse“ mit minimalem Wasser- und Energieverbrauch zur Erreichung des Prozesszieles
- eine Analyse des Status Quo im Vergleich zu den idealen Prozessen, Abweichungsanalyse
- eine Definition von Verbesserungsmaßnahmen zur Reduktion von Wasserverbrauch, Chemikalieneinsatz und Energieverbrauch

Dazu wurde unterstützend jeweils eine Literaturrecherche durchgeführt, in der verschiedene Ansätze zum Einsparen von Wasser, Energie und Chemikalien zusammengestellt wurden, um die Gültigkeit der Maßnahmenvorschläge zu überprüfen und eventuell andere Ideen, die für die teilnehmenden Betriebe interessant sein könnten, zur Verfügung stellen zu können.

Im Folgenden werden die Firmen beschrieben, mit denen im Rahmen des Projektes zusammengearbeitet wurde. In diesen Firmen wurde das Instrumentarium im jeweiligen Entwicklungsstand angewendet.

A) Fussenegger Heimtextilien GesmbH

Aufgrund der Größe des Betriebes wurde beschlossen, das Projekt auf die Vorbehandlung der Baumwolle (Mercerisieren, Waschen, Trocknen) und den Spannrahmen zu fokussieren. Der Betrieb ist ein Lohnveredler, der verschiedene Gewebe von seinen Kunden bekommt.

Der Prozess besteht aus folgenden Elementen:

- **Senge** mit integrierter Entschlichtung. Energie wird in der Senge eingesetzt:
 - Gas direkt für den Abbrand
 - elektrische Energie für Motoren (Transport der Ware) und für Absaugung Abluft über Ventilatoren

An Ressourcen wird vor allem Wasser eingesetzt:

- Kaltwasser zur Aufnahme des Sengestaubs

Folgende Emissionen entstehen:

- Abwasser kalt
- Abluft warm mit Chemikalien behaftet

- **Heißbleiche:** Dabei handelt es sich um eine Breitbandbleiche mit integrierter Waschmaschine
 Folgender Energieeinsatz ist notwendig:
 - Dampf
 - elektrische Energie für die Antriebe und die Absaugung
 Ressourceneinsatz: Wasser
 Folgende Emissionen fallen an:
 - Abwasser warm, genutzt zur Warmwasservorwärmung
 - chemisch belastetes Prozessabwasser
 - warme Abluft

- **Mercerisierung:** Diese besteht aus einem Laugebad
 Energieeinsatz:
 - elektrische Energie für und Absaugung
 Ressourceneinsatz:
 - Wasser warm
 Emissionen:
 - Abwasser genutzt zur Warmwasservorwärmung
 - chemisch belastetes Prozessabwasser
 - warme Abluft mit Chemikalien beladen

- **Tricoflex Waschmaschine**
 Energieeinsatz:
 - elektrische Energie
 - Energie zur Aufheizung des Waschwassers
 Ressourceneinsatz:
 - Wasser warm
 Emissionen:
 - chemisch belastetes Prozessabwasser
 - warme Abluft mit Chemikalien beladen
 - Abluft

- **Spannrahmen und Zylindertrockner**
 Während des Produktionsablaufs wird dreimal getrocknet.

B) Leichtfried Lodenfabrik GmbH & Co KG

Die Firma betreibt eine vollstufige Produktion von gewalkten Wollgeweben. Jährlich werden 150.000 bis 160.000 lfm hergestellt.

Es gibt folgende Prozessschritte:

- **Wolle – Anlieferung**

Die Anlieferung der gewaschenen Wolle-Fasern erfolgt in Big-Bags

- **Färben**

a. Flocke-Färben: Flocke-Färben geschieht im Batch-Betrieb in einem Färbekessel. Das Flottenwasser wird in einem externen Behälter angemischt und dem Kessel zugeführt.

Der Färber verfügt über einen internen Wärmetauscher, welcher sowohl für das Aufheizen, wie auch zum Kühlen verwendet wird.

- Die Beheizung erfolgt mit Dampf
- Das Kühlwasser wird nicht weiterverwendet



Abbildung 2: Wasserwirtschaft am Flockefärbeapparat



Abbildung 3: Kühlwasser-Auslauf

b. Stückfärben: Es sind 2 Stückfärbeapparate im Einsatz:
Der Wasser- und Dampfeinsatz erfolgen wie bei Flockefärben.

- **Hochfrequenztrockner (Mikrowelle)**

Darin wird Wolle auf max. 65 °C erwärmt, was einen Qualitätsvorteil bewirkt.

- **Walken und Waschen**

Es sind zwei kombinierte Wasch- und Walkmaschinen im Einsatz. Die Wassererwärmung erfolgt durch direkte Dampfeinspeisung.



Abbildung 4: Walkmaschinen

- **Carbonisieren**

Erfolgt durch Einweichen in kalte Schwefelsäure, und „Brennen“ im Spannrahmen. Dabei verbrennt die Schwefelsäure gemeinsam mit der noch enthaltenen Zellulose.

Danach wird

- die überschüssige Schwefelsäure wieder heraus gewaschen, Dauer ca. 30 min
- das Gewebe getrocknet

- **Spannrahmen**

Dampfbeheizt, zum Brennen und Trocknen. Die Abluftventilatoren sind frequenzgesteuert. Am bestehenden Spannrahmen gibt es keine Wärmerückgewinnung. Als abschließende Ausrüstungsschritte werden folgende Prozesse durchlaufen: Bedampfung, Scheren, Bügeln

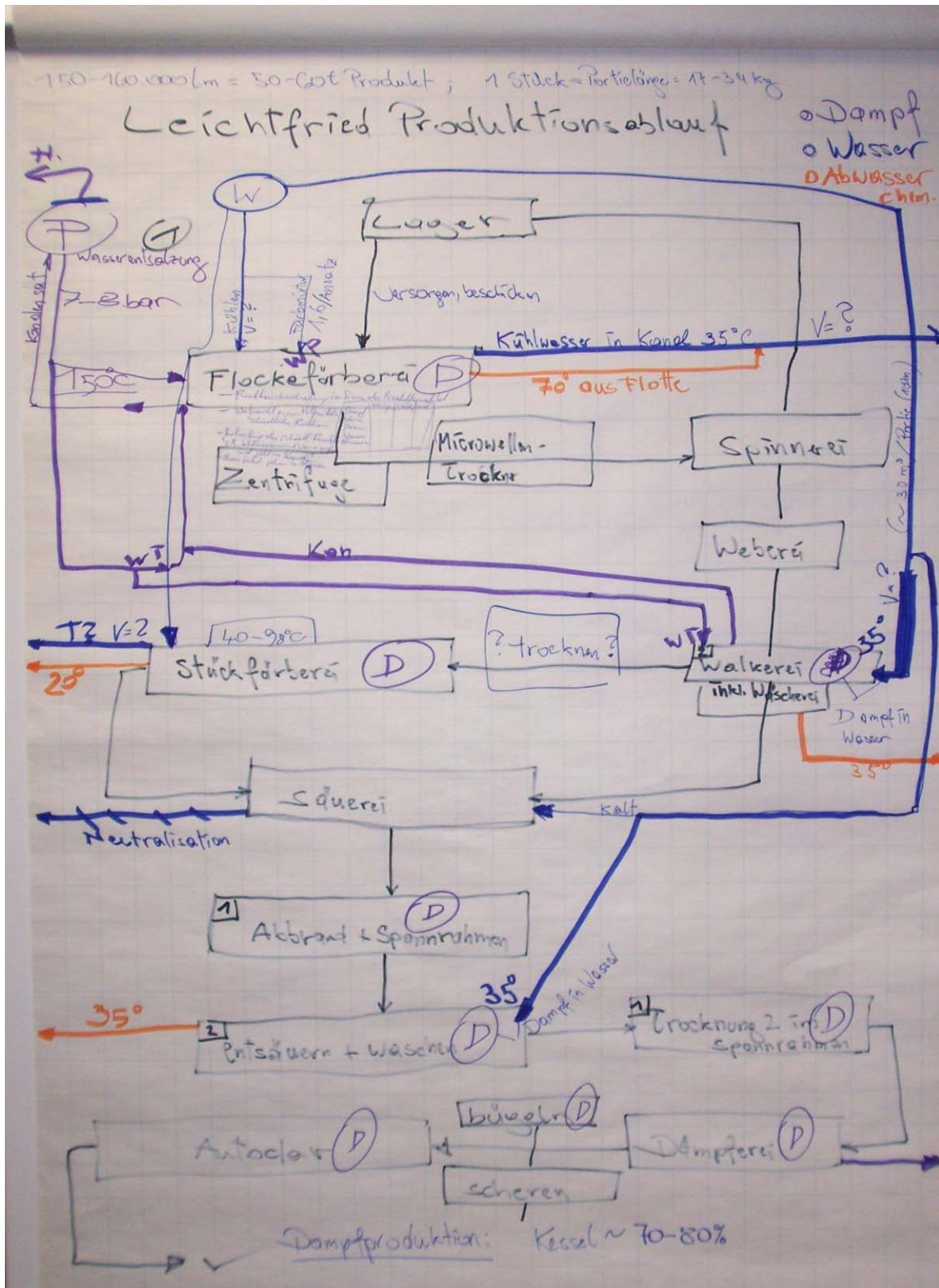


Abbildung 5: Fließbild des Produktionsablaufes, entwickelt zur Prozessanalyse

C) Brüder Baumann Ges.m.b.H.

Die Firma Baumann ist ein vollstufiger Textilbetrieb, der hochwertige Dekorstoffe (Vorhangstoffe, Möbelstoffe) erzeugt. Die Prozessschritte umfassen demgemäß:

- Anlieferung der Garne
- Färben
- Weben
- Für einen Teil der Gewebe: Drucken und Brennen
- Waschen in zwei Waschmaschinen
- Ausrüsten
- Trocknen im Spannrahmen

D) Zentrale Krankenhauswäscherei Graz

Hier wurde der Fragenbogen im Bereich der Kesselanlage und für die Weichwasseraufbereitung durchgegangen.

Bei den produzierenden Betrieben waren die Waschprozesse und der Spannrahmen die prioritären Prozesse (aus Sicht des Betriebes). Besonders der Energie- und Wasserbedarf wurden als wesentliche Bereiche für eine solche Analyse angesehen.

Eine typische Analyse des Spannrahmens wird in den folgenden Absätzen beschrieben:

Ein Spannrahmen wird üblicherweise in Textilbetrieben verwendet, um die Gewebe zu trocknen und gleichzeitig die gewünschte orthogonale Lage der Fäden im Gewebe nach dem Waschen und für die nasse Ausrüstung zu fixieren. In der nassen Ausrüstung werden wässrige Lösungen von Harzen und Chemikalien auf das Gewebe aufgebracht, die anschließend durch Trocknen fixiert werden.

Ein Spannrahmen besteht aus zwei parallelen Ketten mit Nadeln, die das Gewebe halten. Diese Nadelreihen leiten das Gewebe durch den Trockner, der bis zu 50 m lang sein kann und mit Gas, Thermoöl oder Dampf auf die Prozesstemperaturen zwischen 80 und 150 °C beheizt wird. Luft wird aus dem Spannrahmen abgezogen, um Feuchtigkeit abzuführen (und zusätzlich Chemikalien, die aus dem Gewebe abdampfen).

Die Abbildung 6 zeigt die Funktionsanalyse für einen Spannrahmen. Die punktierte Linie zeigt die nützliche Funktion, schwarze Linien geben schädliche Funktionen an. Abfall oder Elemente des Übersystems sind in dieser Abbildung nicht berücksichtigt.

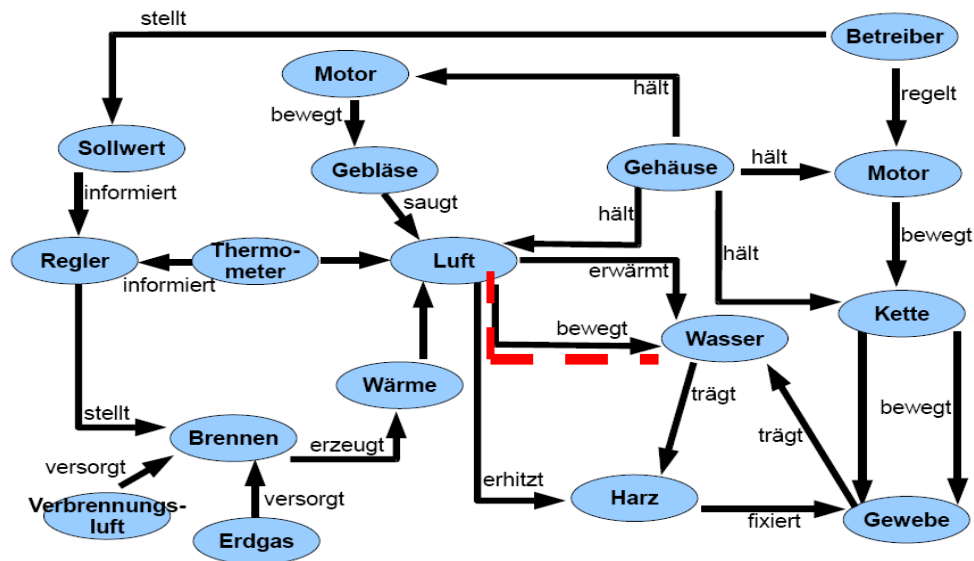


Abbildung 6: Funktionsanalyse des Trockenprozesses in einem Spanrahmen

Aus der Analyse der beiden Anlagen bei Fussenegger, Leichtfried und Baumann wurden folgende Optimierungsschritte identifiziert:

Die Funktionsanalyse zeigte, dass im Spanrahmen Luft erhitzt wird, um Wärme auf das Wasser zu übertragen, das im Gewebe enthalten ist. Zur gleichen Zeit wird diese Luft verwendet, um die Feuchtigkeit abzutransportieren. Deswegen wird ein kontinuierlicher Luftstrom über einen Ventilator abgesaugt. Die ideale Lösung wäre ein trockenes Gewebe ohne jede schädliche Funktion (teurer Einsatz von Energie, Anfall von Abwärme in der Abluft). Das Ersetzen des nassen Prozesses war aufgrund der spezifischen Anforderungen der Kunden außerhalb der Möglichkeiten der beiden Betriebe.

Die nächste Annäherung an das ideale Endergebnis könnte durch das Entfernen des Wassers durch einen mechanischen Prozess (Abquetschen des Gewebes) erfolgen. Das ist in den beiden betrachteten Fällen aufgrund der Art der Faser nicht möglich. Was wäre die nächste bessere Lösung?

Der Ersatz des Lufttrockenmechanismus durch Hochfrequenzmikrowellentrocknung würde den Bedarf an Luft für die Wärmeübertragung eliminieren und die Funktion der Luft auf den Transport der Feuchtigkeit reduzieren. Dieser Ansatz wurde bei Leichtfried schon zur Trocknung spezifischer Fasern angewendet. Für die anderen Anwendungen kam diese Idee aufgrund der hohen Investitionssumme nicht in Frage. Was wäre die nächste bessere Lösung?

In zwei der betrachteten Fällen lief der Antriebsmotor für die Gebläse bei konstanter Geschwindigkeit, egal ob in den Spannrahmen schwere Gewebe mit 200 g/m² Wasser oder leichte mit weniger als 70 g/m² getrocknet wurden. Dies wurde in einer Diskussion des Teams während der Entwicklung des Funktionsmodells herausgearbeitet. Das Messen der Feuchtigkeit im Abgas und die entsprechende Regelung des Luftstroms können den Wärmeeinsatz um 30 % reduzieren. Grenzen bestehen durch die Kontamination des Abgases z. B. durch Säure (bei der Firma Leichtfried).

Die Abbildung 7 zeigt die Funktionsanalyse für einen Waschprozess, wie sie ausgehend von den Antworten auf die Fragen der Fragenliste beispielhaft für die Firma Leichtfried entwickelt wurde. Diese Analysen wurden mit den Teamleitern im Betrieb durchgeführt und besprochen. Die punktierte Linie zeigt wieder die nützliche Funktion, die schwarze Linie die schädlichen Funktionen. Abfälle oder Elemente des Übersystems sind nicht berücksichtigt.

Vor dem Weben wird Schlichte auf das Garn aufgebracht, um es zu stärken und Reibung zu vermindern. Nach dem Weben muss diese Schlichte aus dem Gewebe ausgewaschen werden, weil sie schädlich für den nachfolgenden nassen Ausrüstungsprozess wäre. Beim Waschprozess werden Wasser und oberflächenaktive Stoffe aufgebracht, um die Schlichte zu lösen. Spülwasser wird verwendet, um die gelöste Schlichte abzuspülen, bis die Konzentration der Schlichte im Gewebe unter der maximal zulässigen Konzentration ist. Dazu kontrolliert der Anlagenbetreiber händisch den Wasserstrom.

Während der Diskussion stellte sich in allen Fällen heraus, dass der Wasserstrom für ein „worst case“ Szenario zur Behandlung von sehr schweren Stoffen mit einer hohen Verschmutzung eingestellt worden war. Die meisten tatsächlich behandelten Gewebe benötigten weniger Wasser.

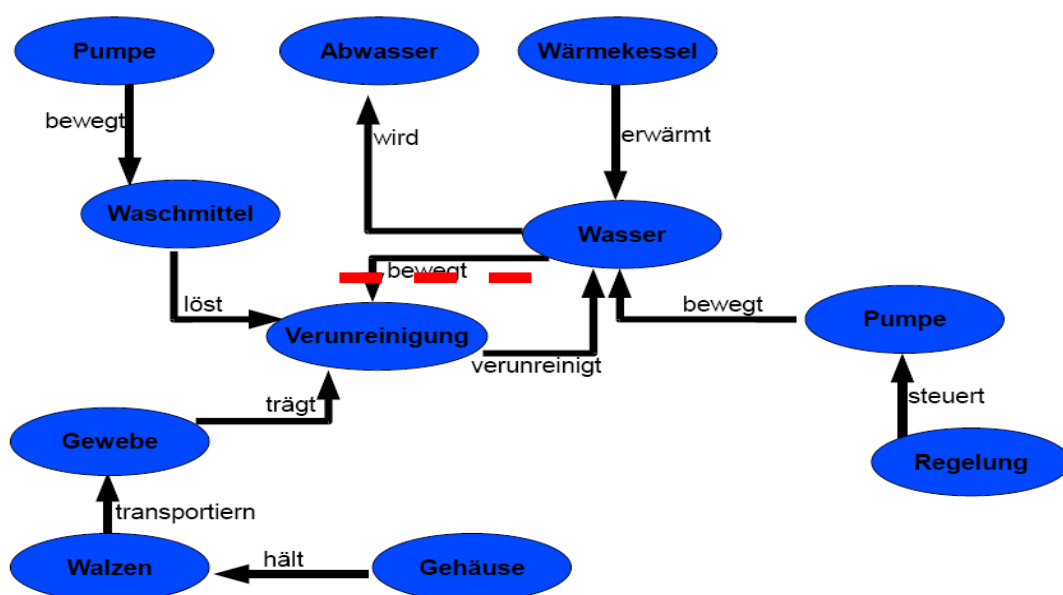


Abbildung 7: Funktionsanalyse des Waschprozesses

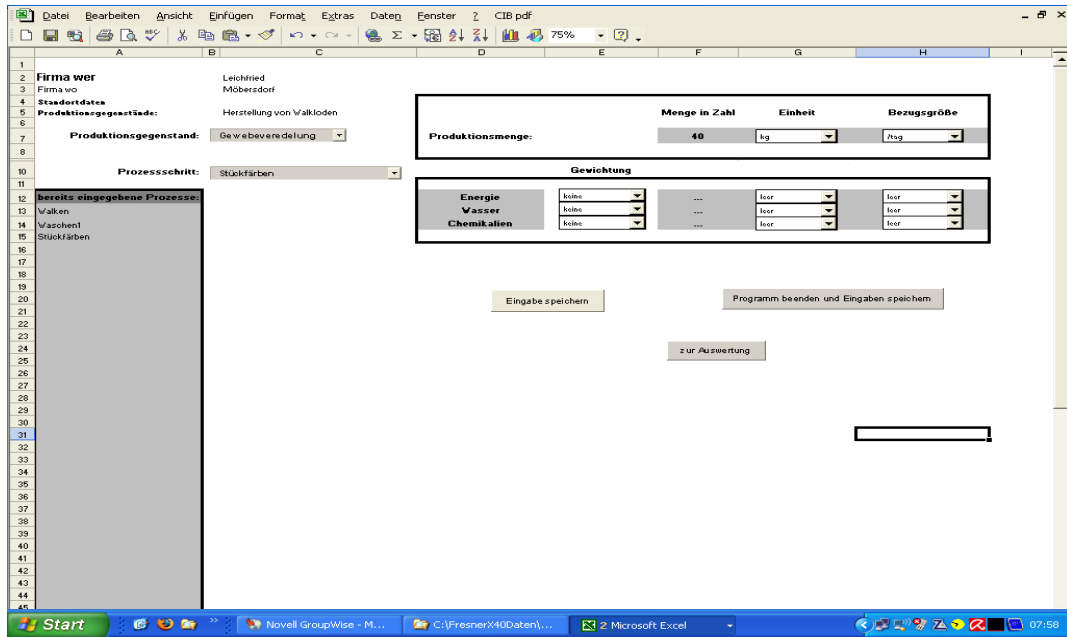


Abbildung 8: Einstiegsmaske im Exceltool zum Anlegen der Prozessschritte (exemplarisch ausgefüllt für die Fallstudie der Firma Leichtfried)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Prozessname	Energie	Wasser	Chemikalien	zur genauen Auswertung mit x kennzeichnen		Detailanalyse		
1									
2	Weben	x							
3	Waschen	x	x		x				
4	Mercerisieren	x		x	x				
5	Bleichen			x					
6	Färben	x	x	x	x				
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									

Abbildung 9: Vorläufige Bewertung der Auswirkungen der Prozesse (exemplarisch für die Firma Fussenegger)

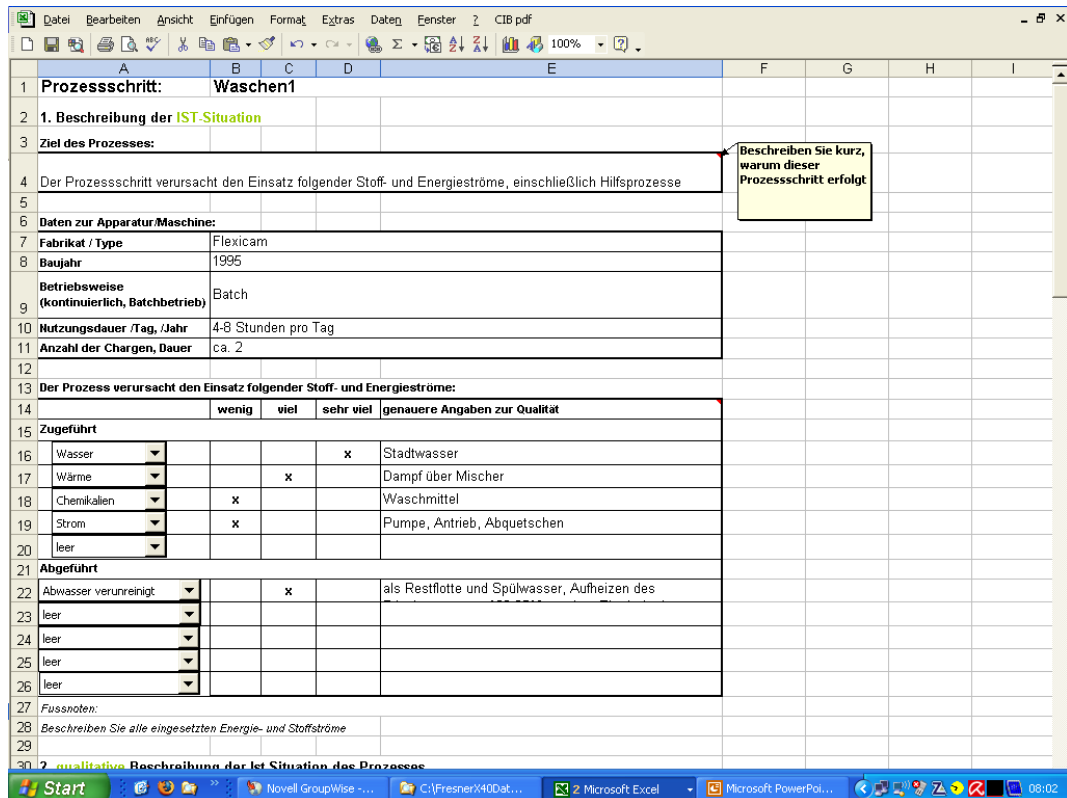


Abbildung 10: Maske im Exceltool zum Beschreiben der Prozessschritte und der schädlichen Funktionen

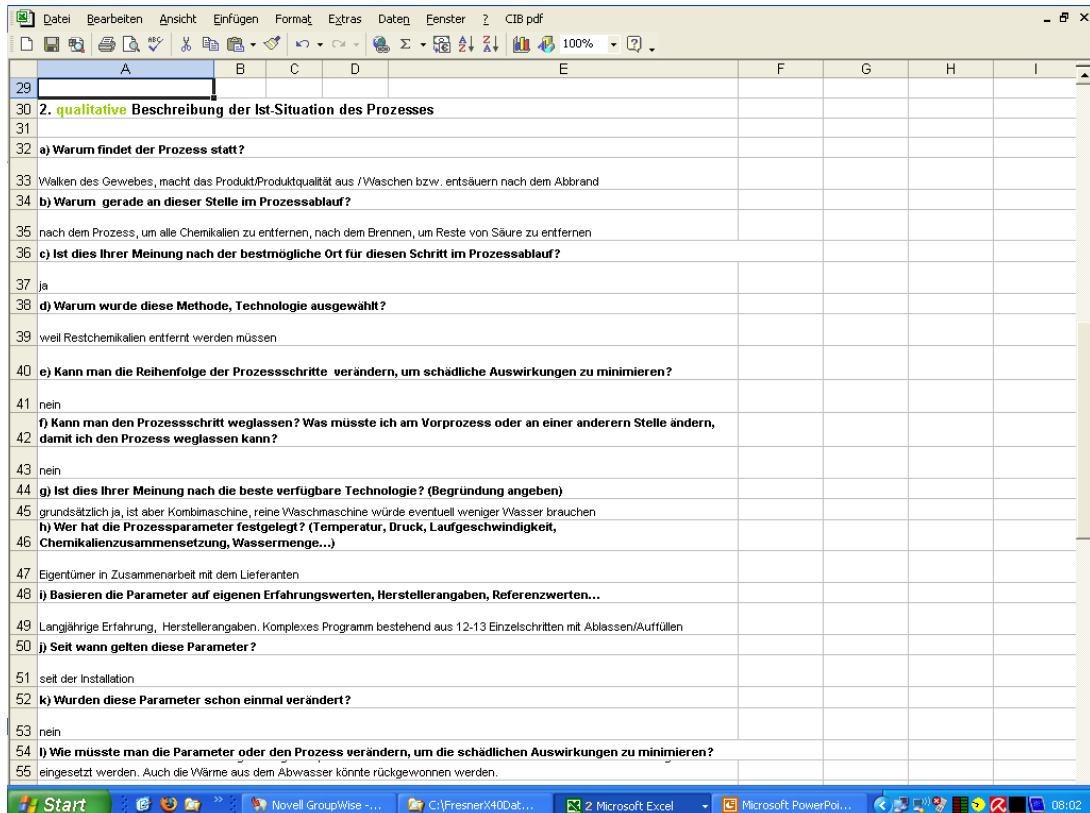


Abbildung 11: Fragenliste zur Problemanalyse

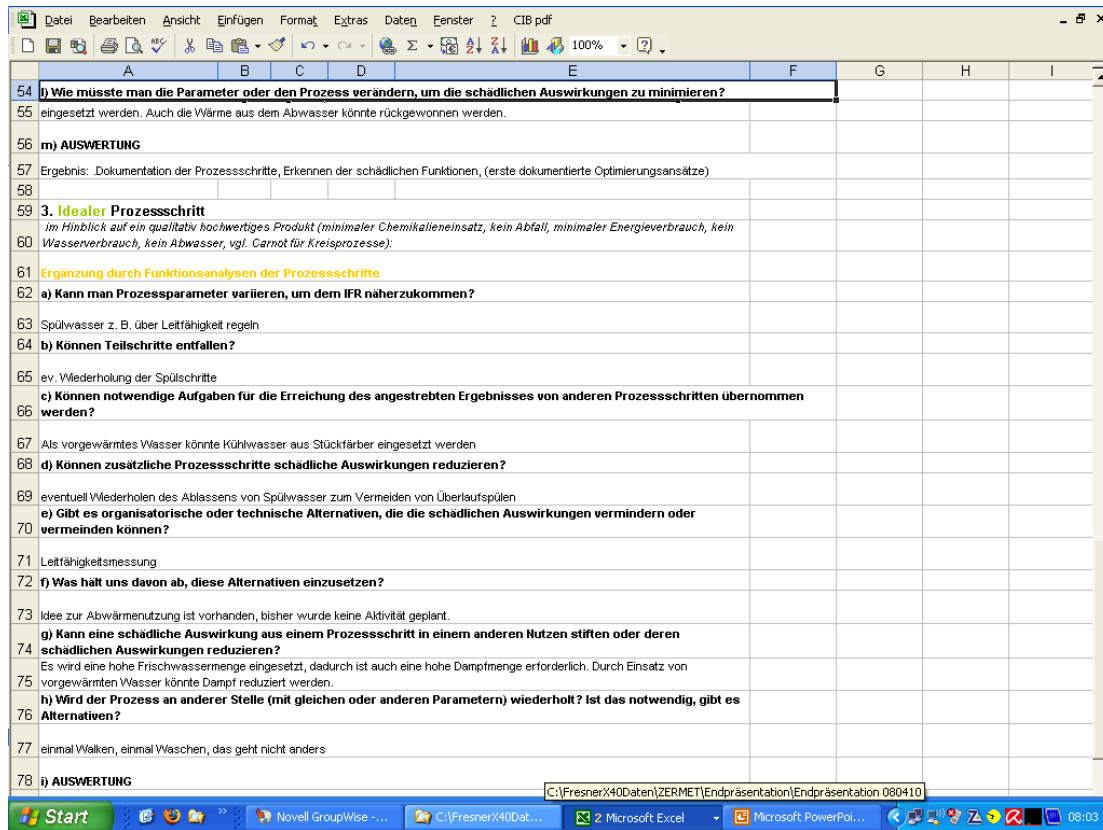


Abbildung 12: Fragenliste zur Ableitung des idealen Endergebnisses

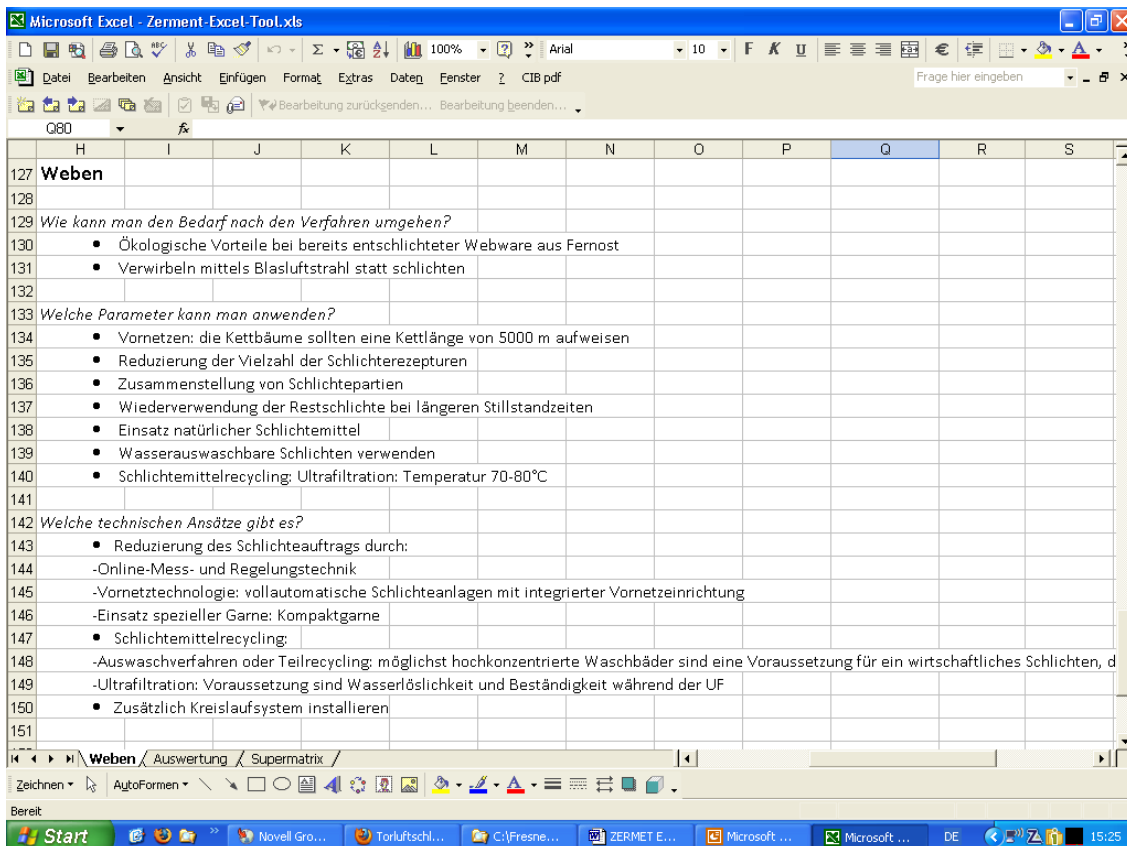


Abbildung 13: Auswertungsblatt mit Optimierungsansätzen

In der Lohnveredelung konnte der Einsatz von Schlichte nicht geändert werden, da er beim Kunden erfolgt. Die Firma wollte auch die zum Waschen eingesetzten Chemikalien nicht ändern.

Der Ausgangspunkt für Verbesserungsmaßnahmen war die Regelung von Wasser. Während der Durchführung der Funktionsanalyse wurde entdeckt, dass in der Anlage ursprünglich eine Leitfähigkeitsmessung eingebaut worden war. Aufgrund von technischen Problemen war diese aber schon vor Jahren außer Betrieb genommen worden. Eine kurze Machbarkeitsanalyse zeigte, dass ihre Reparatur dazu führen würde, ein Drittel des Wassers einzusparen (Amortisationszeit von drei Monaten).

Im Iodenerzeugenden Betrieb konnte gezeigt werden, dass ein wesentlicher Anteil des Abwassers aus unbelastetem, erwärmtem Kühlwasser entsteht, das im Waschprozess als Waschwasser eingesetzt werden kann. Dadurch kann der Wasserverbrauch um über ein Drittel reduziert werden, wodurch jährlich bis zu 20.000 m³ Wasser eingespart werden können. Die entsprechende Umsetzung wurde eingeleitet.

Das Nachrüsten einer Wärmerückgewinnung am bestehenden Spannrahmen wurde angeregt. Entsprechende Wärmetauscher wurden identifiziert und angefragt. Aufgrund der hohen Kosten der Nachrüstung wurde dieser Ansatz aber nicht weiter verfolgt.

Weitere Maßnahmen, die aus der Analyse mit dem Fragebogen abgeleitet wurden, waren:

- Abdeckung von heißen Bädern
- Einsatz eines installierten Ventils zur Unterbrechung der Wasserzufuhr bei Maschinenstop
- Kaskadierter Betrieb von Waschabteilen einer Waschmaschine
- Automatische Chemikaliendosierung
- Schleudern von Gewebe zur Entfernung von Wasser vor dem Trocknen im Spannrahmen
- Entfall des Trockenschrittes bei direkter Weiterverarbeitung der Gewebe in der Ausrüstung
- Nutzen von Füllkörpern zur Reduktion des Totvolumens in Färbemaschinen
- Nutzen der kleinstmöglichen Färbemaschine in Abhängigkeit der Partiegröße
- Reduktion des Dampfdruckes im Kessel
- Zonenweises Abschalten des Druckluftnetzes, wenn in verschiedenen Zonen kein Bedarf an Druckluft besteht

3.5. Öffentlichkeitsarbeit für ZERMET

Zur Kommunikation über das Projekt wurde eine Homepage eingerichtet (zermet.stenum.at). Die Abbildung 14 zeigt die Startseite.



Abbildung 14: ZERMET Homepage

Die Inhalte der Homepage umfassen zurzeit:

- die Vorstellung des Projektes
- die Vorstellung des ZERMET Ansatzes
- die Vorstellung des Projektteams
- Einladung zur Durchführung weiterer ZERMET Fallstudien
- Ankündigung von Terminen
- Hintergrundwissen über potentielle Lösungsansätze zur Optimierung von Textilbetrieben zur weitestgehenden Vermeidung von Abwasser und zur Reduktion des Energieeinsatzes
- Einloggen für registrierte Benutzer

Registrierte Benutzer können interne Informationen des Projektteams einsehen und Files downloaden (z. B. Präsentationen, Paper, Exceltool). Ein Zugang ist für Interessierte freigeschaltet (Benutzername „testuser“, Passwort „testuser“).

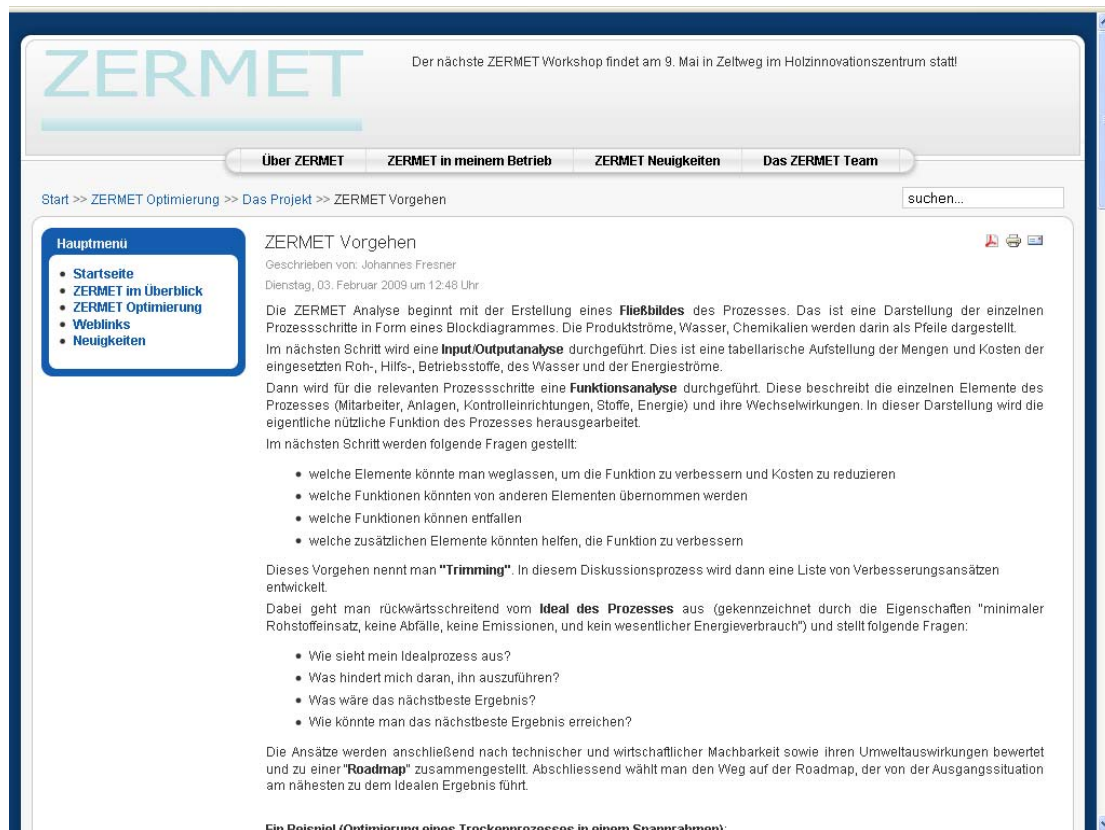


Abbildung 15: Vorstellung des ZERMET Ansatzes auf zermet.stenum.at

Eine Kooperation zur Verbreitung der Projektergebnisse wurde mit dem Textilinstitut in Dornbirn (Außenstelle der Universität Innsbruck) eingegangen.

Es wurden zwei Seminare durchgeführt:

- Ein Seminar mit dem Österreichischen Textilforschungsinstitut in Vorarlberg (09.03.2010; Teilnehmer aus dem Lehrkörper der Textilforschungsinstituts, Studenten, Industriellenvereinigung Vorarlberg)
- Ein Seminar mit sechs Betrieben in der Obersteiermark (15.03.2010 im AiZ Zeltweg) (Unternehmerzentrum Zeltweg): Teilnehmer von AiZ, ATP Antriebstechnik, Alko-Kober, Austria Email, Schulungszentrum Fohnsdorf, Wuppermann Präzisionsstahlrohre)

Beide Seminare dauerten 3 Stunden und hatten folgendes Programm:

- Begrüßung der Teilnehmer
- Vorstellung von ZERMET (Folien im Anhang)
- Vorstellung der Fragenliste, der Homepage und des ZERMET-Tools
- Diskussion über Eindrücke, Anwendungsbereiche und zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten



Abbildung 16: Teilnehmer des Seminars am Textilforschungsinstitut in Dornbirn am 09.03.2010



Abbildung 17: Präsentation der Projektergebnisse

Das Feedback der Teilnehmer war durchwegs positiv. Einige Zitate von Teilnehmern aus der Diskussion:

„Das kann ja bei jedem Betrieb und in jeder Branche verwendet werden“

„Sehr gut und einfach, um Innovationsansätze herauszuschälen“

„Sehr gut für den Einsatz in einer Umweltprüfung“

„Die Liste enthält einige sehr wesentliche Fragen, die einem die Augen öffnen, wo man sonst schon betriebsblind ist“.

„Der Ansatz sollte unbedingt weiter bekannt gemacht werden“.

Bei folgenden Gelegenheiten wurde ZERMET der Öffentlichkeit vorgestellt:

- Der UNIDO (Cleaner Production Division) bei einem Meeting am 15.09.2009 in Wien (Start des RE-Netzwerkes)
- Dem UNEP PRE-SME Team bei einem Meeting vom 19. bis 24.09.2009 in Addis Abeba
- Auf der Internationalen Einladungskonferenz "The Future of Sustainable Products and Services – SPS" am 28. und 29.09.2009 in Essen auf Zeche-Zollverein (<http://www.sustainable-products-conference.com/results/reports.html>), veranstaltet von Effizienzagentur Nordrhein-Westfalen, GTZ und dem Wuppertal Institut.

Ein Paper über ZERMET wurde im Jänner 2010 im Journal of Cleaner Production mit dem Titel „The Theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects“ abgedruckt.

Zwei weitere Paper wurden eingereicht (Melliand-Textilberichte und Zeitschrift für den wirtschaftliche Fabrikbetrieb).

4. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Analyse der Strategien von Cleaner Production und ihr Vergleich mit den Evolutionsgesetzen von TRIZ hat eine sehr brauchbare neue Interpretation der praktischen Umsetzung von Strategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Produktionsverfahren hervorgebracht. Das Resultat ist auch gut für die Vermittlung dieser Strategien anwendbar.

Ein effektiver Ansatz zur Minimierung von Abfällen und Emissionen aus der industriellen Produktion kann in den folgenden Schritten erfolgen:

1. Erstellung eines Fließbildes der Stoffströme, Hilfsmaterialien, Wasser und Energie, das die Abfallströme, den Abfallanfall, Energieverbrauch und Emissionen aufzeigt, inklusive der unterstützenden Prozesse (wie Dampferzeugung, Druckluftherzeugung und Wasseraufbereitung).
2. Durchführung einer Funktionsanalyse in den Prozessschritten, wo Abfälle und Emissionen entstehen, anhand der im Rahmen dieser Arbeit definierten Leitfragen
3. Definition der idealen Prozesse in diesen Schritten, die Anwendung von Trimming und die Herleitung von gangbaren Lösungen ausgehend vom Idealprozess durch
 - die Auswahl von idealen Rohstoffen (Luft, Wasser, erneuerbare Rohstoffe)
 - verbesserte Prozesskontrolle (Dokumentation von Prozesskennzahlen, Einhalten der optimalen Prozessbedingungen)
 - Reduktion menschlicher Interaktion durch die Identifikation von Möglichkeiten zur automatischen Kontrolle
 - Verbesserung der Koordination des Produktionsprozesses mit externen Anforderungen (auch unter Berücksichtigung von Recycling und der möglichen Änderung von Rahmenbedingungen des Prozesses)
 - die Suche nach alternativen Technologien, die den Prinzipien der Reduktion der Anzahl von Umwandlungen gehorchen, die Gegenstromverfahren und mehrstufige Prozesse nutzen)
4. Sammeln von Daten über Stoff- und Energieflüsse und den finanziellen Wert von Rohstoffen, Energie und Abfall als Basis der Machbarkeitsanalyse der Optionen, Durchführung einer Machbarkeitsanalyse

Dieser Ansatz nimmt das ideale Endergebnis als Ausgangspunkt für die Optimierung. Diese Vision kann als langfristiges Ziel dienen, um die Entscheidungen über mögliche Optionen auf die optimalen - unter Berücksichtigung des Gesamtbildes des idealen Endergebnisses - zu fokussieren.

Da die Fragen vorwiegend qualitativ formuliert sind und ihre Beantwortung weniger Daten als konventionelle Ansätze benötigt, kann er offenbar leichter angewendet werden, benötigt weniger Zeit zur Bearbeitung als die üblicherweise angewendeten Stoff- und Energiebilanzen zur Anwendung von Cleaner Production. Außerdem wird weniger detailliertes Expertenwissen zur Identifikation von Optionen benötigt.

Der auf TRIZ basierende Ansatz ist ein wertvolles Werkzeug, um Gruppenarbeit zu moderieren und Optionen zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu entwickeln. Er funktioniert auch mit Team-Mitgliedern mit einem geringen spezifischen technologischen Hintergrund, er benötigt keine enzyklopädische Kenntnis der sektorspezifischen Technologien. Er stellt einen systematischen, semantischen Ansatz dar, um einfache Modelle für Projektschritte zu entwickeln, die die Ursachen von Prozesseffizienzen aufzeigen. Der Ansatz erlaubt auch den Problemlösungsraum systematisch, über die Fachdisziplinen der Team-Mitglieder hinaus, zu erweitern.

Der Ansatz, Rechenmodelle zur Beschreibung des idealen Endergebnisses für einzelne textile Verfahrensgrundoperationen einzubinden, wurde nach mehreren Versuchen verworfen² und durch die Einbindung von (allgemeinen) Benchmarks aus den BREF-Notes ersetzt. Damit sind Zahlenvergleiche allerdings vorerst nur für vorhandene Benchmarks möglich. Die vorhandenen Benchmarks sind in das Excel-Tool eingebunden.

Zur Zeit arbeitet ein Teil des Projektteams an einem Toolkit für UNEP, das eine breite Basis an Benchmarks für verschiedene Sektoren aus verschiedenen Quellen zusammenfasst und verfügbar macht. Es ist geplant, relevante Benchmarks aus diesem Toolkit, sobald sie verfügbar sind, in das ZERMET Excel-Tool einzubinden. Aufgrund der relativ einfachen Excel-Makro-Programmierung des Tools wird dies ohne großen Aufwand möglich sein.

Der Ansatz lässt sich einfach in Projektgruppen erklären, weil er mit konkreten Funktionen ansetzt, die zum Ausgangszeitpunkt nicht best möglich gelöst sind. Er verwendet eine einfache gewöhnliche Sprache.

Der Ansatz wurde bei den in den Fallstudien involvierten Betrieben als sehr hilfreich, besonders für den Überblick, universell anwendbar und zielführend bewertet. Alle Betriebe können sich vorstellen, mit der Fragenliste weiterzuarbeiten und sie im Rahmen interner Schulungen zur Bewusstseinsbildung und zur Identifikation von Verbesserungspotential einzusetzen. Das Tool kann damit einen wichtigen Beitrag in der frühen Innovationsphase, in der es um die Suche nach brauchbaren Lösungsansätzen geht, leisten. Auch als brauchbare Ergänzung im Rahmen der Umweltprüfung eines Umweltmanagementsystems wurde das Tool eingeschätzt.

² Kohla et al. haben 2008 in dem Buch „Effizienzsteigerung in der Textilindustrie“ allgemein anwendbare Berechnungsmodelle für Waschen von textilen Flächegebilden, Waschen nach der Reaktivfärbung, Berechnung der Schwermetallkonzentrationen aus Färbeflotten, Berechnung von warenbezogenen Emissionsfaktoren, Energieeinsatz am Spannrahmen, Berechnung eines Wärmetauschers, Durchführung einer Amortisationsrechnung für einen Luft/Luft-Wärmetauscher zusammengestellt. Diese Modelle sind bei intensiverer Beschäftigung mit Optimierungsfragen an diesen Prozessen gut nutzbar, erfordern jedoch sehr detaillierte Dateneingaben für den einzelnen Prozessschritt (Konfiguration, Wasserverbrauch, Energieverbrauch, Warengewichte, Konzentrationen von Chemikalien). Mit diesen oder vergleichbaren mathematischen Bilanzmodellen sind exaktere Berechnungen der verschiedenen Prozesse möglich: Sie müssen jedoch apparatespezifisch durchgeführt werden, erfordern eine detaillierte Datenbasis zu den Stoff- und Energieströmen an den einzelnen Apparaten, die in der Praxis ohne detaillierte Messkampagne nicht rasch verfügbar ist und deren Schaffung den Prozess verzögert und rasch den Fokus auf Messungen, Produktionsprogramme und die Diskussion der Aussagekräftigkeit von Einzelmessungen verschiebt, was aus Sicht der Prozessdynamik unerwünscht ist.

Der Verzicht auf den vordergründigen zentralen Einsatz von Bilanzmodellen oder grafischen Ansätzen scheint die Akzeptanz des Ansatzes zu erhöhen. Stoff- und Energiebilanzen und grafische Analysetools scheinen gut geeignet zur Vor- und Nachbereitung durch den Gruppenmoderator und zur detaillierten Untersuchung von ausgewählten Ideen außerhalb der Arbeit mit dem betrieblichen Projektteam.

Das Projektteam wird den Ball aufnehmen und ähnliche Listen für andere Branchen erstellen. Auf dieser Basis soll ein kommerzielles Tool mit entsprechend weiterentwickelter grafischer Gestaltung entstehen, das z. B. zusammen mit einer erläuternden Broschüre vertrieben wird.

Das Textilinstitut plant, den Ansatz bei Diplomarbeiten zu verwenden. Eine Präsentation in den entsprechenden Verbänden der Textilindustrie, vor allem in Vorarlberg, ist geplant.

Gleichzeitig ist geplant, das Tool einem breiteren Forum an Beratern vorzustellen. Ein entsprechendes Angebot an das Umweltministerium blieb allerdings bis heute unbeantwortet.

Der Ansatz wurde bei UNEP und UNIDO vorgestellt und ist auf Interesse gestoßen. Auf der internationalen Einladungskonferenz „Sustainable Products and Services – SPS“ am 28. und 29.09.2009 wurde er in Essen mit einem breiten Publikum diskutiert.

Die Publikation im Journal of Cleaner Production befindet sich im Anhang. Zwei weitere Publikationen wurden eingereicht (Melliand Textilberichte, Zeitschrift für den wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (Fraunhofer Gesellschaft)).

5. Detailangaben im Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Die österreichische Textilindustrie erlebte in den 70er Jahren einen tief greifenden Strukturwandel: das Produktionsniveau wurde nicht wesentlich erweitert, aber die Beschäftigung nahm im gleichen Zeitraum um mehr als 50 % ab. Die Zahl der Betriebe sank von 718 (1972) auf ca. 300 (2000); die Produktionsmenge blieb langfristig gleich. Der Produktionswert betrug 1994 2 Milliarden Euro, das sind 4 % der gesamten Industrieproduktion. Mit 24.000 Beschäftigten liegt die Textilindustrie an 9. Stelle von 22 Industriezweigen und an 3. Stelle als Arbeitgeber für Frauen.

Die Textilveredelungsindustrie ist ein besonders kapitalintensiver selbständiger Wirtschaftszweig im Rahmen der Textilindustrie. Gleichzeitig sind die rechtlichen Anforderungen an Emissionen sehr hoch. Der Wasser- und Energieeinsatz ist in dieser Branche sehr hoch. Für ein Kilogramm Fasern werden bis zu 1 kg Chemikalien eingesetzt. Der Großteil dieser Chemikalien gelangt ins Abwasser. Da ZERMET den Chemikalien-, Wasser- und Energieeinsatz senken wird, setzt das Projekt in einer relevanten Branche an und kann einem unter Druck stehenden Sektor helfen, systematisch relevante Probleme zu lösen.

Abfall: Ressourcenschonung und Materialeffizienz

Durch die Reduktion des Chemikalieneinsatzes, die Wiedergewinnung von Wertstoffen und die verbesserte Abwasserbehandlung können deutliche Reduktionen an gefährlichem und nicht gefährlichem Abfall erreicht werden.

Wasser: Wasserver- und -entsorgung

Besonders bei der Wasserversorgung können teilweise sehr große Einsparungen erzielt werden. Die maximal erreichbare Reduktion liegt zwischen 35 % (Waschmaschine Fussenegger) und mehr als 50 % (Walke und Färben bei Leichtfried)

Luft: Reinhaltung, Emissionsverringerungen oder -vermeidung

Die Optimierung von Absauganlagen an den Spannrahmen kann zu deutlichen Emissionsreduktionen führen.

Energie – Erhöhung der Energieeffizienz:

Teilweise kann die Energieeffizienz der Anlagen deutlich gesteigert werden: die erreichbaren Größenordnungen liegen nach den vorliegenden Zwischenergebnissen bei bis zu 25 %.

Das Modell ZERMET

- vermeidet punktuelle Optimierungen, die ganzheitlich betrachtet keine Verbesserung darstellen
- garantiert die Berücksichtigung des Stand der Technik

- bringt dem Betrieb Klarheit über die augenblickliche Ressourceneffizienz und die Verbesserungspotenziale
- systematisiert Ansatzpunkte für Verbesserung
- übersetzt Nachhaltigkeit auf die Probleme einer Branche
- vermag durch die vorgeschlagenen Verbreitungsmaßnahmen weit in die Branche zu wirken

Damit verbunden sind Kostenvorteile für die Betriebe und damit eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit.

Reduzierte Mengen an eingesetzten Chemikalien bedeuten aber auch geringere Gefährdung am Arbeitsplatz durch Lagerung und Manipulation von Säuren und Laugen. Damit trägt das Projekt zu einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen in den beteiligten Betrieben bei.

Die vorgeschlagene Methode und die Internetpräsentation eignen sich auch hervorragend als Trainingswerkzeug zur Vermittlung tieferen Verständnisses der eigenen Prozesse, der Variablen der Effizienz dieser Prozesse und der Qualität. Damit verbessert dieses Projekt das Qualifikationsniveau aller betrieblichen Nutzer der Ergebnisse und zeigt ihnen zukünftigen Informationsbedarf in Form von betrieblichen Praktiken und Technologien auf.

6. Literatur-/Abbildungs-/Tabellenverzeichnis

6.1. Literatur

- Altshuller G., Saulowitsch: Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme, PI Verlag, 1998
- Angstmann D., Bassing D.: Schlichtemittel und deren Entfernung aus der Sicht des Textilveredlers, *Textil Praxis International* 46 (1991) 1328
- BREF-Nr. 4.2.1: Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU), Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken in der Textilindustrie, Stand Juli 2003, Umweltbundesamt, Dessau
- BREF-Nr. 4.2.6: Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU), Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken in der Textilindustrie, Stand Juli 2003, Umweltbundesamt, Dessau
- Chen J. L., Liu C.: An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis, *The Journal of Sustainable Product Design*, 1367-6679, Springer
- Ericson A., Bertoni M., Larsson T.: Needs and requirements – How TRIZ may be applied in product-service development, 2nd Nordic Conference on Product Lifecycle Management – NordPLM'09, Göteborg, January 28-29, 2009
- Fleischer G., Ackermann R., Ibald N., Roth S.: Optimierung von Anlagen , *Metalloberfläche* 52 (1998) 356 – 360
- Fresner J., Jantschi J., Birkel S., Bärnthaler J., Krenn C.: The Theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects. *Journal of Cleaner Production*, 2009
- Fresner J.: Galvanik ohne Abfall – ein unerreichbarer Wunschtraum?, *Österreichische Chemiezeitschrift*, p 6-8, 106. Jahrgang, 5/2005
- Fresner J.: Setting up effective environmental management systems based on the concept of cleaner production: Cases from small and medium sized enterprises, in R. Hillary: „ISO 14001 Case Studies and Practical Experiences“, ISBN 1 874719276, October 2000
- Fresner J., Bärnthaler J., Jantschi J., Birkel S., Krenn C.: TRIZ TO IMPROVE MATERIAL EFFICIENCY AND ENERGY EFFICIENCY OF INDUSTRIAL PRODUCTION PROCESSES, *Journal of Cleaner Production*, 18 (2010) 128–136
- Fresner J., Bürki T., Sittel H.H.: Ressourceneffizienz in der Produktion. Kosten senken durch Cleaner Production, *Symposion Publishing*, 2009, ISBN 978-3-939707-48-6
- Fresner J., Sage J.: Implementation of sustainable strategies in Small-Medium Enterprises (SME's) based upon the concept of Cleaner Production: A case study from an anodizing company. in: Harmsen, J., Powell, J.B. (Hrsg.), *Sustainable Development in the Process Industries: Cases and Impact*, John Wiley & Sons, 2010, ISBN: 978-0-470-18779-1

- Fresner J., Vorsorgender Umweltschutz in der Oberflächentechnik, in: Suchentrunk, R. (Hrsg.), Jahrbuch Oberflächentechnik 2009, Band 65, Eugen G. Leuze Verlag
- Fresner J.: Ressourceneffizienz durch Produktionsoptimierung, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrgang 105 (2010) 6, pp 547
- Grawatsch M.: Module 3 of the Support Training course, Montanuniversität Leoben, 2005
- Gundlach C., Fresner J., Jantschgi J., Nähler H.: Strategische Innovationsplanung mit TRIZ, in: Gundlach C., Glanz A., Gutsche J. (Hrsg.), Die frühe Innovationsphase. Methoden und Strategien für die Vorentwicklung, Symposion Publishing, 2010, ISBN 978-3-939707-50-9
- Hockerts K.: 'Eco-efficient service innovation: increasing business - ecological efficiency of products and services', in Charter, M., Greener Marketing: a global perspective on greener marketing practice, Greenleaf Publishing: Sheffield, UK, pp. 95-108, 1999
http://www.ideationtriz.com/TRIZ_tutorial_2.htm, last accessed July 2009
<http://www.sixsigmatriz.com/>
- Jantschgi J., Fresner J.: Linking TRIZ & Sustainability (Training and Consulting Models), 4th European TRIZ Symposium, Frankfurt/Main, June 30th – July 1st, 2005
- Jones E., Mann D.: An Eco-innovation Case Study of Domestic Dishwashing through the Application of TRIZ Tools, Creativity and Innovation Management, Volume 10, Number 1, pp. 3-14(12), March 2001
- Kobayashi H.: A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning, Advanced Engineering Informatics , Volume 20, Issue 2, Pages 113-125, April 2006
- Mann D.: Hands-On Systematic Innovation. CREAX Press, 462, ISBN 90-77071-02-4, Ieper 2002
- Yaacoub A., Fresner J.: Half is enough, ISBN 3-9501636-2-X, Beirut, Graz, 2006

6.2. Literatur zur Erstellung des Excel-Tools

- ATV-Handbuch, Sonderdruck, Industrierwasser, 4. Auflage, Verlag für Abwasser, Abfall und Gewässerschutz, Hennef, ISBN 3 – 433-01468-X
- Böttger D.: Mehrstufige Membranfiltration, Vortrag zum 23. Osnabrücker Umweltgespräch am 10. April 2004
- Bredereck K.: Die Fixierung von Baumwollgewebe durch Mercerisation und Flüssigammoniakbehandlung, Melliand Textilberichte 60 (1979) 1027 – 1031
- Döpfens E.: Abwasserbehandlung und Prozesswasserrecycling in der Textilveredlungsindustrie, Band 19 ibvt-Schriftenreihe, Hrsg. D. C. Hempel, Institut für Bioverfahrenstechnik TU Braunschweig, FIT-Verlag Paderborn (2004), ISBN 3-932252-24-1
- Dörfler C.: Neue Enzyme für die Vorbehandlung, Melliand Textilberichte 1 – 2 (2005) 55 – 58
- EFA – Die Effizienz-Agentur NRW, Produktionsintegrierter Umweltschutz in der Textilindustrie, Die Effizienz-Agentur NRW, Mühlheimer Straße 100, 47057 Duisburg

- Emissionsminderung bei Textilveredlungsanlagen, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, 2004
- Entwicklung eines Farbigkeitssensors zur Prozessoptimierung in der Textilindustrie sowie zur Bestimmung der Farbigkeit des Auslaufes von Kläranlagen, DBU-Vorhaben; Antragsteller: Thies GmbH & Co. KG. Coesfeld (2005 – 2006), unveröffentlichte Ergebnisse
- Greif, S.: Die Additionsmercerisation – Entscheidungskriterien für Investitionen, Melliand Textilberichte 77 (1996) 594 – 598
- Haefely H. R.: Enzymatische Behandlung von Wolle, Textilveredlung 24 (1989) 271 – 276
- Hardt P.: Ökologisch und ökonomisch verbesserte Peroxidbleiche, Melliand Textilberichte 76 (1995) 662 – 669
- Heetjans J.H., Seidl, B.: Wiederverwenden von Prozesswasser, Int. Textile Bulletin, Veredlung 2 (1994) 2-6
- Heine E., Formen C., et al.: Lanazym – Biologische Veredlung von Wolle, DWI Reports 126 (2003) 119 – 121
- http://www.vdivde-it.de/innonet/projekte_alt/alphabetisch/P%20-%20Z/pp13_PlasmaTex.pdf
- Jakob B.: Entfernen von stärkehaltigen Schichten. Teil 1: Der enzymatische Aufschluss – mehr als nur eine Entschlichtung. Teil 2: Die oxidative Entschlichtung – ein altes Verfahren offenbart neue Stärke, Melliand Textilberichte 79 (1998) 727 – 735
- Langer J.: Stand des Recyclings von Polyvinylalkohol-Schlichtemitteln, Melliand Textilberichte 75 (1994) 804-806
- Leitner H.: Recycling von synthetischen Schichten – Polyacrylate, Melliand Textilbericht 75 (1994) 807 – 814
- Marzinkowski J. M., Medrow M., Hildenbrand J., Ackermann R., Fleischer G.: Prozessnahe Maßnahmen zum betrieblichen Umweltschutz in der Textilveredlung, Preprints Band 1 – 5 GVC-Abwasser-Kongress „Prozessintegrierte und additive Verfahren der Abwasser- und Schlammbehandlung“, Hrsg.: GVC-VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Düsseldorf (2003) 153 – 160
- Marzinkowski J. M.: Maßnahmen zum Integrierten Umweltschutz bei der Vorbehandlung von textilen Flächegebilden, Bewertung von Abwasseraufbereitungsverfahren. Preprints Colloquium Produktionsintegrierte Wasser-/Abwassertechnik: Nachhaltige Entwicklung in der Textilveredlung. , GVC-VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Düsseldorf (2001) B19-38
- Marzinkowski J. M.: Qualitätsmanagement und Umweltschutz in der Textilveredlung mit Hilfe der ständigen Verbesserung, Symposium zum Integrierten Umweltschutz, 3. Deutsch-Türkisches Kooperationsforum Umwelttechnik, Ankara/Türkei, 20./21. November 1996
- Pesch B.: Dosiertechnik für den KKV-Bericht im Vergleich, Melliand Textilberichte 86 (2005) 162 – 164
- Peter M., Rouette, H. K.: Grundlagen der Textilveredlung, 13. überarbeitete Auflage, Frankfurt: dfv Deutscher Fachverlag (1989) 409
- PIWATEX Abschlussbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben (2001-2004): Teilstrombehandlungskonzepte mit dem Ziel der Wasserkreislaufführung durch

- gezielte Vorbehandlung hochkonzentrierter Abwässer und Maßnahmen der Verfahrensoptimierung in der Textilveredlung, Bergische Universität Wuppertal (Juli 2005) FKZ: 0339942
- Rauch M.: Vorbehandlungsanlagen: Keine Quantensprünge, jedoch interessante Detaillösungen, Textilveredlung 39 (2004) 4 – 8
- Rösch G.: Aus der Praxis der Vorbehandlung von Baumwollgeweben, Textil Praxis International 43 (1988) und 44 (1989)
- Schellenberger G.: Energieeinsparung beim Trocknen durch Regelung der Abluftfeuchte, ITB Färberei /Druckerei/Ausrüstung 3 (1974) 281 – 285
- Schellenträger M., Constapel M., Marzinkowski J. M.: Oxidativer Abbau von Reaktivfarbstoffen – Chemische Analyse der Abbauprodukte, Melliand Textilberichte 86 (2005) 562 – 567
- Schmitz S., Paulini I. et al.: Bewertung in Ökobilanzen, Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043, UBA-Texte 92/99 (1999) Umweltbundesamt (Hrsg.)
- Schönberger H., Schäfer T.: Beste verfügbare Techniken in Anlagen der Textilindustrie, UBA, F+E-Nr.: 200094329 (2002)
- Schönberger/Schäfer: 2003, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2273.pdf>
- Schröder J.: Ökologische Bleiche für indigogefärbte Denimware, Textilveredlung 38 (2003) 14 – 15
- Schrott W., Bechthold T.: Elektrochemie – Revolution in der Küpenfärbung, Textilveredlung 38 (2003) 19 – 22
- Schuh E., Heine E., et al.: Oxidative Enzyme in der Textilveredlung, Biokatalyse (2003) 119 – 121
- Schumacher K., Schmitz N., Heine E., Höcker H.: Effektdruck – Strukturierung textiler Oberflächen mit Hilfe enzymhaltiger Pasten, DWI Reports 126 (2003) 440 – 444
- Stegmaier T., Trauter J., Sidibé A.F.: Verfahrensrichtlinien zur Minimierung und Vergleichmäßigung des Restschlichtgehalts beim Entschlichten, Textilveredlung 33 (1998)
- Thoms J., Pleva R.: Neuentwicklungen und Trends bei Messgeräten in der Schlichterei, Melliand Textilberichte 86 (2005) 522 – 525
- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, VCH Verlagsgesellschaft (2003), ISBN 3 – 527-30385-5
- Von Pander E.: Laugieren und Drucknachwäsche speziell für Viskosefasergewebe, Melliand Textilberichte 77 (1996) 602 – 604
- Wurster P.: Vorbehandlung von Baumwollmaschenware – Hilfsmittel, Rezepte, Verfahren, Vortrag zum 18. VTCC-Fortbildungsseminar (1998) Reutlingen und Bielfeld, Copyright VDTF

6.3. Abbildungen


Abbildung 1: Problemlösen durch Anwenden des idealen Endergebnisses und Backcasting	15
Abbildung 2: Wasserwirtschaft am Flockefärbeapparat	22
Abbildung 3: Kühlwasser-Auslauf.....	23
Abbildung 4: Walkmaschinen	24
Abbildung 5: Fließbild des Produktionsablaufes, entwickelt zur Prozessanalyse	25
Abbildung 6: Funktionsanalyse des Trockenprozesses in einem Spannrahmen	27
Abbildung 7: Funktionsanalyse des Waschprozesses	28
Abbildung 8: Einstiegsmaske im Exceltool zum Anlegen der Prozessschritte (exemplarisch ausgefüllt für die Fallstudie der Firma Leichtfried).....	29
Abbildung 9: Vorläufige Bewertung der Auswirkungen der Prozesse	29
Abbildung 10: Maske im Exceltool zum Beschreiben der Prozessschritte und der schädlichen Funktionen.....	30
Abbildung 11: Fragenliste zur Problemanalyse.....	30
Abbildung 12: Fragenliste zur Ableitung des idealen Endergebnisses	31
Abbildung 13: Auswertungsblatt mit Optimierungsansätzen	31
Abbildung 14: ZERMET Homepage	33
Abbildung 15: Vorstellung des ZERMET Ansatzes auf zernet.stenum.at	34
Abbildung 16: Teilnehmer des Seminars am Textilforschungsinstitut in Dornbirn am 09.03.2010	35
Abbildung 17: Präsentation der Projektergebnisse	35

6.4. Tabellen

Tabelle 1: Vergleich der Strategien von Cleaner Production und den Entwicklungsgesetzen	13
Tabelle 2: Vergleich der Fragen des Trimming mit den Evolutionsgesetzen (Fresner, Jantschgi, Birkel, Bärnthaler, Krenn, 2010).....	16

7. Anhang

- Folien ZERMET-Präsentation
- Paper JCP
- ZERMET Tool
- Optionenliste zur Unterstützung des Tools



NACHHALTIGwirtschaften

ZERMET – Zero Emission Retrofitting for Existing Textile Mills

Dr. Johannes Fresner
Mag. Stefan Birkel, DI Josef Bärnthaler

bmwvti FFG FABRIK der Zukunft

Ausgangssituation NACHHALTIGwirtschaften

Stand der Technik der Prozessoptimierung

- Erstellung eines Fließbildes
- Erhebung von Daten zu Material-, Wasser- und Energieverbräuchen
- Entwicklung von Ansätzen zur Verbesserung (z. B. durch Anwendung der BREF-Notes, Wissen von Lieferanten, Expertenwissen)



bmwvti FFG FABRIK der Zukunft

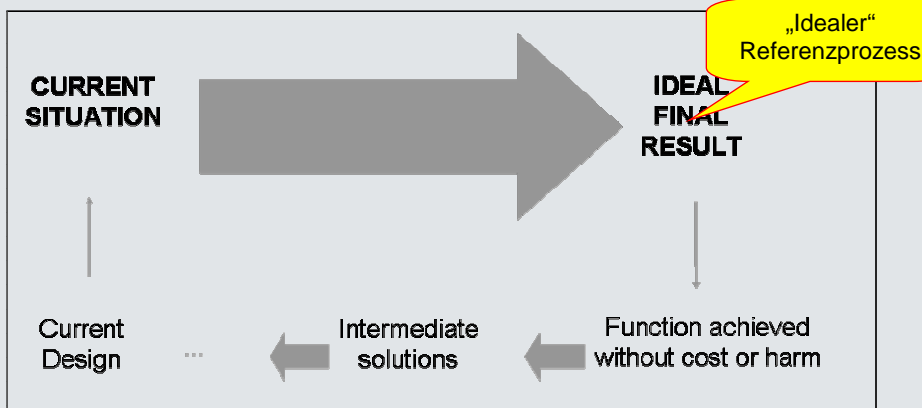
Ausgangsidee für ZERMET



NACHHALTIGwirtschaften

- Übertragung von ZERMEG auf die Textilindustrie
- „ideale Vergleichsprozesse“ mit minimalem Wasser- und Energieverbrauch zur Erreichung des Prozesszieles
- Backcasting
- Analyse des Status Quo im Vergleich zu den „idealen Prozessen“, Abweichungsanalyse
- Definition von Verbesserungsmaßnahmen zur Reduktion von Wasserverbrauch, Chemikalieneinsatz und Energieverbrauch

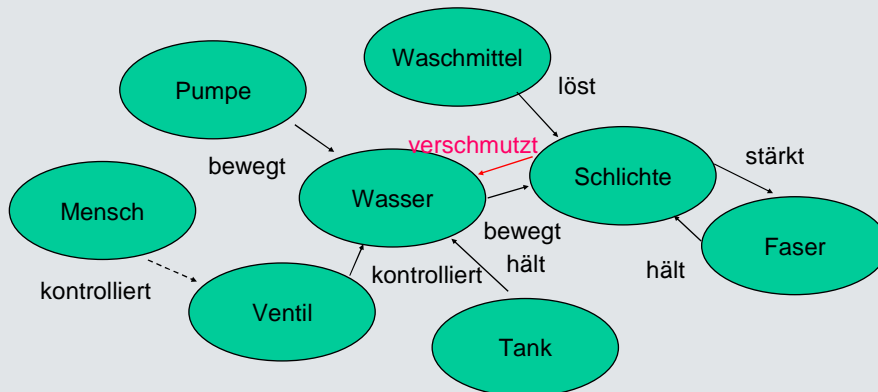
ZERMET - Ansatz

NACHHALTIGwirtschaften



-  Der Ansatz von ZERMET: Backcasting ausgehend vom Idealen Prozess (Quelle: Darrell Mann, Systematic Innovation)
-  Fragenkatalog (Wie könnte man Ideal erreichen?)

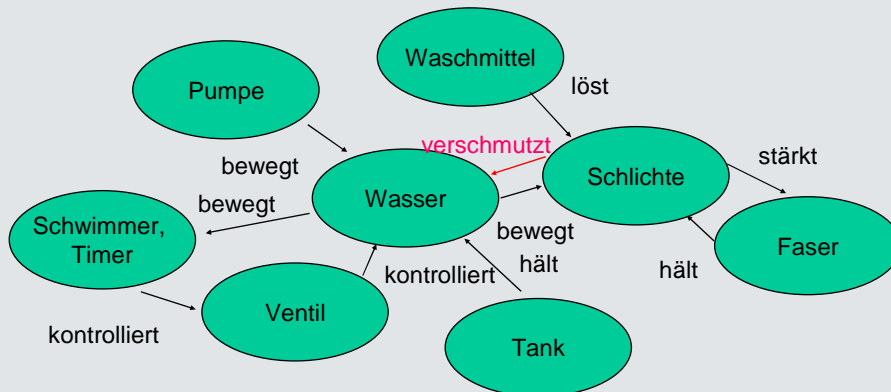
Funktionsanalyse des Prozesses „Entschlichten“



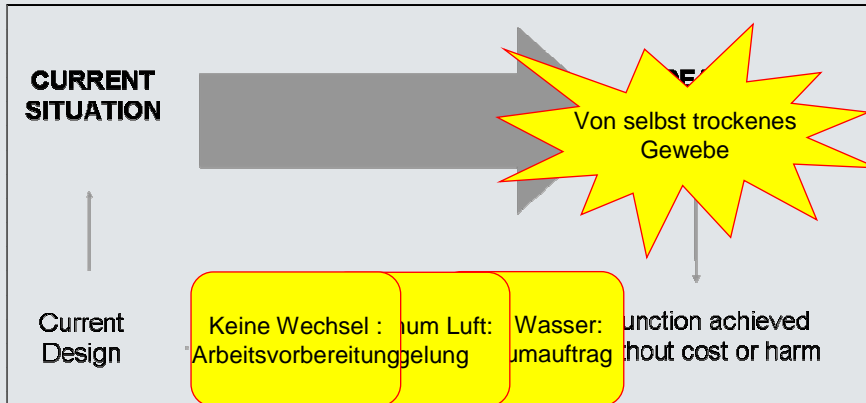
„Trimming“ Fragen

- Können Komponenten oder Funktionen weggelassen werden?
- Kann der Bedarf an einer Funktion eliminiert werden?
- Können Funktionen von anderen Komponenten übernommen werden?
- Können unerwünschte Funktionen durch andere Funktionen eliminiert werden?
- Können Komponenten durch andere ersetzt werden?
- Können Komponenten durch freie Ressourcen ersetzt werden?
- Kann das Übersystem Funktionen zur Verfügung stellen?

Lösung durch Automatisierung



- **Ideales Endergebnis (IFR) am Spannrahmen:**
trockenes Gewebe mit minimalem Energieeinsatz
- **Was hält uns davon ab, diesen zu erreichen?**
Wasserüberschuss, fehlende Regelung der Absaugung, Partiewechsel
- **Was kann verbessert werden?**
Abquetschen, Feuchteregelung, Arbeitsvorbereitung
- **Wege zur Optimierung:**
Optimierung des Auftrages, Optimierung der Arbeitsvorbereitung, Optimierung der Regelung



Der Ansatz von ZERMET: **Backcasting am Beispiel eines Spannr Rahmens zum Trocknen von Geweben**

Die ZERMET-Methode

- Geht weg von der Maschine hin zu den Prozessschritten unter Berücksichtigung der zuvor abgelaufenen Prozesse in einer qualitativen Betrachtungsweise
- Bedeutet die Verdichtung der Informationsflüsse aus Vorprozessen hin zu nachfolgenden Prozessen mit dem Ziel, schädliche Auswirkungen in den nachfolgenden Prozessen zu minimieren

Die ZERMET-Methode

- bleibt immer qualitativ, weil sie der Identifizierung von unerwünschten = umweltschädlichen Auswirkungen dient und versucht, deren Stärke zu beschreiben.
- Quantitative und damit auch monetär bewertbare Auswirkungen sind Gegenstand der Options- bzw. Machbarkeitsanalyse.

Methode der „kaskadischen Vorprozesseinbindung“

Beispiel:

wenn in der Bleiche 1 die Rezeptur des Bleichmaterials (chemische Zusammensetzung) als Parameter für die Spülwassermenge im nachfolgenden Schritt (=Waschen) als Information einfließt, dann kann die notwendige Spülwassermenge (und der notwendige Wärmeinput für das Spülwasser) auf das erforderliche Minimum reduziert werden. Ein einfaches rein organisatorisches Hilfsinstrument zur Umsetzung dieses Ansatzes könnte folgendermaßen aussehen:

Beispiel Spülwasserregelung

NACHHALTIGwirtschaften

	Rez. 1	Rez. 2	Rez. 3	Rez. 4	Rez. 5	Rez. 6	Rez. 7	Rez. 8
SpülW1								
SpülW2		X						
SpülW3				X				
SpülW4						X		
SpülW5							X	
SpülW6								X

Die ZERMET Matrix

NACHHALTIGwirtschaften

- **Beschreibung der Ist-Situation (Gesamtzusammenhang) unter Verwendung einer „Supermatrix“**
- Resultat: Prozessfließbild und Auflistung schädlicher Wirkungen
- **Beschreibung der Ist-Situation für jeden Prozessschritt mit schädlichen Auswirkungen in Detailanalysen**
- Resultat: Funktionsanalyse, Trimming, Optimierungsansätze und Optimierungsschritte

- Zermet.stenum.at
- Anwendung der **Matrix**
 - Supermatrix: Fließbild, schädliche Funktionen
 - Detailmatrizen: Analyse, Trimming, Optionen
- Auswertung

NACHHALTIGwirtschaften

The screenshot displays a software application window with a menu bar and toolbar. The main area is divided into a left sidebar and a central workspace. The sidebar contains a tree view with the following structure:

- Firma wer
 - Firma wo
- Standortdaten
 - Herstellung von Vlaklöden
- Produktionsgegenstände:
 - Produktionsgegenstand: Gewebeveredelung
- Prozessschritte:
 - Prozessschritt: Stofffärben
- Restliche eingegebene Prozesse:
 - Vakuum
 - Waschen
 - Stofffärben

The central workspace contains several input fields and buttons:

- Produktionsmenge:** Menge in Zahl: 40, Einheit: kg, Bezugsgröße: kg
- Gewichtung:** A table with columns for 'Energie', 'Wasser', and 'Chemikalien', each with a dropdown menu and a 'kg' unit field.
- Buttons: 'Eingabe speichern', 'Programm beenden und Eingaben speichern', and 'zur Auswertung'.

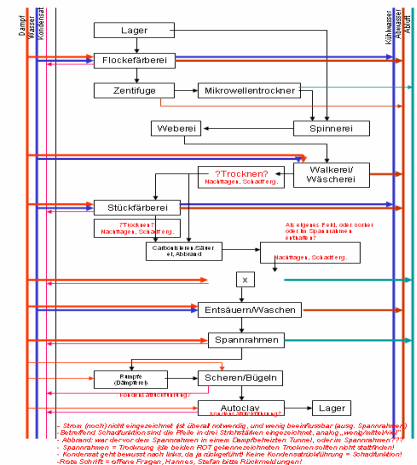
The Windows taskbar at the bottom shows the Start button and several open applications, including 'Novell Groupwise - H...', 'C:\Programme\400\...', and 'Microsoft Excel'. The system clock shows 07:58.

Microsoft Excel - Zenment - Excel-Tool Leichtfried.xls

A	B	C	D	E
Prozessname	Energie	Wasser	Chemikalien	Zur genaueren Auswertung mit x kennzeichnen
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				

Detailanalyse
Grafische Analyse

Lodenfabrik-Leichtfried: Produktionsablauf



Excel spreadsheet showing process data for 'Waschen1' (Washing 1). The spreadsheet includes a table for 'Zugeführt' (Inputs) and 'Abgeführt' (Outputs).

Der Prozess verursacht den Einsatz folgender Stoff- und Energieströme:			
	wenig	viel	sehr viel
Zugeführt			
Wasser			x
Wärme		x	
Chemikalien	x		
Strom	x		
leer			
Abgeführt			
Abwasser verunreinigt		x	
leer			
leer			
leer			
leer			

Excel spreadsheet showing qualitative questions for 'Waschen1'. The questions are listed in the spreadsheet cells.

30 2. qualitative Beschreibung der Ist-Situation des Prozesses

31

32 a) Warum findet der Prozess statt?

33 Welken des Gewebes, macht des Produkts/Produktqualität aus //Waschen bzw. entsäuern nach dem Abbrand

34 b) Warum gerade an dieser Stelle im Prozessablauf?

35 nach dem Prozess, um alle Chemikalien zu entfernen, nach dem Brennen, um Reste von Säure zu entfernen

36 c) Ist dies Ihrer Meinung nach der bestmögliche Ort für diesen Schritt im Prozessablauf?

37 ja

38 d) Warum wurde diese Methode, Technologie ausgewählt?

39 weil Restchemikalien entfernt werden müssen

40 e) Kann man die Reihenfolge der Prozessschritte verändern, um schädliche Auswirkungen zu minimieren?

41 nein

42 f) Kann man den Prozessschritt weglassen? Was müsste ich am Vorprozess oder an einer anderen Stelle ändern, damit ich den Prozess weglassen kann?

43 nein

44 g) Ist dies Ihrer Meinung nach die beste verfügbare Technologie? (Begründung angeben)

45 grundsätzlich ja, ist aber Kombimaschine, reine Waschmaschine würde eventuell weniger Wasser brauchen

46 h) Wie hat die Prozessparameter festgelegt? (Temperatur, Druck, Laufrichtung, Chemikalienzusammensetzung, Wassermenge...)

47 Eigentümer in Zusammenarbeit mit den Lieferanten

48 i) Besseren die Parameter auf eigenen Erfahrungswerten, Herstellerangaben, Referenzwerten...

49 Langjährige Erfahrung, Herstellerangaben, Komplexes Programm bestehend aus 12-13 Einzelritten mit Ablassen/Auffüllen

50 j) Seit wann gelten diese Parameter?

51 seit der Installation

52 k) Würden diese Parameter schon einmal verändert?

53 nein

54 l) Wie müsste man die Parameter oder den Prozess verändern, um die schädlichen Auswirkungen zu minimieren?

55 eingesetzt werden. Auch die Wärme aus dem Abwasser könnte rückgewonnen werden.

54	b) Wie müsste man die Parameter oder den Prozess verändern, um die schädlichen Auswirkungen zu minimieren?								
55	eingesetzt werden. Auch die Wärme aus dem Abwasser könnte rückgewonnen werden.								
56	m) AUSWERTUNG								
57	Ergebnis: Dokumentation der Prozessschritte, Erkennen der schädlichen Funktionen, (erste dokumentierte Optimierungsansätze)								
58									
59	3. Idealer Prozessschritt								
60	im Hinblick auf ein qualitativ hochwertiges Produkt (minimaler Chemikaleinsatz, kein Abfall, minimaler Energieverbrauch, kein Wasserverbrauch, kein Abwasser, vgl. Carnot für Kreisprozesse)								
61	Ergänzung durch Funktionsanalysen der Prozessschritte								
62	a) Kann man Prozessparameter variieren, um dem ER näherzukommen?								
63	Spülwasser z. B. über Leitfähigkeit regeln								
64	b) Können Teilschritte entfallen?								
65	ev. Wiederholung der Spülschritte								
66	k) Können notwendige Aufgaben für die Erreichung des angestrebten Ergebnisses von anderen Prozessschritten übernommen werden?								
67	Als vorgewärmtes Wasser könnte Kühlwasser aus Blockflator eingesetzt werden								
68	d) Können zusätzliche Prozessschritte schädliche Auswirkungen reduzieren?								
69	eventuell Wiederholen des Ablassens von Spülwasser zum Vermischen von Überlaufspülen								
70	e) Gibt es organisatorische oder technische Alternativen, die die schädlichen Auswirkungen vermindern oder vermeiden können?								
71	Leitfähigkeitsmessung								
72	f) Was hält uns davon ab, diese Alternativen einzusetzen?								
73	Idee zur Abwärmennutzung ist vorhanden, bisher wurde keine Aktivität geübt.								
74	g) Kann eine schädliche Auswirkung aus einem Prozessschritt in einem anderen Nutzen stiften oder deren schädlichen Auswirkungen reduzieren?								
75	Es wird eine hohe Frischwassermenge eingesetzt, dadurch ist auch eine hohe Dampfmenge erforderlich. Durch Einsatz von vorgewärmtem Wasser könnte Dampf reduziert werden.								
76	h) Wird der Prozess an anderer Stelle (mit gleichen oder anderen Parametern) wiederholt? Ist das notwendig, gibt es Alternativen?								
77	einmal/Wochen, einmal/Monaten, das geht nicht anders								
78	n) AUSWERTUNG								

Fragen zum Prozess

1	Prozessschritt: Flockefärben								
2									
3	1. Beschreibung der IST-Situation								
4									
5	Ziel des Prozessschrittes								
6	Färbung der Fasern, welche danach zu einem Gewebe verarbeitet werden								
7									
8	Daten zur Apparatur/Maschine:								
9	Fabrikat / Type	XXX							
10	Baujahr	1987							
11	Betriebsweise (kontinuierlich, Batchbetrieb)	Batchbetrieb							
12	Nutzungsdauer (Tag, /Jahr)	1-3 Chargen/Tag, 200 Produktionstage							
13	Anzahl der Chargen, Dauer	1-3 Chargen/Tag, 1-3 h/Charge							
14									
15	Der Prozessschritt verursacht den Einsatz folgender Stoff- und Energieströme, einschließlich Hilfsprozesse								
16		wenig	mittel	viel	Beschreibung, Zweck				
17									
18	Zugeführt								
19	Strom		x		Antrieb Umwälzpumpe				
20	Wärme (zusammenführen mit Dampf?)			x	nicht relevant, nur über Dampf zugeführt				
21	Dampf			x	Aufbereitung des Flottenwassers (geht vorgewärmt mit 40 °C in-Betrieb, Vorwärmung Dampf), Wärmehalten, verschiedene Temperaturwechselzyklen, Aufheizen/Kühlen prozess/produktbedingt erforderlich, Temperaturbereich 90-106 °C				
22	Frischwasser			x	Für Kühlung (produktbedingte Temperaturwechsel), Abkühlung vor Ablassen des Flottenwassers				
23	Chemikalien		x		Farbstoffe				
24									
25	Zugeführt								
26	Kühlwasser (warm)				Warmes Kühlwasser geht in den Kanal (Menge XXX l,				

Fragen zum Prozess

NACHHALTIGwirtschaften

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
24	Zugeführt									
25	Kühlwasser (warm, unverschmutzt)			x	Warmes Kühlwasser geht in den Kanal (Menge XXX), Temperatur 35°C (Momentaufnahme bei Begehung), zeitlicher Anfall???					
26	Abwasser belastet			x	Fäulniswasser, wird gesammelt und neutralisiert, danach in den Kanal eingeleitet (Menge, Temp)					
27	Abwärme		x		Farbekessel ist nicht isoliert, leistet einen Beitrag zur Raumwärme im Winter					
28	Druckluft				keine					
29	Abfälle				keine					
30	sonstiges				keine Wärmerückgewinnung					
31	Passiv:									
32	Beschreiben Sie alle eingesetzten Energie- und Stoffströme									
33	Bewerten Sie diese hinsichtlich der Relevanz am Gesamtprozess/Einsatz									
34	Möglichkeit detaillierte Beschreibung von Prozessrelevanten Parametern wie Mengen, Temperaturen, Drücke									
35										
36										
37	Arm: Raumheizung und Klimatisierung bin ich mir nicht sicher wie integrieren									
38	Die Frage stellt sich, ob nicht zu jedem Punkt noch Unterfragen und Klärtischen vorbereitet werden sollen, wie zB:									
39	Abwasser				Menge, ca. 1000 l/Charge, 1/Tag					
40					Temperatur, 35 °C					
41					Zeitprofil vorhanden? Ja/Nein					
42	Abwärme				Wird sie genutzt, VRG?					
43					wenn ja, für was, welchen Prozess, in welcher Form?					
44					Beitrag zur Raumwärme durch Abstrahlung? Ja/Nein					
45										
46	2. Beschreibung der Ist-Situation für jeden Prozessschritt mit schädlichen Funktionen									
47	Als Schadfunktion wird jede Zu- und Abfuhr von Energie und Stoffen bezeichnet, die für den Prozess verwendet werden um das Produkt herzustellen.									
48										
49	Warum findet der Prozessschritt statt?									
50	Für die gewünschte Fertigung der Fasern									
51	Warum gerade an dieser Stelle im Prozessablauf?									
52	Die Fasern werden vor dem Weben und Spinnen gefärbt, damit in der Weberei auch verschiedenfarbige Gewebe produziert werden können									
53	Ist dies Ihrer Meinung nach der bestmögliche Ort für diesen Schritt im Prozessablauf?									
54	Ja, weil verschiedenfarbige Gewebe hergestellt werden sollen									
55	Warum wurde dieser Prozessschritt (Methode, Technologie) ausgewählt?									
56	Für die im Betrieb verwendeten Rohstoffmengen ist ein Farbekessel im Chargenbetrieb gut geeignet									
57	Kann man die Reihenfolge der Prozessschritte verändern, um schädliche Funktionen zu minimieren?									
58	nein									
59	Kann man den Prozessschritt weglassen? Was müsste ich am Vorprozess ändern, damit ich den Prozess weglassen kann?									
60	nein, die Färbung ist notwendig									
61	Ist dies Ihrer Meinung nach die beste verfügbare Technologie?									
62	ja, weil ????									
63	Was hat die Prozessparameter festgelegt? (Ist ergebnis, Druck,...)									
64	Der Prozess ist sehr sensibel im Hinblick auf die Prozessqualität, besonders die Aufheizzeit, Temperaturwechsel in der Hitzelzeit sind Erfahrungswerte									
65	Basieren die Parameter auf eigenen Erfahrungswerten, Herstellerangaben, Referenzwerten...									
66	In langjährige Erfahrung									
67	Soll wann gelten diese Parameter?									
68	Über Jahre entwickelt									
69	Wurden diese Parameter schon einmal verändert?									
70	Ja, bei der Jahreswartung(?) in kleinen Schritten angepasst									
71	Wie müsste man die Parameter oder den Prozess verändern, um die schädlichen Funktionen zu minimieren?									
72	Man könnte schon in den Färbeprozess nicht eingegriffen werden kann, dann soll jedenfalls die Abwärme genutzt werden: unbelastetes Kühlwasser und Fäulniswasser sammeln und überprüfen, in welchen Prozessen die Wärme eingesetzt werden kann (zB Vorwärmen von Wasser...), (unbelastetes warmes Wasser könnte zu für den Fäulnisprozess oder in der Maltsch-Wäsche eingesetzt werden									
73	Freibewertung der Prozessschritte, die jeweils die schädlichsten Funktionen darstellt (aktuell)									



Schädliche Funktionen

NACHHALTIGwirtschaften

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
46	2. Beschreibung der Ist-Situation für jeden Prozessschritt mit schädlichen Funktionen									
47	Als Schadfunktion wird jede Zu- und Abfuhr von Energie und Stoffen bezeichnet, die für den Prozess verwendet werden um das Produkt herzustellen.									
48										
49	Warum findet der Prozessschritt statt?									
50	Für die gewünschte Fertigung der Fasern									
51	Warum gerade an dieser Stelle im Prozessablauf?									
52	Die Fasern werden vor dem Weben und Spinnen gefärbt, damit in der Weberei auch verschiedenfarbige Gewebe produziert werden können									
53	Ist dies Ihrer Meinung nach der bestmögliche Ort für diesen Schritt im Prozessablauf?									
54	Ja, weil verschiedenfarbige Gewebe hergestellt werden sollen									
55	Warum wurde dieser Prozessschritt (Methode, Technologie) ausgewählt?									
56	Für die im Betrieb verwendeten Rohstoffmengen ist ein Farbekessel im Chargenbetrieb gut geeignet									
57	Kann man die Reihenfolge der Prozessschritte verändern, um schädliche Funktionen zu minimieren?									
58	nein									
59	Kann man den Prozessschritt weglassen? Was müsste ich am Vorprozess ändern, damit ich den Prozess weglassen kann?									
60	nein, die Färbung ist notwendig									
61	Ist dies Ihrer Meinung nach die beste verfügbare Technologie?									
62	ja, weil ????									
63	Was hat die Prozessparameter festgelegt? (Ist ergebnis, Druck,...)									
64	Der Prozess ist sehr sensibel im Hinblick auf die Prozessqualität, besonders die Aufheizzeit, Temperaturwechsel in der Hitzelzeit sind Erfahrungswerte									
65	Basieren die Parameter auf eigenen Erfahrungswerten, Herstellerangaben, Referenzwerten...									
66	In langjährige Erfahrung									
67	Soll wann gelten diese Parameter?									
68	Über Jahre entwickelt									
69	Wurden diese Parameter schon einmal verändert?									
70	Ja, bei der Jahreswartung(?) in kleinen Schritten angepasst									
71	Wie müsste man die Parameter oder den Prozess verändern, um die schädlichen Funktionen zu minimieren?									
72	Man könnte schon in den Färbeprozess nicht eingegriffen werden kann, dann soll jedenfalls die Abwärme genutzt werden: unbelastetes Kühlwasser und Fäulniswasser sammeln und überprüfen, in welchen Prozessen die Wärme eingesetzt werden kann (zB Vorwärmen von Wasser...), (unbelastetes warmes Wasser könnte zu für den Fäulnisprozess oder in der Maltsch-Wäsche eingesetzt werden									
73	Freibewertung der Prozessschritte, die jeweils die schädlichsten Funktionen darstellt (aktuell)									



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
73	Ergebnis: Dokumentation der Prozessschritte, Erkennen der schädlichen Funktionen, (erste dokumentierte Optimierungsansätze)					<p>konkret könnte das Flottenwasser für den nächsten Färbvorgang vorgewärmt werden (es könnte überhaupt das warme Kühlwasser direkt in Wasch oder Färbeprozessen genutzt werden, evtl Zwischenspeichern in einem Schichtladespeicher!</p>				
74										
75										
76										
77										
78	3. Meiler Prozessschritt (für jeden Prozessschritt mit schädlichen Funktionen)									
79	keine Abwasser, vgl. Carnot für Kreisprozesse?									
80										
81	Ergänzung durch Funktionsanalysen der Prozessschritte									
82	???									
83	Kann man Prozessparameter variieren, um dem IFR näher zu kommen?									
84	Technische erfordernislos ???									
85	Können Funktionen entfallen?									
86	Können Funktionen von anderen Elementen übernommen werden? (Elemente sind andere Prozessschritte?)									
87										
88	Können zusätzliche Elemente schädliche Funktionen reduzieren?									
89										
90	Gibt es organisatorische oder technische Alternativen, um die Schadfunktion zu vermeiden?									
91	Ja, Abwasser-WfRO, zB direkter Einsatz des unbelasteten Kühlwassers in Waschprozessen, oder WfRO über Wärmetauscher (für Flottenwasser und Kühlwasser), und Verwendung des Wassers in anderen Prozessen.									
92	Was hält uns davon ab, diese Alternativen einzusetzen?									
93	Ideo schon vorhanden, wurde noch nicht geplant.									
94	Kann eine schädliche Funktion aus einem Prozessschritt in einem anderen Nutzen stiften oder deren schädlichen Funktionen reduzieren?									
95	Ja, Abwasser-WfRO, zB direkter Einsatz des unbelasteten Kühlwassers in Waschprozessen, oder WfRO über Wärmetauscher (für Flottenwasser und Kühlwasser), und Verwendung des Wassers in anderen Prozessen.									
96	Wird der Prozess an anderer Stelle (mit gleichen oder anderen Parametern) wiederholt? Ist das notwendig, gibt es Alternativen?									
97	Nein, keine Wiederholung									
98										
99										

- Verbesserung der Isolierung von Leitungen
- Konzentrationsabhängige Regelung des Waschwassers
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft der Trockner (Vortrocknen, Verbrennungsluft)
- Verbesserte Regelung der Luftmengen
- Vermeiden von Übertrocknen
- Höherer Abquetschdruck, Absaugen
- Nur indirekte Kühlung
- Speichern des erwärmten Kühlwassers
- Einsatz des erwärmten Kühlwassers zum Waschen
- Entfall der Zwischentrocknung

Integrierter Umweltschutz in der Textilindustrie

Faserreinigung und -vorbereitung (inkl. Spinnöle)

Wie kann ich den Bedarf nach den Verfahren umgehen?

- Die Verwendung von neuen thermostabilen Präparationen mindert oder ersetzt wässrige Vorbehandlungsschritte

Welche Parameter kann ich anwenden/einstellen?

- Einsatz von thermostabilen/emissionsarmen Präparationen (sterisch gehinderte Fettsäureester, Polyolester, Polyester/Polyetherpolycarbonate)
- Einsatz optimierter Fasern:
 - Polyester (Alternative PES Fasern mit Katalysatoren auf Basis von Titan/Silicium-Mischoxiden);
 - Elastanmuller (überall dort wo Rückstellkraft/Rücksprungkraft nicht allzu hohe Anforderungen; durch neue Elastikfaser);
 - Polyamid 6 (mit nachgeschaltetem Abluftwäscher; mittlere weite patentiertes Verfahren zur Herstellung von PA6)
- Entfernen von herkömmlichen Nadelföden aus der Herstellung von Gestrieken: Wasserverbrauch 10 l/kg Textil
- Ersatz von Mineralölen bei der Herstellung von Gestrieken: wasserföliche Öle
- Pektinasen und Lipasen zur Baumwollvorbehandlung

Welche technischen Ansätze gibt es?

- Minimierung der Auftragsmenge
- Energieeinsparungen durch Optimierung und Automatisierung
- Reduzierung des Schlichtemittelauftrages durch Vornetzen und gezielter Auswahl von Schlichtemitteln
- Enzymatische Vorbehandlung von Textilien aus Wolle und Seide

Spinnen

Wie kann ich den Bedarf nach den Verfahren umgehen?

- Ersatz von Mineralölen in Schmelzstein für die Wollspinnerei: Zubereitung auf Basis von Glykolen ersetzen
- Erneuerung des Maschinenparks
- Anschaffung moderner Maschinen

Welche Parameter kann ich anwenden?

- Biologisch abbaubare Ersatzprodukte anstatt Mineralöle verwenden

Energie:

- Verdoppelung der Garnkapazität führte in Beispielbetrieb zu einem Anstieg des Energieverbrauchs von nur 12%;

- Vorgehensweise:
 - Anwendung der Matrix
 - Fließbild
 - Aufzeigen der schädlichen Funktionen
 - Fragenblöcke zur Entwicklung von Lösungsansätzen
- Bringt qualitative Ansätze
- Gute Ergänzung durch Controlling und Benchmarking

Projektbeteiligte

NACHHALTIGwirtschaften

ProjektleiterIn:

Dr. Johannes Fresner, STENUM GmbH, Graz

ProjektpartnerInnen:

DI Stefan Birkel, Eco-brain, Dornbirn

DI Josef Bärnthaler, Energieagentur Obersteiermark,
Zeltweg

Kontakt: Dr. Johannes Fresner
STENUM GmbH
www.stenum.at
j.fresner@stenum.at
0316 367156

zernet.stenum.at



Bücher, Software, Tipps von STENUM

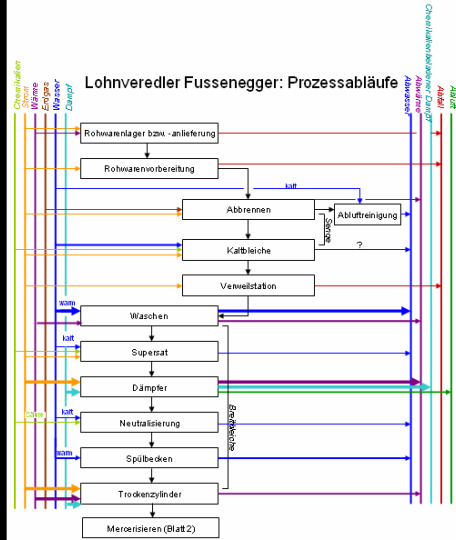
NACHHALTIGwirtschaften

- Ressourceneffizienz in der Produktion
ISBN 3939707481, 2009
(auch spanisch und englisch)
- SankeyEditor 3.0:
www.sankeyeditor.net
- 100 Energiespartipps:
energiesparen.stenum.at

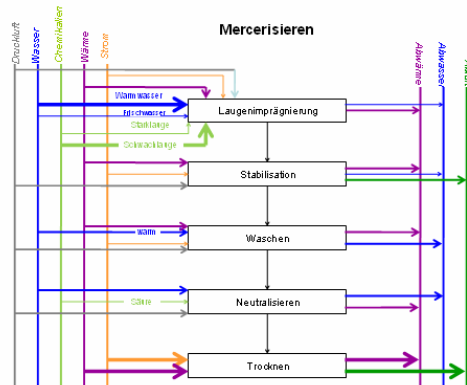


Fussenegger Prozess

NACHHALTIGwirtschaften



NACHHALTIGwirtschaften



Fragen zum Prozess

NACHHALTIGwirtschaften

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Prozessschritt: Mercersieren									
2	Teilprozess: Waschen									
3	1. Beschreibung der IST-Situation									
4	Ziel des Teilprozesses:									
5	geräumte Textilien									
6										
7	Daten zur Apparatur/Maschine:									
8	Fabrikat / Type	Benninger Extracta								
9	Baujahr									
10	Betriebsweise (kontinuierlich, batchbetrieb)	kontinuierlich								
11	Nutzungsdauer /Tag, /Jahr	täglich 10h, 250 Tage/Jahr								
12	Anzahl der Chargen, Dauer	Chargen 200-3000m, ca. 35min								
13										
14	Der Teilprozess verursacht den Einsatz folgender Stoff- und Energieströme:									
15		wenig	mittel	viel	Beschreibung, Zweck					
16	Zugeführt									
17	Wärme		x		aus HfKreisl. (165°) mit WT für 80° Erwärmung					
18	Wasser		x		WW aus 80°C Kreisl. (auf 60°C)					
19	Strom		x		Antrieb und Steuerung					
20										
21										
22	Abgeführt									
23	Wärme			x	Oberflächenabstrahlung mit Lauge (Schwachlaug), tw. Wiederverwertung (Schritt 1 und Chemikalienlager)					
24	Wasser									
25										
26										
27										
28	Fussnoten:									
29	Beschreiben Sie alle eingesetzten Energie- und Stoffströme									
30	Bewerten Sie diese hinsichtlich der Relevanz im Gesamtprozess/Einsatz									
31	Möglichst detaillierte Beschreibung von Prozessrelevanten Parametern wie Mengen, Temperaturen, Drücke									
32										



Schädliche Funktionen

NACHHALTIGwirtschaften

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
33	2. Beschreibung der Ist-Situation für jeden Prozessschritt mit schädlichen Funktionen									
34	40. Schädlichen sind jede Zu- und Abfuhr von Energie und Stoffen bezeichnet, die für den Prozess verwendet werden um das Produkt herzustellen.									
35	a) Warum findet der Teilprozess statt?									
36	Auswaschen der Lauge aus dem 1. Teilprozess									
37	b) Warum gerade an dieser Stelle im Prozessablauf?									
38	?									
39	c) Ist dies Ihrer Meinung nach der bestmögliche Ort für diesen Schritt im Prozessablauf? (Begründung angeben)									
40	?									
41	d) Warum wurde dieser Teilprozess (Methode, Technologie) ausgewählt?									
42	nicht bekannt									
43	e) Kann man die Reihenfolge der Prozessschritte oder der Teilprozesse verändern, um schädliche Funktionen zu minimieren?									
44	nicht bekannt									
45	f) Kann man den Teilprozess weglassen? Was müsste ich am Vorprozess oder an einer anderen Stelle ändern, damit ich den Prozess weglassen kann?									
46	nicht bekannt									
47	g) Ist dies Ihrer Meinung nach die beste verfügbare Technologie? (Begründung angeben)									
48	ja, weil die Textilien ohne Waschmittel im Gegenstromprinzip gewaschen werden und die Schwachlauge wiederverwertet wird (1. Teilprozess und Chemikalienlager)									
49	h) Wer hat die Prozessparameter festgelegt? (Temperatur, Druck, Laufgeschwindigkeit,...)									
50	nicht bekannt									
51	i) Basieren die Parameter auf eigenen Erfahrungswerten, Herstellerangaben, Referenzwerten...									
52	nicht bekannt									
53	j) Seit wann gelten diese Parameter?									
54	nicht bekannt									
55	k) Würden diese Parameter schon einmal verändert?									
56	nicht bekannt									
57	l) Wie müsste man die Parameter oder den Prozess verändern, um die schädlichen Funktionen zu minimieren?									
58	Isolierung (Wärmeabstrahlung)									
59	Ergebnis: Dokumentation der Prozessschritte, Erkennen der schädlichen Funktionen, (erste dokumentierte Optimierungsansätze)									
60										
61	3. Idealer Prozessschritt (für jeden Prozessschritt mit schädlichen Funktionen)									
62	im Hinblick auf ein qualitativ hochwertiges Produkt (kein Abfall, minimaler Energieverbrauch, kein Wasserverbrauch, kein Abwasser, vgl. Carnot für Kreisprozesse)									
63	Ergänzung durch Funktionsanalysen der Prozessschritte									

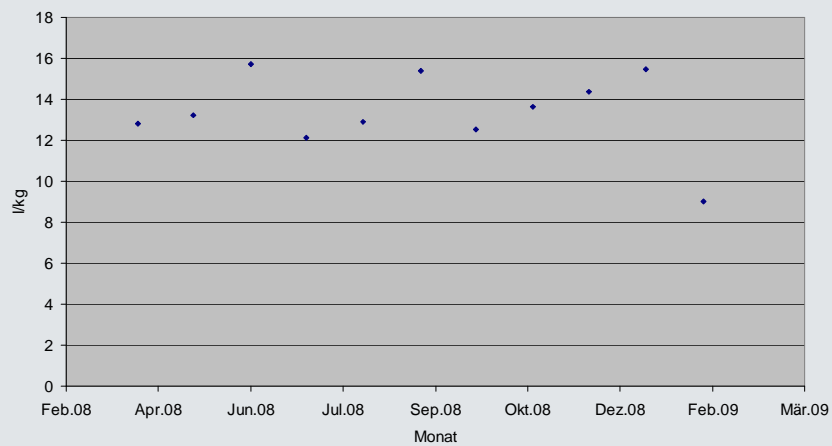


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
61	3. Kleiner Prozessschritt (für jeden Prozessschritt mit schädlichen Funktionen)										
62	im Hinblick auf ein qualitativ hochwertiges Produkt (kein Abfall, minimaler Energieverbrauch, kein Wasserverbrauch, kein Abwasser, vgl. Carnot für Kreisprozesse)										
63	Ergänzung durch Funktionsanalysen der Prozessschritte										
64	a) Kann man Prozessparameter variieren, um dem #R näherzukommen?										
65	65										
66	b) Können Funktionen entfallen?										
67	67										
68	c) Können Funktionen von anderen Elementen übernommen werden? (Elemente sind andere Prozessschritte)										
69	69										
70	d) Können zusätzliche Elemente schädliche Funktionen reduzieren?										
71	71										
72	e) Gibt es organisatorische oder technische Alternativen, die die Schadfunktion vermeiden?										
73	73										
74	f) Was hält uns davon ab, diese Alternativen einzusetzen?										
75	75										
76	g) Kann eine schädliche Funktion aus einem Prozessschritt in einem anderen Nutzen stiften oder deren schädlichen Funktionen reduzieren?										
77	77										
78	h) Wird der Prozess an anderer Stelle (mit gleichen oder anderen Parametern) wiederholt? Ist das notwendig, gibt es Alternativen?										
79	79										
80	Ergebnis: Funktionsanalyse, Trimming, Optimierungsansätze und Optimierungsschritte										
81	81										
82	82										
83	83										
84	84										
85	85										
86	86										
87	87										
88	88										
89	89										

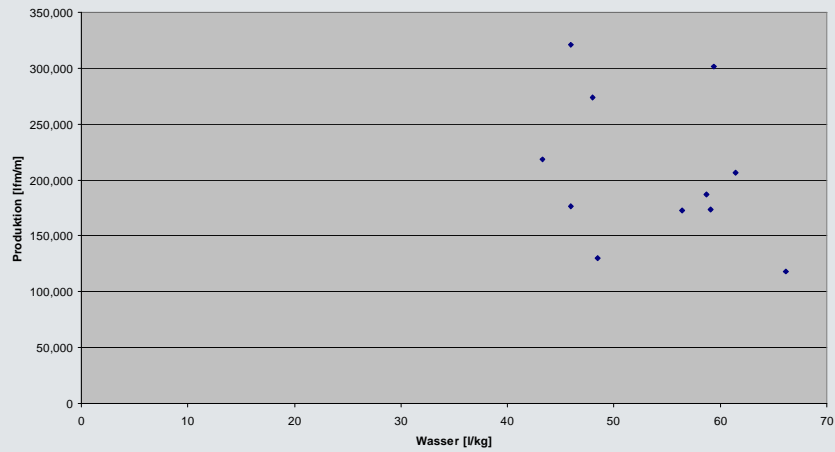
- Wiederverwendung der Schwachlauge
- Konzentrationsabhängige Regelung des Waschwassers
- Verbesserung der Isolierung von Leitungen und Maschinen
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft der Trockner (Vortrocknen, Verbrennungsluft)
- Regeln der Luftmengen
- Vermeiden von Übertrocknen
- Verkürzung des Leitungsnetzes
- Weglassen des Trocknen (z. B. von Kaltbleiche zum Mercerisieren)
- Regeln der Wassermenge nach Schmutz, Flächengewichten, etc.
- Wasserrecycling an Senge (Filter)
- Höherer Abquetschdruck, Absaugen

- Vorgehensweise:
 - Anwendung der Matrix
 - Fließbild
 - Aufzeigen der schädlichen Funktionen
 - Fragenblöcke zur Entwicklung von Lösungsansätzen
- Bringt qualitative Ansätze
- Gute Ergänzung durch Controlling und Benchmarking

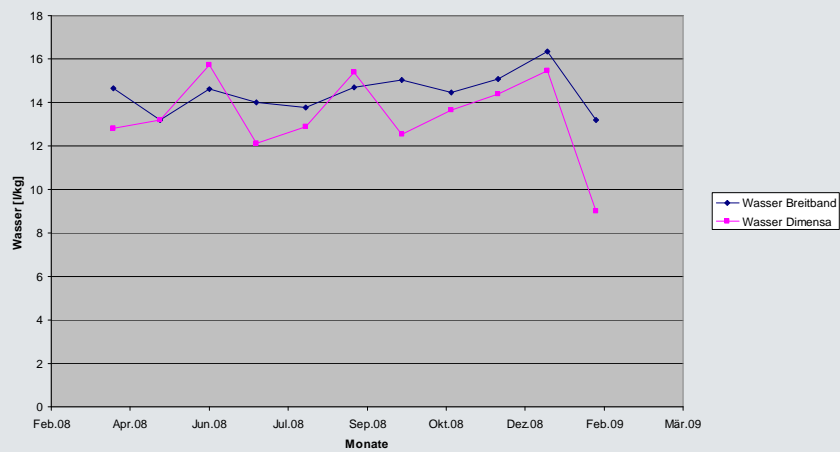
Wasser Trikoflex



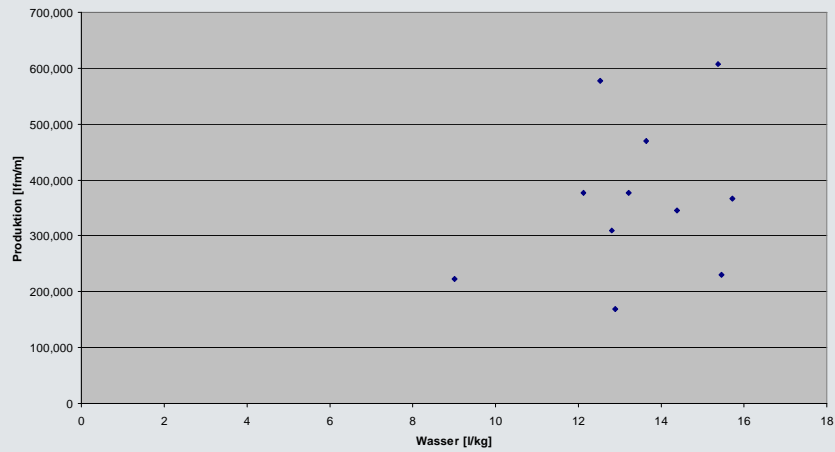
Korrelation Wasser-Produktion Trikoflex



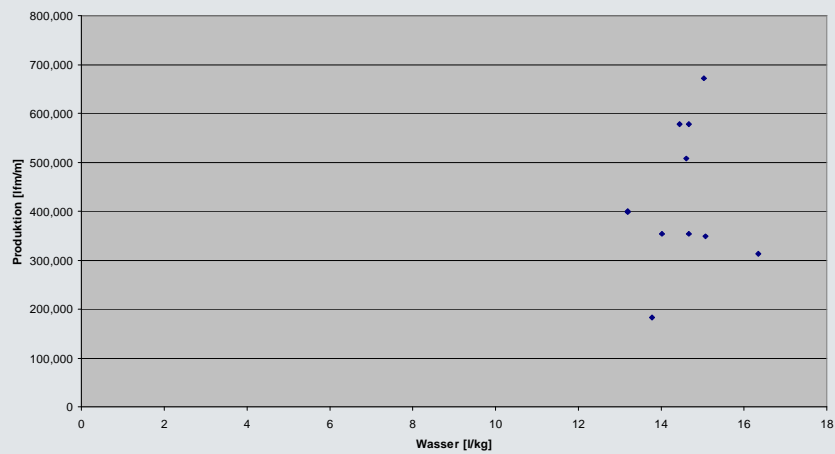
Wasserverbräuche



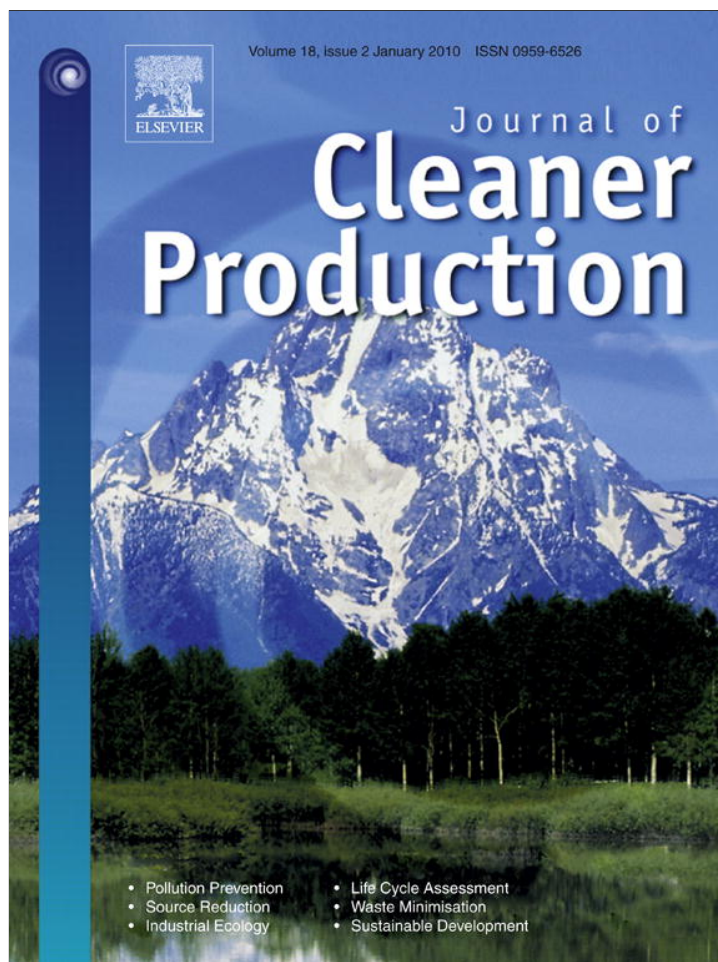
Korrelation Wasser- Produktion Dimensa



Korrelation Wasser - Produktion Breitbleiche



Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

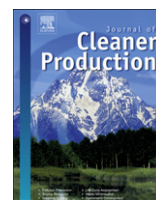
In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro

The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects

Johannes Fresner*, Jürgen Jantschgi, Stefan Birkel, Josef Bärnthaler, Christina Krenn

STENUM GmbH, Geidorfgürtel 21, 8010 Graz, Austria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 May 2009
 Received in revised form
 6 August 2009
 Accepted 21 August 2009
 Available online 2 September 2009

Keywords:

Cleaner production
 Material efficiency
 Waste minimisation
 Zero emission
 TRIZ
 Energy efficiency
 Ideal final result
 Laws of evolution

ABSTRACT

Cleaner Production is an organized approach to minimize industrial waste and emissions by increasing the efficiency of the use of materials and energy. It is propagated especially by UNIDO and UNEP as an approach to identify preventive measures to cut on waste and emissions from industrial activities. Case studies conducted by the authors in the last 10 years demonstrate, that in a number of cases water consumption per production unit of industries from the surface treatment sector, from food processing and from the textile industry could be reduced by 30–90%, auxiliary materials consumption could be reduced by 30–50%, and energy consumption of processes could be reduced by 15–25%. All these measures were actually economically beneficial for the companies, most of these measures paid back in less than one year [1].

The standard approach to apply Cleaner Production originates from chemical engineering. It follows the steps of: Drawing a process flow sheet – collecting input/output data – doing mass and energy balances – identify sources for waste and emissions – set priorities – identify options. In the process of option generation one generally relies on expert knowledge or on checklists which are available in different manuals or in the best available technology reference (BREF) notes.¹ This approach is strong with teams with an (chemical) engineering background.

The authors wanted to develop a generic approach for option identification especially for teams with little formal engineering background or teams which have to go beyond their professional experience by using elements of the so-called TRIZ method (Theory of inventive problem solving, or originally Russian: “теория решения изобретательских задач” (Teoria reschenija isobretatjelskich sadatsch)). TRIZ offers very strong tools for developing process improvement options on a generic level without specific technological knowledge about the process which shall be improved. The authors have found from their research that especially the concept of the Ideal Final Result, and the Laws of Evolution form a conceptual framework which can aid effectively in the identification of improvement options in a systematic way.

© 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Cleaner production in a nutshell

Production-integrated – or preventive – environmental protection aims at reducing the amount and danger of waste and emissions and – as a consequence – also the costs for raw materials, water, and energy. Compared to the disposal of waste and to end-of-pipe technologies preventive environmental action offers several advantages:

- Reducing waste and emission generally means using smaller quantities of materials and energy, which has the potential for economic savings
- Reduction of waste and emissions usually triggers an innovative process in the company because of the intensive focus on the analysis production processes
- Risks regarding environmental liability and disposal are reduced to a minimum
- Reduction of waste and emissions means moving towards sustainable economic development

In traditional waste management the question is:

- What is to be done with the waste and emissions generated?

* Corresponding author. Tel.: +43 316 367156; fax: +43 316 367156/13.

E-mail address: j.fresner@stenum.at (J. Fresner).

¹ The BREF-notes are documents developed by the European Commission to support companies and the relevant authorities in the process of upgrading their technology to best practice standards, as required by the IPPC directive (Integrated Pollution Prevention and Control; Directive 2008/1/EC). They state best practise regarding pollution prevention for most industrial sectors.

Preventive, integrated environmental protection on the other hand asks:

- Where do waste and emissions in my company come from?
- Why have they become waste and what can we do to minimize their generation?

Main tools of cleaner production are flow sheeting, and material and energy balances [1,2]. Flow sheeting uses black box modelling of process steps as a tool. This provides for a quick overview, especially of complex manufacturing processes. However, it does not necessarily analyse the activities within these black boxes in detail. It therefore depends also on the skills and experience of the expert building the black box model to do it detailed enough to account for process steps relevant in identification of sources of waste and emissions but keep it simple enough to keep the model manageable. Data for material and energy balances often can be taken from accounts (for a year), but have to be weighed and measured for more detailed balances. This makes this step time consuming and sometimes difficult in practise, if process documentation is not in place and has to be developed for the CP project.

Out of experience, a systematic representation of cleaner production strategies has been developed.

Generally, cleaner production strategies aim at the optimisation of material and energy flows by process modification (change of raw materials, changes in operational practise, technological changes), internal and external recycling. The following table gives an overview of interpretations of these strategies (Tables 1 and 2).

These strategies act as general principles. In a cleaner production project, firstly waste and emissions will be identified, quantified, prioritized according to the monetary value of waste materials calculated from the price of raw materials, energy, and processing, and energy and because of hazards involved in manipulating materials. Consequently in a team session involving plant personnel and external consultants during a brainstorming these principles are used to generate ideas which then can be used to minimise waste and emissions. This works nicely, if at least

Table 1
Cleaner production strategies.

CP Strategy	Description
Changes in operational practises	Standardization of processes (training) Control (improve accounting, create responsibilities, Improvement of process utilisation Improvement of dosage (see standardisation) Longer intervals for changes of auxiliary materials Improvement of procurement (see raw materials)
Change of raw materials	Use of less toxic materials (organic solvents, halogenated solvents, petrochemical products, cleaner raw materials, less asbestos, less heavy metals) Use of waste materials Use of less different materials
Technological change	Use mechanical processes instead of physical or chemical ones Use of counter flow processes Separation of waste Improvement of process conditions Improvement of energy efficiency of processes (by insulation, heat recovery) Reduction of drag in of impurities
Internal recycling	Re-use of material Re-use of structure Re-use of energy
External recycling	Re-use of material Re-use of structure Re-use of energy, e.g. for district heating

Table 2
Specific examples for cleaner production strategies for metal manufacturing and the textile industries.

CP Strategy	Example
Changes in operational practises	- documentation of key process data (consumption of water, energy, chemicals) - use of indicators for process analysis and control - switching off equipment which is not used - planning production so that it is as continuous as possible (to minimize start up, shut down, idle phases)
Change of raw materials	- use of water based paints instead of solvent based paints - use of water based degreaser instead of solvents - replacement of asbestos fibre insulation materials by mineral wool - replacement of cyanides in galvanising - use of heavy metal free dyes in the dyeing of textiles
Change of technology	- installing a humidity sensor and automatic control of airflow in a tenter - installing a three-stage counter flow rinsing cascade in a galvanising plant - improvement of process conditions by automatic dosing pumps for the process chemicals - removal of water by pressing and by vacuum from fabrics before thermal drying
Internal recycling	- shredding gate system in injection moulding and mixing the granulate to the raw material - reusing heated cooling water in cleaning the plant
External recycling	- use of returnable packing system - use of process waste heat to heat office buildings - recycling of polyethylene film through re-granulation

somebody in the team knows from experience or training about options which can be applied to the case.

Most of the environmental managers working on Cleaner Production projects, however, seem to have little formal higher technical education. A recent survey of 45 companies currently participating in the Ecoprofit Club in the City of Graz done by the authors shows, that 24% are skilled workers, 22% have a high school degree, 22% a technical high school degree, 10% an University degree in natural science (master), 9% a business degree, 6% a law degree, and 7% an engineering degree. None had a chemical engineering degree.

Therefore the authors were looking for an approach:

- Which is applicable without chemical engineering training
- Which includes tools which use a modelling language as close to natural language as possible
- Which is helping groups to go beyond the knowledge they have from their own training and experience in the identification of options for improvement

2. Cleaner production and TRIZ – a comparison

TRIZ was defined by Russian researchers from the 1940s on as the “Theory of inventive problem solving”. These researchers, pioneered by Genrich Altshuller looked for fundamental principles of inventive problem solving. Altshuller analysed a big number of Russian patents for generic principles how the patented solutions were arrived at. He identified the following laws of evolution of technical systems:

1. Stepwise evolution of systems: systems evolve in discrete steps.
2. Increasing ideality²: systems evolve towards ideality, characterized by supplying the technical function without causing any harmful effects (in terms of effort, resource consumption, etc.)

² “Ideality” in TRIZ is defined as: total of useful functions over total of harmful functions (harmful functions include waste and cost), functions are defined strictly from a client's perspective.

3. Different evolution of system elements: system elements evolve on different levels
4. Increase in dynamics and control: systems are dynamized, control increases over evolution
5. Increase in complexity and decrease again: the complexity of a system increases and decreases again after reaching a certain level of complexity
6. Increase of coordination: the rhythm of the different elements of a technical system becomes more and more coordinated
7. Miniaturisation: the system and its elements tend to become miniaturized
8. Decrease in human interaction: Human interaction with the system decreases with evolution

The authors found during their analysis, that the eight TRIZ principles show similarities and some correspondence to the strategies of Cleaner Production. Table 3 compares the strategies of Cleaner Production to the Laws of Evolution as defined by Genrich Altshuller [3].

Genrich Altshuller also found, that the process of inventing actually means to locate “contradictions” in a system, which keeps it from performing according to the ideal solution, and to solve them. Contradictions can be either technical, or physical. Technical contradictions appear, when there are conflicting requirements regarding two different parameters of a technical system (e.g. the display of a laptop should be bright, and the life of the battery should be long, at the same time). Physical contradictions appear, when the same parameter should show different properties at the same time (e.g. a coffee mug should be hot (to keep the coffee hot) and cold at the same time (to allow to touch it). If the underlying physical contradiction can be identified, it usually can be solved by:

- Separating the system in time (change properties, so that they can vary in time and thus comply: store the coffee first in an insulated mug and transfer it to a cup just before serving it)
- Separating the system in space (change properties, so that they can vary locally and thus comply: e.g. adding a handle to the coffee mug)
- Separating the boundary conditions (e.g. change the process of coffee making to instant coffee which can be prepared at a lower temperature)

A full explanation of these separation principles can be found in Ref. [4]. The process of problem analysis, identification of technical contradictions, transferring them to physical ones and solving them later on was codified and called ARIZ [5].

Scholars of Altshuller later on worked on rephrasing the laws of evolution to facilitate their application. An easy to apply version are the so-called “Lines of evolution” [4].

TRIZ was applied in a number of companies in the last 20 years to solve different problems (among them Procter & Gamble, Ford Motor Company, Boeing, Philips Semiconductors, Samsung, LG Electronics). TRIZ applications to the design of products in cooperating sustainability and eco-efficiency related problems are documented in the literature, however rare [6–10]. Explicit use of TRIZ within CP is not documented until today, according to the knowledge of the authors. TRIZ, however, has been used within six sigma projects effectively [11].

This comparison of CP and TRIZ indicates, that – using the language of TRIZ – CP actually focuses on understanding optimum process conditions, optimising control and reducing human interaction to develop the process towards the ideal result and the ideal process. The ideal result in CP is defined by reaching the main useful function of the process in the absence of waste and

emissions, minimum generation of by products, and minimum consumption of water and energy and thus minimum unnecessary cost. This formulation of Cleaner Production using the definitions of TRIZ can lead to a more generic definition of the concept of Cleaner Production as compared to the strategies of Cleaner Production.

The appropriate optimisation strategy can be derived from the concept of the ideal final result (Fig. 1). The TRIZ algorithm requires that at the beginning of the problem solving process a model of the current situation should be developed, picturing it accurately, showing the elements of the problem and their interactions, together with the resources available for problem solving. This is called function analysis. A function analysis models a technical system as a system of components and functions. A function is an activity, by which one component of a system changes a property of another component (Subject changes a property of an object). The definition of functions is similar to describing activities in natural language, and therefore easy to comprehend and apply also for non-technical members of the team. The function model literally opens up the black box models of process steps normally used in CP. It very quickly guides to the elements of a problem that require change and very often also helps to trigger suggestions how to change.

On the basis of the function model, the ideal final result is developed. The ideal final result is defined as the delivery of the main useful function of the system without any harmful functions. This analogy then is taken as a starting point for the identification of a practical realization.

If the model of the ideal final result cannot be translated into a practical solution, a backcasting procedure is recommended. Starting with the question: what keeps us from realizing the ideal solution, intermediate stages for problem solving are identified and again corresponding potential solutions. When again no corresponding practical solution can be identified, this step is repeated, until solutions have been found [12].

Grawatsch uses the following questions in the optimisation procedure after defining the ideal final result (as defined by achieving the desired function of the process without cost or harm) [13]. Grawatsch calls this process “trimming”:

- Can components or (ancillary) functions be gotten rid of?
- Can the need for a function be eliminated?
- Can functions of other components or the components themselves be taken over?
- Can unwanted functions be eliminated by other functions?
- Can operating components be replaced by other components?
- Can operating components be replaced by existing resources?
- Can the system take over functions itself?
- Can freely available resources be used?

These questions are derived from the Laws of Evolution and can be correlated to these (Table 4). These questions can be considered as a very basic representation of TRIZ problem solving knowledge.

For example, the application of the trimming procedure to rinsing in galvanising would produce the following reasoning:

The problem is the consumption of rinsing water used to dilute the film of dragged out chemicals on the surface of the parts.

A brief excursion: During the analysis the question could be raised, whether the parts require galvanic surface treatment or whether the process could be avoided at all by applying alternatives, like powder coating. This is a justified question, which needs to be analysed. To ask this question in many applications will be out of the scope for small and medium sized enterprises which use processes specified by their suppliers. In some cases truly new process alternatives can be initiated by asking this fundamental question.

Table 3
Comparison of the strategies of cleaner production and the laws of evolution.

CP strategy → Line of evolution ↓	New raw materials	Changes in operational practises	Internal recycling	External recycling	Technology change	Product redesign
Stepwise evolution of systems	Acquiring Material safety data sheets, evaluating them, using them in supply chain management	Improved organisation of processes, continuous control, full implementation of management system	Separate useful fractions, reuse them, install continuous process	Separate useful fractions, find application, install continuous process	Mechanical instead of physical or chemical (decrease number of transformations)	New materials, new technologies, new manufacturing processes
Increasing ideality	Purer raw materials, with less toxic substances	Narrow process conditions to optimum conditions	Close cycles internally (e.g. cooling water, vapour recompression)	Industrial Ecology	Reduce drag in, improve process conditions, improve mixing, avoid dead zones	Avoid harmful materials, longer life
Different evolution of system elements	New materials with special properties to replace standard ones	Less developed components are typically control of utilities and auxiliary materials	Technology used in sensors, controls, drives	Quality control of waste	Heaters, drives, controls	New materials, new manufacturing processes
Increase in dynamics and control	Automatic control of dosage	Organisation, control, standardisation	Conditional internal recycling (e.g. by conductivity control)	Considering feedback from external companies regarding specifications	Counter current flow, cascaded use, Energy efficient systems	Use of recycled materials
Increase in complexity and decrease again	Automatic dye preparation system, finally based on three elementary colours only	Integrated management systems	Process integrated internal recycling (runners in injection moulding), reactants in chemical processes	Waste separation, replaced by application for mixed waste (yarns for carpets, plastic for fuel)	Separate waste	Integration of additional functions
Increase in coordination	Electronic purchasing, automatic stock control	Improving utilisation of plants, synchronise processes, preparatory action	Reuse waste in same process immediately	Customer specifications for accepting by products	Size/speed of equipment, preliminary action	Design for recycling
Miniaturisation	High tensile steel, thinner film	5S: minimize stock	Minimize hold-up, high pressure cleaning instead of flushing	Continuous supply	Micro reactors, use of staged systems	Integration of electronic elements, sensors
Decrease in human interaction	Preformulation of tailored formulations	Automatic process control	Automatic recycling (coolant, water)	Automatic sorting (e.g. glass, paper)	Automatic control	Automatic functions (calibration)

Assuming we need galvanic treatment, the ideal final result for rinsing in galvanising would be a surface free from contaminants ready for the next process step, without any harmful functions (wastewater, waste, and energy consumption). In process optimisation we can get closer to this goal by the elimination of the adhering film on the work piece from the very beginning, as this is causing the need for rinsing and the need for rinsing defines the use of water, the rinsing technology, etc.

In order to identify the useful function and the harmful functions of a process, a function analysis of the relevant process

steps generating waste and emissions is performed. A plant consisting of a pickling tank and a rinsing water tank has the following elements:

- Parts
- Oxide
- Racks
- Acid solution

Table 4
Comparing the questions of the trimming procedure to the laws of evolution.

Laws of Evolution	Corresponding optimisation questions
Stepwise evolution of systems	Can the need for a function be eliminated?
Increasing ideality	Can operating components be replaced by existing resources (free, perfect, now)?
Different evolution of system elements	Can operating components be replaced by other ones (more advanced ones)?
Increase in dynamics and control	Can the system take over functions itself?
Increase in complexity and decrease again	Can components or functions be gotten rid of?
Increase of coordination	Can unwanted functions be eliminated by other functions?
Miniaturisation	Can operating components be replaced by other ones (smaller ones)?
Decrease in human interaction	Can unwanted functions be eliminated by other functions (automatic control)?

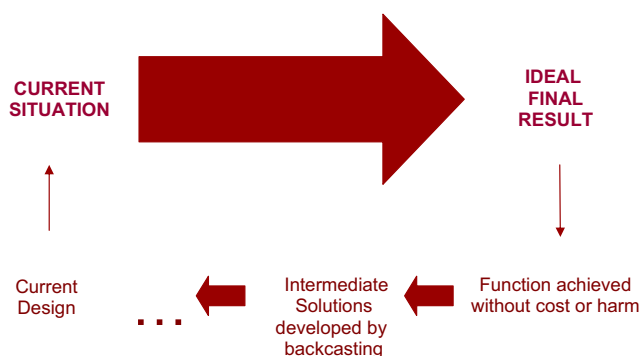


Fig. 1. Solving optimisation problems using the Ideal Final Result [13] and backcasting.

- Acid tank
- Rinsing water tank
- Rinsing water
- Valve
- Operator
- Crane, etc.

The plant is modelled in a function analysis in the following way (Fig. 2):

- Acid bath dissolves oxide (main useful function)
- Acid bath adheres to surface (of part)
- Parts hold an acid bath film
- Rinsing water dilutes acid film
- Valve controls water (flow)
- Operator opens valve
- Racks hold parts
- Crane holds racks
- Operator measures concentration (of acid in tanks)
- Operator adds acid
- Water generates wastewater
- Oxide reduces activity of bath
- Acid bath generates spent bath, etc.

Except from the one useful function, all other functions are actually harmful: they do not contribute to the goal of the process, and cause cost or waste or emissions.

Applying the questions from above after a function analysis and the definition of the ideal final result gives the following results (Table 5):

Possible solutions according to the definition of the Ideal final result asking Grawatsch's questions would be:

- No adhering film to work piece (e.g. by using surfactants which facilitate perfect draining because of low surface tension)
- Maximum reduction of drag out (e.g. by longer dripping times to allow perfect draining)

If these solutions cannot be realised, the solution finding process would propagate back from the ideal final result asking the question: What is the next best solution?

In the case of the rinsing problem this solution could be:

- Most effective dilution of adhering film to the concentration tolerable in the next process step
- Optimum reuse of rinsing water if we cannot avoid rinsing (e.g. by cascading rinsing water)
- Optimum use of water (e.g. by defining a rinsing criterion and measuring the conductivity of the effluent water)

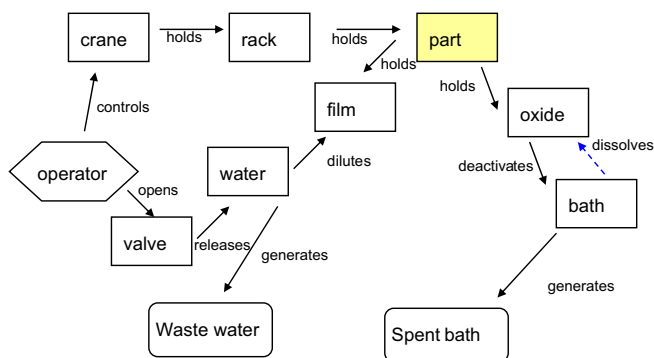


Fig. 2. Function analysis of the pickling process (dotted line: useful function, full lines: harmful functions; boxes: elements of the system, rounded boxes waste, hexagon: super system).

Table 5

Backcasting as problem solving approach in optimising a galvanising plant (ideal final result: minimum adhering film of active bath, minimum necessary dilution of this film).

Question for backcasting from ideal final result	Questions risen during function modelling	Examples
Can the need for a function be eliminated?	How can the need for rinsing with water be eliminated?	Reducing drag out by longer dripping times, mounting parts at angles, avoid scooping, defining proper rinsing criteria,
Can components be gotten rid of?	Which components of the galvanising system (surface of parts, racks, drag out) can be gotten rid of?	Reduce drag in of impurities (grease, oil), Reduce surface area of parts, but also of racks Reduce components which increase viscosity of solutions (by reducing the contents of metals) Cascade, spray rinses
Can functions be taken over by other components?	Can components be introduced which can perform the functions of diluting the adhering film?	
Can unwanted functions be taken over by other functions?	Can dilution of adhering film be achieved in a different way?	Blowing, use of recycled water, reduce viscosity of films by increasing temperature
Can the system take over functions itself?	Which functions of the galvanising system can be assigned to the system itself?	Conductivity control of rinsing water, automatic control of the crane to guarantee dipping and draining times
Can operating components be replaced by existing resources?	Which components could be replaced by plant resources (heat, pressurized air)?	Air blowing to blow of drag out
Can free resources be used (time, air, space ...)?	Can resources like air, time and space help to improve the system?	Improve dripping time, overflow in rinsing cascades by gravity

3. Case study: ZERMEG (Zero emission retrofitting for five existing galvanising plants)

The approach described above was used in later stages of the project "ZERMEG". The ZERMEG project was carried out within the framework of the Fabrik der Zukunft ('Factory of the Future') programme, and was commissioned by the FFG, the Austrian Research Funds, and BMVIT, the Austrian ministry for innovation and transport [14].

ZERMEG stands for 'Zero emission retrofitting method for existing galvanising plants'. ZERMEG's aim is to define a method to achieve the implementation of measures to modernise existing galvanic plants in such a way that:

- The amounts of wastewater produced and the pollutants content of the wastewater are minimised;
- Constituents of the baths can be recovered;
- Non-reusable waste can be recycled by other companies and sectors.

ZERMEG specifically wants to assist in the identification of all measures that have the potential to reduce waste and emissions from a process, and are economically feasible at the same time.

Now, two optimisation approaches can be chosen: The first one was published by Fresner [15]. The first step towards improving water efficiency in a galvanising plant involves a thorough analysis of the consumption of water and chemicals in the various process steps. These data could be derived from accounting data, such as

the amounts of chemicals bought, or from on-site measurements and asking people who work with the equipment. All incoming and outgoing material flows should be recorded in as much detail as possible. If the company being analysed has an adequate environmental management system and employees with a background in doing mass and energy balances, these figures are relatively easy to find, otherwise it may take a while to obtain the necessary data.

In order to calculate specific indicators for benchmarking it is necessary to record the surface area per part and the throughput of parts per unit time. Data on the surface related consumption of water and chemicals are essential instruments for the localisation of measures to reduce consumption. Surface area can be measured from the geometric dimensions of the parts, calculated from their weight, or calculated from the electric current in electroplating processes [16].

The rinse criteria are defined as the ratio of the concentration of salts in the active baths over the concentration of salts in the respective final rinsing water. The actual rinse criteria are determined from measurements of the concentration of salts in the dragged out solution and the final concentration of the same salts in the last rinsing step in the plant.

To determine the ideal rinse criteria, the suppliers of the chemicals used in the baths are asked for the optimum concentration of the adhering liquid film on the work pieces after the last rinse step before the respective bath.

The ideal water consumption can be calculated using the compilation of formulae for the water consumption of a static rinsing tank, spray rinse, and two and three step counter current rinsing cascades of Nagy [16] for the feasible configuration of rinsing tanks in the plant. These data can be the reference for benchmarking [17]. Surface related data about consumption and the concentrations of chemicals are important indicators upon which optimisation approaches may be built. The ideal drag out for a given geometry is calculated according to the method of Kimmerl [18]. There will always be a variation in the parts to be coated, the drag out must be calculated for the different parts individually and then integrated according to the surface contribution of the individual parts. The ideal water consumption is then the minimum of the water consumption to reach a given rinsing criterion with the feasible configurations of rinsing tanks including the addition of rinsing stages, depending on space and cranes.

The ideal consumption of chemicals in the active baths is calculated from the ideal minimum drag outs and the models for the chemical reactions being used in the process.

This first strategy was applied to five galvanic plants with different processes (wire production, printed circuit board production, hot-dip galvanising, anodising and the production of printing cylinders).

The rinsing technology used by the wire producer was changed by the following measures:

- Combination of a two-stage rinsing cascade with a static tank to form a three-stage rinsing cascade;
- Separation of the rinses in the continuous pickling plants into three-stage rinsing cascades

The volume of rinsing water in the static pickling has already been reduced by 50%. At the same time, a theoretical approach that should allow the spent acids to be used in another company has been developed in recent months.

Two improvements were implemented at the printed circuit board manufacturers:

- An electrolysis plant to recover copper from etching concentrates and rinsing water;

- Use of caustic stripping solutions to neutralise acid concentrates.

This company was able to acquire a practically new used electrolysis plant. The feasibility study showed that the plant should definitely be installed. Because of capacity issues, however, the electrolysis plant was not installed at the location which participated in the project, but at a sister plant, which now recycles 20 kg of copper from the wastewater each day. The wastewater treatment plant now uses caustic concentrates after filtration to neutralise acidic concentrates. This saves 20 tons of caustic soda and a similar volume of hydrochloric acid a year.

At the hot-dip zincing plant, a consistently separated management of pickling tanks was introduced by completely separating the dezincing and pickling operations. They are currently recycled completely by two other companies. The topping up of the pickling baths is done on the basis of monthly bath analyses and consistent application of the mixing rules. This has reduced the acid consumption in 2004 by 50% compared to 2003.

In the anodising company, the direct evaporation of the rinsing water offered a good opportunity to install a complete rinsing water cycle. No organic compounds were found in the distillate, and its salts content is very low. This process should be implemented, if there is enough space for a third stage in the two rinsing cascades.

At the printing cylinder manufacturer, the galvanising machines were equipped with new flat nozzles with an optimised geometry, and water pressure was minimised. This reduced the water consumption by 50% and the acid consumption by 40%. The results are summarized in Table 6.

The implementations included measures which pay back in 0.5–3 years. Additional measures to further decrease the disposal of acids and caustics to the wastewater are technically feasible, but remain too expensive.

As an alternative approach to minimizing emissions from galvanising plants, a TRIZ based methodology was applied. In consecutive studies, as an alternative approach the TRIZ based Cleaner Production procedure was used (Austria Email, Austria Buntmetall, Omax, Orient, Union Steel). For each of the plants flow charts were drawn. The project teams consisted of the technical director, the environmental manager, and several operators. None of them had a chemical engineering background. For the process steps generating significant wastewater volumes, the technical elements of the problem and the functions in between them (useful and harmful functions) were identified (comparable to Fig. 3). Using this as a basis, in brainstorming sessions within the project teams within the company, the ideal final result was identified and the trimming questions were applied using the questions from Table 5 (third column). After this data regarding exact quantities and cost were generated to facilitate a feasibility analysis.

The results of this qualitative approach in these five plants were comparable to the results arrived at earlier by the more quantitative approach:

- In the continuous pickling line at Union steel the specific water consumption was reduced by 25% by cascading water in rinses
- In Orient and Omax by optimised rinsing water control by measuring conductivity consumption the water was reduced by 30%
- In Austria Email a combination of these measures yielded a decrease of specific water consumption of more than 50% (rinsing water cascade, automatic control of water flow)
- In Austria Buntmetall increasing the pressure of spray rinses and recycling of water resulted in a reduction of more than 50%.

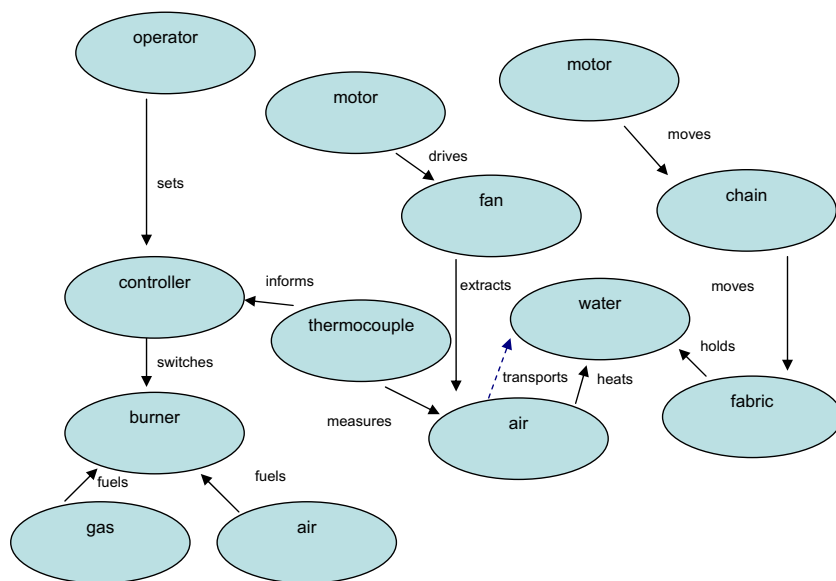


Fig. 3. Function analysis of the drying process in a tenter (dotted line: useful function, full lines: harmful functions, no waste or elements of the super system included).

4. Case study: ZERMET (Zero emission retrofitting for three existing textile plants)

Starting from 2008 on, the authors applied the TRIZ based Cleaner Production procedure to several textile mills in Austria (Fussenegger, Leichtfried, Baumann), within the ZERMET project, which again was funded by the FFG. The main goal of ZERMET was to proof the transferability of the TRIZ based ZERMEG approach to a second sector.

Initially, a flowchart was drawn for the processes in each of these mills. These flow charts were used to identify sources of wastewater and energy emissions. Then together with the project teams in the companies, priorities were assigned. Consequently, detailed analyses were conducted for priority areas.

Table 6
Summary of the ZERMEG results in the first five case studies using benchmarking to identify the ideal final result.

Company	Reduction of specific water consumption	Reduction of specific consumption of pickling medium (acid, caustic soda)	Other
Anodisieranstalt Heuberger AT&S	95% a	50% b	Recovery of 20 kg/d copper, savings of 20 tons/year of caustic soda, external use of sludge
Joh. Pengg AG	50%	c	
Mosdorfer GmbH	d	50%	Complete external use of spent acids planned
Rotoform GmbH	40%	50%	Complete external use of spent acids achieved

a Not relevant, because only the wastewater treatment was analysed.
 b Not relevant, because only the wastewater treatment was analysed.
 c Not yet analysed.
 d No wastewater from rinsing, because rinses are used completely to make up pickling baths.

The case of a tenter is described in the following paragraphs. A tenter is a unit commonly used in textile plants to dry fabrics while preserving the desired shape of the fabric after washing and also for wet finishing (the application of aqueous solutions of resins and chemicals to the fabric which are fixated by drying afterwards).

A tenter consists of two parallel chains with needles, which hold the fabric. These chains guide the fabric to a dryer, up to 50 m long, which is heated to the process temperatures (80–150 °C) directly by gas, or by thermo oil or steam. Air is extracted from the tenter to remove humidity (and chemicals, which evaporate from the fabric).

Fig. 3 shows the function analysis for a tenter.

Looking at this analysis in two plants the following optimisation routes were identified:

The function analysis showed that in the tenter air is heated to transfer heat to the water which is contained in the fabric. At the same time some of this air is used to transport the humidity, therefore a continuous stream of air is extracted via a fan.

The ideal solution would be dry fabric without any harmful functions (costly use of energy, generation of waste heat in the exhaust air). Replacing the wet process at all was out of scope because of the specific requirements of the client.

The closest approach to the ideal final result could be realized by eliminating the water first mechanically by squeezing the fabric (not feasible because of the nature of the fibres). What is the next best solution?

Changing the drying mechanism to high frequency microwave drying, would eliminate the need for air for heat transfer and reducing its function to the transport of humidity. This approach was already applied in drying specific fibres in one of the mills. For the other applications, this idea was abandoned because of the high investment. What is the next best solution?

In the case of two companies, the motor was driving the fan at a constant speed, regardless whether they were drying heavy fabrics holding 200 g/m² of water or light ones with less than 70 g/m². This was pointed out during the discussion in the team while developing the function model. Measuring the humidity in the exhaust and controlling the volume of airflow accordingly was the approach that led to a 30% reduction in gas consumption.

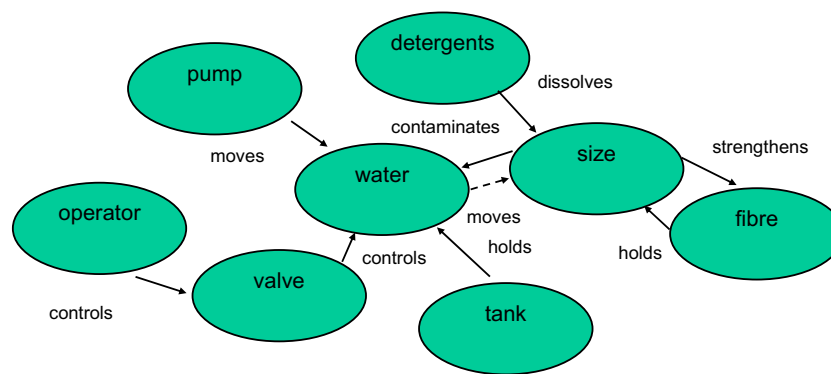


Fig. 4. Function analysis of the drying process in a tenter (dotted line: useful function, full lines: harmful functions, no waste or elements of the super system included).

Fig. 4 shows the function analysis for a washing process. Before weaving, size is applied to the yarn to strengthen it and to reduce friction. After weaving it has to be washed out of the fabric, because it would interfere with the consecutive wet finishing process. In the washing process, water and detergent is applied to solve the size. Rinsing water is used to rinse the dissolved size until the concentration of size in the fabric is below the maximum permissible concentration. The operator manually controls the water flow. During the discussion it was found that the water flow had been set for a worst case scenario of very heavy fabrics with a high concentration of sizes. Most of the fabrics actually contained a lot less size.

In this system, the use of size could not be changed. The company also did not want to change the chemicals used. The starting point for improvement was control of water: During the process of performing the function analysis it was discovered, that in the plant originally a conductivity control of the water flow had been installed. Because of technical problems it had been decommissioned years ago. The feasibility analysis showed that repairing it would save 35% of water consumption at a pay back of three months.

5. Conclusions

Analysing the strategies of cleaner production and comparing them to the Laws of Evolution from TRIZ has yielded a useful new interpretation of the strategies of Cleaner Production. The result is also a new convenient interpretation for explaining them in teaching. An effective approach to the minimisation of waste and emissions from industrial production processes is to conduct the following steps:

1. drawing of a flow sheet of material streams, auxiliary materials, water and energy, highlighting waste streams, wastewater generation, energy consumption and emissions, including auxiliary processes (like steam generation, air compression, water treatment)
2. performing a function analysis in the process steps where waste and emissions are generated
3. definition of ideality in these steps, applying trimming and backcasting intermediate solutions
 - select ideal raw materials (air, water, biogenic materials)
 - improve control of the process (documentation of key indicators, maintain optimum process conditions)
 - reduce human interaction by identifying possibilities for automatic control
 - improve the coordination of the production process with external requirements (also including recycling and passing function to the super system)

- look for alternative technologies (following the principles of reduction of number of transformations, use counter current flows, use staged processes)
4. collect data on flows and monetary value of raw materials, energy and waste and evaluate the feasibility of the options.

This approach takes the ideal final result as a starting point for optimisation. This vision can serve as a long-term objective to focus the decisions about possible options for change towards the most useful ones, given the greater picture of the ideal feasible result. Because it is more qualitative and relies on less data it is apparently easier to apply, less time consuming than the usually applied mass and energy balance based approaches to implement Cleaner Production and it requires less detailed expert knowledge for the identification of options.

The TRIZ based approach is a valuable tool to moderate group work on developing CP options, also with team members with little engineering background. It does not require encyclopaedic knowledge of sector specific technologies. It is a systematic semantic approach to create powerful, though simple models for project steps, allowing to identify the origin of process inefficiencies. The approach also allows to expand the problem solving space beyond the original disciplines of the team members.

This approach is easy to explain to project groups in companies, because it starts analysis at a concrete function, which is not performed in the best possible way using simple, familiar language. This again leads to the search for physical and chemical effects which improve the situation supporting or even replacing encyclopaedic expert knowledge which otherwise would have been necessary to interpret the CP principles.

Acknowledgements

The authors are grateful to the Austrian research programme Fabrik der Zukunft for funding ZERMEG and ZERMET, especially to Michael Paula, Hannes Bauer and Hans Günther Schwarz. The authors also appreciate the support of Andreas Tschulik.

References

- [1] Yaacoub A, Fresner J. Half is enough. Beirut: Graz, ISBN 3-9501636-2-X; 2006.
- [2] Fresner J. Setting up effective environmental management systems based on the concept of cleaner production: cases from small and medium sized enterprises. In: Hillary R. "ISO 14001 case studies and practical experiences". October 2000. ISBN 1 874719276.
- [3] Altshuller Genrich Saulowitsch. Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme. PI Verlag; 1998.
- [4] Mann D. Hands-on systematic innovation. p. 462. Ieper: CREAX Press, ISBN 90-77071-02-4; 2002.
- [5] http://www.ideationtriz.com/TRIZ_tutorial_2.htm [accessed 07.09].

- [6] Hockerts K. Eco-efficient service innovation: increasing business - ecological efficiency of products and services', in charter. In: Greener M, editor. Marketing: a global perspective on greener marketing practice. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing; 1999. p. 95–108.
- [7] Jones E, Mann D. An eco-innovation case study of domestic dishwashing through the application of TRIZ tools. *Creativity and Innovation Management* March 2001;10(1):3–14.
- [8] Chen JL, Liu C. An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis. *The Journal of Sustainable Product Design* December 2001;1(4):263–72.
- [9] Kobayashi H. A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning. *Advanced Engineering Informatics* April 2006;20(2):113–25.
- [10] <http://www.sixsigmatriz.com>.
- [11] Ericson A, Bertoni M, Larsson T. Needs and requirements – how TRIZ may be applied in product-service development. In: Second Nordic conference on product lifecycle management – NordPLM'09, Göteborg; January 28–29 2009.
- [12] Jantschgi J, Fresner J. Linking TRIZ & sustainability (training and consulting models). In: fourth European TRIZ symposium. Frankfurt/Main; June 30th–July 1st; 2005.
- [13] Grawatsch M. Module 3 of the support training course. Montanuniversität Leoben; 2005.
- [14] www.fabrikderzukunft.at [last accessed March 2009].
- [15] Fresner J. Galvanik ohne Abfall – ein unerreichbarer Wunschtraum? *Österreichische Chemiezeitschrift* 5, 2005;106:6–8.
- [16] Nagy RA. The analysis and design of rinsing installations, <http://www.pfonline.com/articles/web070001.html> [last accessed July 09].
- [17] Kimmerl P. Ausschleppverluste in der Galvanotechnik, *Galvanische Berichte*. VEB Galvanotechnik Leipzig 1968;5(1):15.
- [18] Fresner J, Sage J, Wolf P. A benchmarking of 50 Austrian companies from the galvanizing and painting sector: current implementation of cleaner production options and active environmental management. In: Proceedings of the eighth European roundtable on cleaner production. Cork; October 2002.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1

2 **Firma wer**

3 Firma wo

4 **Standortdaten**

5 **Produktionsgegenstände:**

6

7 **Produktionsgegenstand:** Gewebeveredelung

8

10 **Prozessschritt:** Senge-Abbrand

11

	Menge in Zahl	Einheit	Bezugsgröße
Produktionsmenge:	...	leer	leer

12 **bereits eingegebene Prozesse:**

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

	Gewichtung		
Energie	keine	...	leer
Wasser	keine	...	leer
Chemikalien	keine	...	leer

Eingabe speichern

Programm beenden und Eingaben speichern

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	Prozessname	Energie	Wasser	Chemikalien	zur genauen Auswertung mit x kennzeichnen													
1																		
2	Senge-Abbrand	2	1		x													
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		
28																		
29																		
30																		
31																		
32																		
33																		
34																		
35																		
36																		
37																		
38																		
39																		
40																		

Detailanalyse

1 Prozessschritt: Senge-Abbrand

2 1. Beschreibung der IST-Situation

3 Ziel des Prozesses:

4

5

6 Daten zur Apparatur/Maschine:

7 Fabrikat / Type

8 Baujahr

9 Betriebsweise (kontinuierlich, Batchbetrieb)

10 Nutzungsdauer /Tag, /Jahr

11 Anzahl der Chargen, Dauer

12

13 Der Prozess verursacht den Einsatz folgender Stoff- und Energieströme:

14 wenig viel sehr viel genauere Angaben zur Qualität

15 Zugeführt

16 leer

17 leer

18 leer

19 leer

20 leer

21 Abgeführt

22 leer

23 leer

24 leer

25 leer

26 leer

27 Fussnoten:

28 Beschreiben Sie alle eingesetzten Energie- und Stoffströme

29

30 2. qualitative Beschreibung der Ist-Situation des Prozesses

31

32 a) Warum findet der Prozess statt?

Navigation bar: Senge-Abbrand / Auswertung / Supermatrix

Drawing toolbar: AutoFormen, lines, shapes, etc.

Footer: Markieren Sie den Zielbereich, und drücken Sie die Eingabetaste.

Page number: NF

Integrierter Umweltschutz in der Textilindustrie

Faserreinigung und -vorbereitung (inkl. Spinnöle)

Wie kann man den Bedarf nach den Verfahren umgehen?

- Die Verwendung von neuen thermostabilen Präparationen mindert oder ersetzt wässrige Vorbehandlungsschritte

Welche Parameter kann man anwenden/einstellen?

- Einsatz von thermostabilen/emissionsarmen Präparationen (sterisch gehinderte Fettsäureester, Polyolester, Polyester/Polyetherpolycarbonate)
- Einsatz optimierter Fasern:
 - Polyester (Alternative PES-Fasern mit Katalysatoren auf Basis von Titan/Silicium-Mischoxiden);
 - Elastomultiester (überall dort wo Rückstellkraft/Rücksprungkraft nicht allzu hohe Anforderungen; durch neue Elastikfaser);
 - Polyamid 6 (mit nachgeschaltetem Abluftwäscher; mittlerweile patentiertes Verfahren zur Herstellung von PA6)
- Entfernen von herkömmlichen Nadelölen aus der Herstellung von Gestriken: Wasserverbrauch 10 l/kg Textil
- Ersatz von Mineralölen bei der Herstellung von Gestriken: wasserlösliche Öle
- Pektinasen und Lipasen zur Baumwollvorbehandlung

Welche technischen Ansätze gibt es?

- Minimierung der Auftragsmenge
- Energieeinsparungen durch Optimierung und Automatisierung
- Reduzierung des Schlichtemittelauftrages durch Vernetzen und gezielter Auswahl von Schlichtemitteln
- Enzymatische Vorbehandlung von Textilien aus Wolle und Seide

Spinnen

Wie kann man den Bedarf nach den Verfahren umgehen?

- Ersatz von Mineralölen in Schmälzmitteln für die Wollspinnerei: Zubereitung auf Basis von Glykolen ersetzen
- Erneuerung des Maschinenparks
- Anschaffung moderner Maschinen

Welche Parameter kann man anwenden?

- Biologisch abbaubare Ersatzprodukte anstatt Mineralöle verwenden

Welche technischen Ansätze gibt es?

- Verringerte Schlichtemittelaufträge durch Kompaktspinnen

Weben

Wie kann man den Bedarf nach den Verfahren umgehen?

- Ökologische Vorteile bei bereits entschlichteter Webware aus Fernost
- Verwirbeln mittels Blasluftstrahl statt schlichten

Welche Parameter kann man anwenden?

- Vornetzen: die Kettbäume sollten eine Kettlänge von 5000 m aufweisen
- Reduzierung der Vielzahl der Schlichterezepturen
- Zusammenstellung von Schlichtepartien
- Wiederverwendung der Restschlichte bei längeren Stillstandzeiten
- Einsatz natürlicher Schlichtemittel
- Wasserauswaschbare Schlichten verwenden
- Schlichtemittelrecycling: Ultrafiltration: Temperatur 70-80°C

Welche technischen Ansätze gibt es?

- Reduzierung des Schlichteauftrags durch:
 - Online-Mess- und Regelungstechnik
 - Vornetztechnologie: vollautomatische Schlichteanlagen mit integrierter Vornetzeinrichtung
 - Einsatz spezieller Garne: Kompaktgarne
- Schlichtemittelrecycling:
 - Auswaschverfahren oder Teilrecycling: möglichst hochkonzentrierte Waschbäder sind eine Voraussetzung für ein wirtschaftliches Schlichten, dann erst erfolgt Ultrafiltration
 - Ultrafiltration: Voraussetzung sind Wasserlöslichkeit und Beständigkeit während der UF
- Zusätzlich Kreislaufsystem installieren

Waschen (inkl. Entschlichten, etc.)

Wie kann man den Bedarf nach den Verfahren umgehen?

- Optimierung der Prozessabfolge
- Genaue Kenntnis der betrieblichen Abläufe notwendig
- Wiederverwendung von Wasser

Welche Parameter kann man anwenden?

	Wasserverbrauch [l/kg]	
	Gesamt	davon Heißwasser
Vorbehandlungsprozesse		
Waschen zur Entschlichtung	3 - 4	3 - 4
Waschen nach alkalischem Abkochen	4 - 5	4 - 5
Waschen nach dem Bleichen	4 - 5	4 - 5
Waschen nach Kaltbleiche	4 - 6	4 - 6
Waschen nach der Mercerisation - Auswaschen von NaOH - Neutralisation ohne Trocknen - Neutralisation und Trocknen	4 - 5 (heiss) 1 - 2 (kalt) 1 - 2 (warm)	4 - 5 keine Daten verfügbar <1
Waschen nach dem Färben		
Reaktivfarbstoffe	10 - 15	4 - 8
Küpenfarbstoffe	8 - 12	3 - 7
Schwefelfarbstoffe	18 - 20	8 - 10
Naphtolfarbstoffe	12 - 16	4 - 8
Drucknachwäsche		
Reaktivfarbstoffe	15 - 20	12 - 16
Küpenfarbstoffe	12 - 16	4 - 8
Naphtolfarbstoffe	14 - 18	6 - 10
Dispersionsfarbstoffe	12 - 16	4 - 8
Quelle: [179, UBA, 2001]		

Rohwollwäsche

- Einführung von integrierten Kreisläufen zur Schmutzabscheidung und Fettrückgewinnung:
 - Wasserverbrauch zw. 5-10 l/kg Rohwolle
 - mittlere bis große Anlagen (ca. 15000-25000 t Rohwolle/a) – spezifischer Nettowasserverbrauch von 2-4 l/kg Rohwolle
- Bei Kombination: Nettowasserverbrauch von 1,31 l/kg Rohwolle möglich

Entschlichten

Kalt-Verweilverfahren:

- Beginn mit einer Temperatur 75°C; nachfolgende Bäder sollten min. 90°C betragen; die Waschwassermenge sollte max. 3 l/kg Ware betragen;
- Waschmaschine muss aus mindestens vier Waschabteilen bestehen

Auswaschen wasserlöslicher Schlichtemittel

- Im ersten Waschabteil sollte eine Temperatur größer 80°C und eine Verweilzeit von ca. 20 s möglich sein. Anschließend ist eine Temperatur von 90°C und ein hohes Maß an Waschmechanik günstig
- Der Quellvorgang führt insbesondere bei CMC- und PVA-Schlichten zu einer Gelphase und erfordert daher ein ausreichendes Wasserangebot. Bei einem Beschlichtungsgrad von 2% bezogen auf das Gesamtgewicht der Ware und einer Warenmenge von 15 kg/min im Auswaschprozess ist eine Wassermenge von ca.

120m l/min üblich, um bei einer Gegenstromführung des Waschwassers zur Ware die sich im ersten Waschbad einstellende Schlichtekonzentration von 2,5 g/l nicht wesentlich zu überschreiten.

- Ultrafiltrationsanlage: Aufkonzentrierung der Entschlichtungsmitteln auf 150-350 g/l
- Baumwoll-Kettgarn: 800kg Garn/Partie → spezifischer Wasserverbrauch von 14.3 l/kg für den optimierten Prozess
- Acrylatschichten bilden als Salze niedrigviskose Lösungen, sind schnell löslich und mit erheblich geringeren Wassermengen auszuwaschen

Vorbehandlung von Baumwolltextilien

Starklaugenprozesse/Mercerisieren:

- Laugenkonzentration im Abfluss von 40-55 g/l
- Optimal ist ein Wasserverbrauch von 3-5 l/kg Ware

Färben:

- Wiederverwendung von Wasser bei Auszieh-Färbeverfahren: spezifischer Wasserverbrauch von 60 auf 25 l/kg
- BAYLASE RP-System: Einsparungen von mehr als 2.500 l Wasser pro 100 kg Baumwolle

Energie:

- Direkte Gasbeheizung in den Waschabteilen und Trocknern

Welche technischen Ansätze gibt es?

Waschprozesse allgemein:

- Waschen und Spülen in Ausziehverfahren:
 - Chargenweises Waschen/Spülen
 - Systeme zum „intelligenten Spülen“
- Kontinuierliches Waschen und Spülen:
 - Durchflussmessung
 - Steigerung der Wascheffizienz
 - Installation von Wärmetauschern
- Geschlossene Kreisläufe bei Anlagen zur chemischen Reinigung von Flächengebilden
- Verwendung von Breitwaschmaschinen anstatt Stranganlagen

Rohwollwäsche:

- Integrierte Kreisläufe zur Schmutzabscheidung und Fettrückgewinnung (Pflanzenzentrifugen)
- Kombination mit der Verdampfung des Abwassers und einer Schlammverbrennung

Entschlichten:

- Optimierung der Spültechnik: z.B. Siebtrommelwaschmaschinen mit Flotten- bzw. Dampfbesprühung
- Reduzierung der Flottenmenge
- Modularer Aufbau der Vorbehandlungsanlagen
- Rückführung gering belasteter Spülbäder und deren direkte Wiederverwendung
- Einsatz von Kühlwasser als vorgewärmtes Prozesswasser
- Wiederverwendung des Wassers aus Saugeinrichtungen
- Kalt-Verweilverfahren
- Vorbehandlung von Baumwolltextilien: Mehrstufiger und einstufiger Semi-Kontinueprozess → einstufige Behandlung weniger Wasser- und Energieverbrauch
- Rückgewinnung von Schlichtemitteln mittels Ultrafiltration
- Oxidatives Verfahren
- Baumwoll-Kettgarn Optimierung

Bleichen:

- KKV-Verfahren mit vorbehandelter Ware
- KKV-Verfahren zur oxidativen Entschlichtung
- Heißbleiche
- Diskontinuierliche Verfahren

Färben:

- Reduzierung des Flottenverhältnisses
- Erhöhung des Ausziehgrades
- Wiederverwendung des Spülwassers nach entsprechender Zwischenlagerung
- Inline-Farbmessung: Einsparung von Wasser/Abwasser
- Auswaschen beim Reaktiv-KKV-Färbeprozess
- Nachwäsche: Enzymatisch-oxidative Entfärbung der Waschwasser (BAYLASE RP-System)
- Enzymatisches Nachseifen in der Reaktivfärberei
- Maschinentechnische Optimierung beim Auszieh färben (Färbekufen, Jet-Färbemaschinen)
- Wiederverwendung von Wasser bei Auszieh-Färbeverfahren

Drucken:

- Reduktion des Wasserverbrauchs für Waschprozesse:
 - An-/Aus-Regelung für die Druckdeckenwäsche
 - Mechanische Entfernung der Druckpaste
 - Wiederverwendung des saubersten Anteils des Waschwassers aus der Reinigung von Rakelgeräten
 - Wiederverwendung des Wassers aus der Druckdeckenwäsche
- Digitaler Druck

Energie:

- Nachwäsche: Enzymatisch-oxidative Entfärbung der Waschwasser (BAYLASE RP-System)
Einsparungen von zwei nicht benötigten 95°C-Bädern
- Rohwollwäsche: durch Verringerung der Abwassermenge (Wärmeverluste) – siehe Kreislaufsystem zur Schmutzabscheidung und Fettrückgewinnung
- Installation von Wärmerückgewinnungsanlage in den Bereichen Entschlichtungs- und Bleichanlage, Mercerisiermaschine, Waschmaschine

Ausrüsten

Wie kann man den Bedarf nach den Verfahren umgehen?

- Einschränkung der Rezeptvielfalt
- Organisation des Produktionsablauf
- Bildung von Rezeptfamilien
- Anpassung der Ansatzmenge
- Überprüfung der Foulardparameter

Welche Parameter kann man anwenden?

- Für optimale Leistung Abgasfeuchte zwischen 0,1 und 0,15 kg Wasser/kg Lufttrocken
- Verringerung des Frischluftbedarfs durch frequenzgesteuerte Lüfter von 10kg Frischluft/kg Textil auf 5 kg Frischluft/kg Textil

Welche technischen Ansätze gibt es?

- Minimalauftragstechniken (z.B. Pflanzschwalzen-, Sprüh- und Schaumautragssysteme)
- Hilfestellung zur Beurteilung des Verhaltens in der Kläranlage: Verhältnis von CSB zu BSB5, was aus den Sicherheitsdatenblättern ersichtlich ist
- Hilfestellung: Zahn-Wellens-Test: Im Labor wird das Abbauverhalten eines Hilfsmittels oder einer kompletten Rezeptur in der Kläranlage getestet
- Weitere Verhinderung der Eintragung von Restflotten in die Kläranlage: Verwendung einer ausreichenden Menge von Nachläufern
- Handhabung von Restpasten: Weiter- oder Wiederverwendung
- Regelmäßige, sorgfältige Reinigung und Wartung der Brenner
- Vermeidung von Weichmacher-Avivagen in Ausziehprozessen: Foulards, Sprühverfahren oder Schaumauftragsverfahren

Spannrahmen

Welche Parameter kann man anwenden?

Energie:

- Abgasfeuchte zwischen 0,1 und 0,15 kg Wasser/kg Luft einstellen für optimale Leistung im Spannrahmen
- Spezifischer Energieverbrauch energetisch optimierter Anlagen 3500-4500 kJ/kg Textil (hängt stark von der Art der durchgeführten Prozesse ab)
- Der energetisch optimale Trocknungsbereich liegt bei 130°C

Welche technischen Ansätze gibt es?

- Prüfen der Möglichkeit einer „nass-in-nass“-Ausrüstung

Energie:

- Optimierung der Luftführung im Spannrahmen
- Wärmerückgewinnung
- Wärmeisolation
- Beheizung
- Installation einer feuchtigkeitsgeregelten Abluftsteuerung

Handhabung von Chemikalien

Wie kann man den Bedarf nach den Verfahren umgehen?

- Wo möglich auf Chemikalieneinsatz verzichten
- Substitution
- Rezeptur überprüfen
- Einsatz von Produkten mit guter biologischer Abbaubarkeit/Eliminierbarkeit, niedriger Human- und Ökotoxizität, geringer Flüchtigkeit und Geruchsintensität
- Wo möglich Behandlungsbäder wiederverwenden

Welche Parameter kann man anwenden?

- Wooltech-Wollwäsche: 10 kg/h Lösemittel
- Ohne Einsatz des Schaumauftragverfahrens kann der Harnstoffverbrauch bei Seide auf ca. 50 g/kg Druckpaste und bei Viskose auf 80 g/kg gesenkt werden

Welche technischen Ansätze gibt es?

- Verbesserung der Mess- und Regeleinrichtungen

Rohwollwäsche:

- mit Hilfe organischer Lösemittel: Wooltech Wollwäsche-Verfahren kommt ohne jegliches Wasser beim Waschprozess aus

Bleichen:

- Substitution von Hypochlorit und chlorhaltigen Verbindungen: Wasserstoffperoxid
- Ektoparasitizide
- Einsatz von biolog. abbaubaren/eliminierbaren Komplexbildnern für Vorbehandlungs- und Färbeprozesse: Enthärten von Frischwasser; Alternativen: Polycarboxylate bzw. substituierte Polycarbonsäuren, Hydroxycarbonsäuren und einige Zucker-Acrylsäurecopolymere
- Entschäumer: Einsatz von „bad-freien“ Airjets, bei denen die Flotte nicht durch den Warentransport bewegt wird; Wiederverwendung von Behandlungsbädern

Mercerisation:

- Natronlaugen-Rückgewinnung mittels Eindampfung und Laugenreinigung

Färben:

- Dosieranlagen
- Färben mit Schwefelfarbstoffen
- Silikatfreies KKV-Färbeverfahren
- Reaktivfarbstoffe
- pH-geregelte Färbetechnik

Ausrüsten:

- Mottenschutzmittel Reduzierung

Energieeffizienz allgemein

Welche technischen Ansätze gibt es?

- Einsatz von Wärmetauschern
- Wärmerückgewinnung: Nutzung der Abfallwärme der Abluft und des Abwassers → Wärmerückgewinnungsanlage;
 - heiße Abwässer: besonders lohnendes Beispiel ist die Verwendung bei kontinuierlichen Waschprozessen
 - heiße Abluft: Einsatz eines Luft/Luft-Wärmetauschers
- Gas- und Wasseruhren sowie Stromzähler sollten in unmittelbarer Nähe der Verbraucher in die Leitungen eingefügt werden
- An den Maschinen, Apparaten und Anlagen werden geeignete Messeinrichtungen eingefügt
- Mit Wärmebildkamera Wärmeverluste sichtbar machen

- Beleuchtung durch Einführung energiesparender Leuchtsysteme mit effizienten Vorschaltgeräten, Zeitschaltuhren und Bewegungsmeldern
- Intaktes Druckluftnetz wesentliche Voraussetzung für die Einsparungen
- Kontrollierte Lüftung, Befeuchtung und Klimatisierung durchführen; klimatisierte Bereiche geschlossen halten
- Wärmeisolierung von Rohrleitungen, Maschinen, Apparaten und Anlagen, in denen sich heiße Prozessmedien befinden
- Energiesparmotoren verwenden wo möglich
- Für rationelle Energienutzung sind gute Kenntnisse der Energiesystemtechnik und eine hohe Transparenz der betrieblichen Abläufe notwendig
- Energieeinsparungen bei der Dampferzeugung (wichtigster Wärmeträger) beachten
→ geeignete Wärmetauscher; Einbau eines Economisers in den Abgasstrom; Einsatz eines Abgaskondensators bei Erdgas gefeuerten Dampferzeugern
- Beleuchtung:
 - Auswahl energiesparender Lampen
 - Leuchten mit einer wirkungsvollen und gleichmäßigen Beleuchtung
 - effiziente Vorschaltgeräte
 - lichttechnisch optimierte Leuchten und effiziente Beleuchtungssysteme
 - verbesserte Methoden der Planung und Regelung der Beleuchtungsanlagen
 - Lichtsensoren zur lichtgesteuerten Beleuchtung
 - Tageslichtausnutzung
 - Einzelabschaltung von Leuchten
 - Zeitschaltuhren
 - Energiesparendes Verhalten der Beschäftigten
- Optimierung der elektrischen Maschinen