Spectro® Screen D

パルプ濃度約 3% 領域で効率的なスクリーニング
を行うための新しい考え方J. M. フォイト社 R. リーネッカー
(訳) 日本フォイト株式会社A New Design for Effective Screening within the
Stock Consistency Range of Approx. 3%Reimund Rienecker
J. M. Voith GmbH

Design and development of a new pressure screen for the medium stock consistency range are demonstrated, which allow a process of screening also with smallest perforation-resp. slot widths.

1. はじめに

1.1 概 括

パルプ精選システムにおいて中濃度で加圧式スクリーンを使用することは、世界的に多くの古紙処理設備で実証され最新技術の一つとなっている。

中濃度(2.0~4.0%)の場合は、低濃度(1.0~1.5%)で運転する加圧式スクリーンに比べ、流量が減少するため小型のスクリーンとポンプを使用することができ、また再濃縮のコストが減少あるいは不要となる。

効率的なスクリーンバスケットを実用化するためフォイト社は中濃度用の加圧式スクリーン、Spectro® Screen Dを開発し製作した。ここでは効率と経済性の折り合いを最適にする考え方が焦点になった。

1.2 脱インキ設備への使用

脱インキシステムのモジュールの構成は一般的によく知られており、これまでも脱インキシボジウムや専門書で論じられている。新開発品はフローテーション装置の近くへの設置を目的として、もっとも重要な構成要素、すなわちプレスクリーン用として計画されている。プレスクリーンの真価は離解段階の直後に据えつけることによって発揮される(図1)。特に柔軟でフレキシブルな異物、すなわち“粘着性異物”を除去するための脱インキ設備の理想的な位置にある。それはこの粘着性異物はプロセスの初めでは、まだスクリーンしやすい大きさで存在しているからである。

2. 問 題 点

2.1 要求項目

Spectro® Screen Dの開発の動機は市場の要求からであった。これらはおおよそ次のような項目にまとめることができる。

- ① 約3%パルプ濃度での適性
- ② 高比流量
- ③ 高スクリーン効率
- ④ 低比エネルギー負荷

2.2 解決の端緒

この要求を満足するために必要な前提条件を詳細に検討すると、実現させる場合の問題点がほぼ明確になる。なぜならばここに挙げた4項目の要求を言い換えることが、経験上必要であるからである。

図1 基本的脱インキシステムのプロセス構成要素

- (1) 約3%パルプ濃度での適性に対して
 - ・最適のスクリーンバスケットデザイン
 - ・開口面積の大きいスクリーン
 - ・高効率のローター
 - ・高周速のローター
 - ・遠心的運転
- (2) 高比流量に対して
 - ・最適のスクリーンバスケットデザイン
 - ・開口面積の大きいスクリーン
 - ・高効率のローター
 - ・高周速のローター
 - ・遠心的運転
- (3) 高スクリーン効率に対して
 - ・微小又は狭幅のスクリーン目穴
 - ・比較的平滑なスクリーン表面
 - ・低周速のローター
 - ・スリット又は孔の低速での通過
- (4) 低比エネルギー負荷に対して
 - ・高流量及び／又は
 - ・低動力すなわち低周速のローター

(1)及び(2)の要求に対しては同一手段により対応することができるが、(3)及び(4)の要求に対しては、例えばローターのスピードの如く相反することが求められる。

3. スクリーニング効果に及ぼす影響

3.1 効率の測定と評価方法

Spectro[®] Screen Dの原理及び構造について述べる前に、評価及び試験方法についてコメントをしておく。

スクリーン効率に関して判断を下すためには一定のリジェクト率の結果を比較・検討することが必要である。

粘着異物を測定する場合に問題となるのは、最新式の画像解析装置を使用しても、測定方法が半自動的であるということ、そして実験者の集中力に依存しているという問題がある。集中力が測定しようとする粒子数の増加に比例して低下するのは無理からぬことである。粒子数が極端に少量の場合は独特な方法によらないと測定できないし、また計測出来なかった粒子が最終結果に極めて大きい影響を及ぼすことがある。

入口とアクセプトとの比較を明確にするためには300 g程度の原料での分析が可能なPacker実験用スクリーンを用いて行うことが必要である。我々の経験ではこの機器は0.15 mmのスリットのプレートを用いて、大量のパルプを比較的短時間に分析できることが分っている。この機器は例えば、Brecht-Holl装置又

はSommerville装置のような原理によって作動するものである。普通の方法ではスクリーニングされたパルプはスクリーンボックスに集められ、一方、異物はプレート上に残留する。スクリーン効率はリジェクトの相対量を測定して評価される。

Packerスクリーンのリジェクトはろ紙の上にまんべんなく分散されるので粘着物粒子の“重なり”は避けられる。その後、通常は1から5枚までのろ紙は105℃で乾燥してリジェクト率を求める。次に粘着異物のパーセントを求めるためにろ紙を合紙の間にはさみ、例えばアイロン掛けなどによって一定の熱を加える。

溶けた粘着異物はろ紙に吸収される。スリバー、プラスチック片等の固形物をろ紙から洗い落とした後、ろ紙に吸収されている粘着物を透明なシートに移し、画像解析装置で評価する。

評価

粒子アナライザーで測定しようとする部分をビデオカメラで撮影しモニターでチェックされる。

リジェクト率 (R) 及び粘着物面積 (K) が求められ、それに流量 (G) を乗じて実際のちりの量を求め、効率 ξ は次式によって算出する。

$$\xi R [\%] = 100 - \frac{Gd \times Rd}{Ge \times Re} \times 100$$

$$\xi K [\%] = 100 - \frac{Gd \times Kd}{Ge \times Ke} \times 100$$

d = アクセプト

e = 入口

G = 流量 [t/d]

R = リジェクト率 [%]

K = 粘着物面積 [mm²/kg]

上式から求めた数値と、それに対応する相対リジェクト率に基づいてスクリーン効率を評価することがで

図2 比較：きょう雑物の低減と粘着物の低減
RS=きょう雑物の低減
RK=粘着物の低減

きる。これはスクリーンの客観的評価のために重要であり図を用いて極めて明確に表わすことができる。

脱インキ設備では粘着物を除去することがスクリーニングの主要な課題の一つである。粘着物の測定は非常に煩雑で手間のかかる仕事であり、しかも結果がかなりばらつくので基本的な傾向を見るために原則としてリジェクトを測定した。必要に応じて、あるいはより正確な結果を求めるときにだけ全体の粘着物の測定を行った。これは粘着物の分離では低効率レベルにおいても他のきょう雑物と同じような傾向を示すと考えられるからである（図2）。

ただ注意を要することは、粘着物の分離の場合に、特にスリットの絶対幅が他の異物を分離する場合に比べてより大きい意味を有しているということである。

3.2 スクリーン効率に関する考察

次にスクリーン効率に及ぼす重要な下記要因について検討を進めた。

- ・スクリーン目穴
- ・スクリーンバスケットデザイン
- ・ローターの周速
- ・スリット通過速度

1) スクリーン目穴の影響

原則的にはスクリーンバスケットの孔径又はスリット幅でスクリーンを通過することができる粒子径が決まる。その場合、基本的なルールとしては、扁平な粒子には丸穴スクリーン、球状の粒子にはスリット状スクリーンが適している。図3は種々のスリット幅(0.35, 0.25 及び 0.2 mm)に対する粘着物の分離比率とオーバーフローしたパルプ重量比（パーセントで表わしたリジェクト量）の関係を示したものである。スリット幅に 1/10 mm 及び 5/100 mm という極めて小

図3 粘着物分離に対するスリット幅の影響

- a = 0.2 mm //
- b = 0.25 mm //
- c = 0.35 mm //

さな差しかないので効率には大きい違いは期待できないと思われるであろう。しかしここに示すように、わずかなスリット幅の差であるにもかかわらず極めて大きい効率の違いが得られている。この事は一般的なきょう雑物についても同様である。しかしスリット幅又は孔の大きさだけで効率に関するすべてを表現していることにはならない。これに関しては次項で述べることにする。

2) スクリーンバスケットのデザイン

中濃度スクリーニングの分野での注目すべき改良は、新しいローターと周速の上昇に対応した表面パターンをもったスクリーンプレートの開発である。実験によると粗いスリットに比べて細かいスリットは多くのちりを除去するにもかかわらず、この表面パターンのスクリーンバスケットは効率を低下させないで同様のスクリーン効果を示すことが分った。

図4 さまざまなスリット幅の場合のスクリーン効率に及ぼすスクリーン面の影響

- a = 0.5 mm // 平滑な表面
- b = 0.25 mm // L

図5 同一スリット幅の場合のスクリーン効率に及ぼすスクリーン面の影響

- b = 0.25 mm // L
- c = 0.25 mm // S

図4は0.5mmのスリット幅をもった平滑なスクリーンバスケットと0.25mmのスリット幅のいわゆるカット型スクリーンバスケット（すなわちスクリーンバスケットの内側に縦に枠線をもったもの）との効率の比較を示す。スリット幅にかなりの差があるにもかかわらず効率ほとんど同じである。これはスクリーンバスケットの表面、すなわちスクリーンバスケットのデザインの結果によるものである。図5ではスリット幅は0.25mmと同一であるが、スクリーンのデザインが異なっている、比較的滑らかな表面のスクリーンといわゆるS型カット型スクリーンバスケットを比較したものである。名目上は同一スリット幅ではあるがS型スクリーンの方が明らかに効率が良い。

3) ローターの周速

更に溝をつけたスクリーンバスケットではローターを高周速化する事によって経済的な中濃度スクリーニングが可能となる。ローターの速度があがると、モーターの負荷の上昇率以上に流量が増加し比エネルギー消費が低下する。したがって純粋に経済的観点から見た場合には最高の周速が望ましい。しかし、このことは図6に示すようにスクリーン効率を下げるデメリットをもたらす。この傾向は基本的には正しいものであり、効率のロスがなく出来るだけ流量を大きくするための考え方を進展させることが必要となる。

4) スリット通過速度

図7はスリット通過速度すなわちスクリーンバスケットのスリットを通るサスペンションの流速は2倍に上昇しているが効率ロスはずかであることを示している。

これまでに示した例から次のような基本的な検証が得られる。

図6 スクリーン効率に及ぼすローター周速の影響

$$V_2 = 1.3 (V_1)$$

V_1 = ローター周速

図7 スクリーン効率に及ぼすスリット通過速度（流量）の影響

$$V_{s2} = 2 (V_{s1})$$

V_{s1} = スリット通過速度

- ・高効率と経済性を同時に要求することは矛盾する。
- ・スリット幅だけではスクリーン効率に対して抑制的な影響を与える。
- ・スクリーンの開口面積を大きくすることはすべての要求に共通している。

3.3 スクリーン効率：相互間の影響

回転数の上昇がスリット通過速度よりも効率に大きく影響するという事はすでに確認されているが、スリット幅、スクリーンバスケットデザイン及びスリット通過速度などの相互作用に関する問題は未解決である。このことは図8からも明らかである。

この値は同一リジェクト量比で求めたもので、0.25

図8 さまざまなスリットとスクリーン表面の場合のスクリーン効率に及ぼすスリット通過速度の影響

a = S型スクリーンバスケット

b = フライス盤で切削した溝つき表面

mm S 型バスケットで2倍のスリット通過速度のものは、0.2 mm のフライス盤で切削して溝をつけたスクリーンバスケットよりも粘着物をよく分離することを示している。最も重要な知見は、スリット幅が狭くなることによって効率へ及ぼすマイナスの影響が軽減されること、そしてスリット幅が例えば 0.2 mm で殆ど無視さえ出来るということである。

4. 機械構造面

4.1 問題の状況

これまでの効率比較から、最適のスクリーン効果には次のような前提条件が望ましい事を示している。

- ・より平滑な表面をもったスクリーンバスケット
- ・細かい又は狭幅のスクリーン目穴、すなわち狭幅のスリット又は細かい丸穴
- ・大きい開口面積のスクリーン
- ・低ローター周速

機械の構造により平滑な表面を有するスクリーンバスケットが重要である（パルプとローター間の相対速度は小さくしておく）。スクリーンの目を開けておくにはローターの高周速が必要である。しかしスクリーン開口面積が大きい事、しかも細かいスクリーン目穴であることが重要である（これはきしゃで壊れやすいスクリーンバスケットになる方向であるが）。狭いスリット幅はスクリーン効果に対するマイナスの効果を部分的には弱めるが、この観点からすると回転数を上げることが絶対的にその代役を演ずるだろう。しかし開口面積の大きいスクリーン、換言すればきしゃなスクリーンバスケットとスクリーン効果との同時要求は矛盾している。

速度の上昇はスクリーンバスケットの強度によって制約される。すなわち回転数の上昇はスクリーンバスケットの機械的な応力増加に対しておおよそ次のような関係がある。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left[\frac{n_1}{n_2} \right]^{2.5 \sim 2.8} \quad \dots\dots(1)$$

頑丈なスクリーンバスケットにすることはスクリーンの開口面積を低減する結果につながる。構造的な方法により強度をあげる対策もあり、クランプ長 (H) を短くするだけで機械的な負荷が明らかに低減できるということがモデルテストにより確認された。フリーのクランプ長をより短くするとスクリーンバスケットの機械的負荷は次の関係式の如く低減する。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left[\frac{H_1}{H_2} \right]^2 \quad \dots\dots(2)$$

この事はスクリーンバスケットが短ければ短いほど

機械的負荷が小さくなる。すなわちフリーのクランプ長が半分になると負荷が 1/4 に低減することを示している。理論的にはスクリーンバスケットを例えば半分の高さで支えることによって簡単に解決できるように思われる。しかし実際にはアクセプトのスペース内でバスケットをサポートしなければならないので殆ど不可能である。その他に正確にピッタリ合ったはめ合わせが必要となり、またスクリーンバスケットの組み立てや解体を極めて困難にする複雑な構造になるだろう。式(1)に示す如くローターの回転数の低下もスクリーンバスケットの機械的負荷を下げ、開口面積の大きいスクリーンバスケットの使用を可能にする。しかしここに疑問が残る、例えばスクリーンバスケット、流量及び濃度などの条件が設定された場合にどうして回転数を低減することが出来るだろうか？

4.2 回転数を低減するための対策

基本的には所定の生産量で次の点を最適化できればローターの周速を下げる事ができると考えられる。

- ・ローターとパルプとの間の相対速度の上昇
- ・比スクリーン負荷の上昇
- ・スクリーンバスケットに沿った分級効果の低減

2) 相 対 速 度

パルプとローターの間の速度差、つまり相対速度はスクリーンの目を開けておくための重要な要因である。相対速度の強さによってスクリーンバスケット付近は逆流、負パルス及び乱流が生じるためスクリーンの目をあけておく効果に寄与する。

図 9 にスクリーンバスケットに沿った相対速度を模式図に示している。供給側ではパルプ速度は容積量と供給パイプの断面によって決まる入口速度から求められる。この値はローターの速度に比べると極めて低い。

従って、供給側では相対速度がかなり大きくなる。スクリーン中央に向っていくに従いパルプ速度は速や

図 9 スクリーンバスケットに沿ったローターとパルプの間の相対速度の変動

V_{r1} = スクリーニング開始時の相対速度

V_{r2} = スクリーニング終了時の相対速度

かにローター速度に近づく。従って相対速度はますます低下し、それによってまたローターの浮揚作用も低下する。従ってスクリーンバスケットの下部領域ではローターの作用が低下する。周知の対策としては例えば、表面の溝つけのような要素を設定して、流れをとめ、さらに低ローター速度でも高相対速度を維持しようとする試みがある。しかしこのように流れを破壊することは図4,5で説明したようにスクリーン効果を損なう。

2) 比スクリーン負荷又は比流量

スクリーン面に対する流量を示す比スクリーン負荷はスクリーンの能力を表わすパラメーターである。一定の生産量で比スクリーン負荷又は比流量を上げることができる場合にはローターの回転数を下げることができる。相対速度に関する考察から、スクリーンバスケットの上部領域の比負荷はスクリーンバスケットの下部領域よりも高くなり、その結果スクリーン効率は抑制されるであろうという結論に達した。部分的にカバーをかけたスクリーンバスケットを有する実験的調査によってこの理論は証明されている(図10)。

意外にも効率の差は予想に反して明らかに少ない。しかしこの比較試験では、パルプの特性がスクリーンバスケットの末端部に向って連続的に変化する実際の条件とは異って、オープン面に同一パルプが常にあたっていることに注意しなければならない。カバーされていないスクリーンバスケット(カーブb)と比較してみると、その効率は二つの代表的なカーブ(a及びc)の間にあることを示している。

図10 スクリーン効率に及ぼすローターとパルプの間の相対速度の影響

- a = 上にカバーをかけたスクリーンバスケット
- b = カバーを掛けないスクリーンバスケット
- c = 下にカバーをかけたスクリーンバスケット

図11 スクリーンバスケットに沿った比流量の変動

3種のカーブは同一差圧での調査結果であり、この結果からスクリーンバスケットに沿った比スクリーン負荷を検討すると本質的には比較できる条件にある。図11はスクリーンバスケットの全高にわたっての比流量を示す。供給領域の流速の高い最大値から出発してカーブは急激に低下し、スクリーンバスケットの高さのおよそ半分の位置から直線的にスクリーンバスケットの末端部の最小値に徐々に近づく。数値的にはスクリーンバスケットの最初の半分でパルプの約70%がすでにスクリーンを通過したことを示す。

3) 分級効果—濃度

図12に明らかなように濃度もまたスクリーンの操業に大きい影響を及ぼす。模式図にパルプ濃度に対するスクリーンの生産率(t/d)とスクリーンで生じた差圧(ΔP)の関係を示す。このカーブからはスクリーンで生ずる差圧よりも大きい負圧をローターで発生させなければならないことを示している。より高濃度ではより高い過抵抗、つまりより高い差圧になる事を意味している。これに対して低濃度ではスクリーン目穴による大きい絞り損失と、それによる高い差圧の発生により流量を高めることになる。このことは例えば1%パルプ濃度では3%の場合と同一の生産量を前提として考えると、3倍の水量を導入しなければならないことを意味する。図12はまた、他の条件が同一の場合、生産量に関して最適の濃度領域があること、そし

図12 生産及び差圧に及ぼすパルプ濃度の影響

図 13 リジェクト率に及ぼすパルプ濃度の影響

図 14 スクリーンバスケットに沿ったパルプ濃度の変動

てその領域でスクリーンの目を開けておくためには最小のローター周速が必要であることを示す。更にパルプ濃度は安定操業に必要なリジェクト率に影響を及ぼすことを図 13 で説明してある。

このことは配置上 2 段や 3 段配列を顧慮しなければならないことを示唆するものである。

通常はスクリーンバスケットの側面に沿って濃度は上昇する。なかでもスクリーンバスケットの下部領域では異常に上昇する (図 14)。(この傾向は極端に高い周速あるいは深い溝をつけたスクリーン面を持ったスクリーンにはあてはまらない)。

高濃度にすることは流量が少なくなることを意味し、大体スクリーンバスケットの末端に向って濃度は上がってゆき、これによってスクリーンバスケット下部領域での流量は更に少なくなる。

ここで注目すべきことは、例えば 1 から 1.5% までと、3 から 4.5% まで濃度を上げる場合とでは大きな差があることである。インレット側のパルプ濃度が高いとスクリーンバスケットの下部領域での濃度上昇のために、流量に対する影響は相当なものになるからであ

る。

4.3 ま と め

図 9, 11, 12 及び 14 はスクリーンバスケットの下部領域はインレット領域に比べて好ましくない条件にあることを説明している。従って高回転数が必要かどうかという疑問が出てくる。すなわち

- ・低相対速度
- ・低比スクリーン負荷
- ・高濃度

そして、中濃度領域ではスクリーン面については大型スクリーンよりも小型スクリーンの方が効果があるのは何故か？これまであげた考察から、スクリーンバスケットのジオメトリーから見て、高いスクリーンバスケットよりも低いスクリーンバスケットの方が有効であろうという結論になるからである。

5. 要約的考察

低いスクリーンバスケットの長所は：

- ・高比スクリーン負荷が可能、すなわち細かいスクリーン目穴を経済的に組込みできる。そして／又はローターを低周速にできる。この二つはスクリーンの高性能化を意味する。
- ・応力の変動に対するスクリーンバスケットの抵抗性を高めることを意味する、また狭幅スリットのスクリーンバスケットでも開口面積を大きくすることができる。

しかし低いスクリーンバスケットの短所は：

- ・同一直径の場合スクリーン面積が小さい。

同一スクリーン面積にするには台数を増すか又は相当する大径化が必要である。

このような背景から、約 3% のパルプ濃度領域で使用するための加圧スクリーンには次のような条件が求められる。

- ・所定のスクリーン面積であって
- ・スクリーンバスケットの全高が低いこと
 - a) 比スクリーン負荷が高いこと (流量) と
 - b) 機械的応力に耐えること
- ・スクリーンが大径でないこと
- ・遠心力による運転方法
- ・1 台だけで済むこと

これらの条件がすべて満足されているのが Spectro® Screen D である。

6. Spectro® Screen D

6.1 使用説明

Spectro® Screen D (図 15) は中濃度領域で使用さ

図 15 Spectro® Screen Dの基本見取図

図 16 Spectro® Screen Dの立面図

れるすべての加圧式スクリーンと同様に縦型構造の加圧スクリーンである。パルプ原料はスクリーンバスケットの内から外へ流れる。ローターはスクリーンバスケット内に同心円的に配置されている。Spectro® Screen Dは一般に広く知られているシングル型に相当する。

しかしD型のスクリーンは上下に分かれて配列された2個のスクリーンバスケットをもっており、パルプは各々のスクリーンバスケットに供給される。アクセプトは上下バスケット、共通のアウトレットに入る。リジェクトパルプは入口スペースと反対側の各スクリーンバスケットの末端より排出される。ローターは上下バスケット用に一体で回転する。

図16にSpectro® Screen Dの据付け写真を示す。ケーシングはメインパイプの上部で分かれており取り付けが容易なようにスイング式スクリーボルトでフランジ止めされている。

6.2 比流量

図17にはSpectro® Screen Dにおける比流量を示している。2個の上下に配列されたスクリーンバスケットの間からパルプを供給することによって、常に

図 17 Spectro® Screen Dの比流量；スクリーンバスケットに沿った変動

図 18 スクリーンバスケットに沿った比流量；シングル型とD型の比較

2個のスクリーンバスケットの流入側の両方に等しい最適点が生じる。

シングル型とD型について比流量の対比を図18に示す。図の上部では、2本のカーブは確かに鏡像を呈しているが、下部ではD型の方が比流量はかなり高くなっている。この2つのタイプはスクリーン面積が同じであるがDタイプはスクリーン効果が殆ど変わらないで約40%も流量が上がっている。その上、Sタイプのスクリーンバスケットも組み込むことができるという長所がある。

6.3 運転経験

今まであげた理論や考察を実験データから説明しよう。

図19は日産500tの2段式Spectro® Screen Dの設備を示す。右図の1段目がSpectro® Screen Gr. 33 D、左図の2段目がSpectro® Screen Gr. 23 Dである。

Spectro® Screen Dはライナー及びフルート用の1,200tの設備に設置された。その後の記事によるとUS-OCCを一部使用から100%使用に及んでいる。

図 19 2 段式 Spectro® Screen D 設備の写真

このスクリーンの設置によって従来型のスクリーンに対して次のような結果が得られた。

- ・スリット幅及び回転数を減らすことができる。
- ・リジェクト率を約 30% 減らすことができる。

その結果、2 段目においてもスリット幅及び回転数を減らすことができる。

なお脱インキパルプについても同様の運転経験が得られている。

7. 最終考察

スクリーニングに関係する要因を検討しスクリーンバスケットのスリット幅にのみすべての責任を負わせるべきではないとの知見を得て Spectro® Screen D を開発し、次のような結果を得た。

- ・シングル型に比べて同一スクリーン面積で約 40% も高い流量が得られる。
- ・卓越したスクリーン効果。
- ・低比エネルギー消費。
- ・濃度変動に対する優れた適性。

- ・スクリーンバスケットに対する低応力。
- ・低リジェクト量とそれによる後続段の低負荷。

文 献

Dr. Ing. Arno Weidhaas : Beitrag zur Kenntnis des Sortierprozesses bei Holzschliffen. (Dissertation) Darmstadt 1960.

Siegbert Fischer : Die Bestimmung von Verunreinigungen in Stoffsuspensionen, Papieren und Kartonagen. In : Das Papier Heft 10/1983.

Siegbert Fischer : Schmutzpunktbestimmung mit Bildanalysegeräten. In : Wochenblatt für Papierfabrikation 1/1984.

Walter Musselmann/Paul Bezler : Feinsortierung von zum Deinken bestimmten Altpapieren bei mittleren Stoffdichten mit feinsten Schlizen zur Entfernung von klebenden Verunreinigungen. Bericht über ein Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes Berlin. 1986.