

# 1 Einleitung

Farbige Abwässer aus der Farbstoff produzierenden- und Textilveredlungsindustrie stellen seit jeher ein Problem für die Umwelt und ein Hindernis für die erfolgreiche Einführung von Techniken des produktionsintegrierten Umweltschutzes sowie zur Schließung von Stoffkreisläufen in diesen Branchen dar. Die deutsche textilerzeugende Industrie produziert allein jährlich etwa 80 Mio. Kubikmeter Färbereiabwasser. Wasserlösliche Farbstoffe verhindern bisher das Prozessabwasser erneut im Betrieb einzusetzen. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts mit seiner rasch expandierenden Farbstoffindustrie wurde sehr schnell klar, dass die Behandlung Farbstoff enthaltender Abwasserströme ein nichttriviales Problem für das noch junge Fachgebiet der Abwassertechnik darstellte. In der gängigen Praxis werden Farbstoff enthaltende Abwässer in kommunalen Kläranlagen mitbehandelt. Jedoch können sowohl biologisch-(aerobe) Verfahren als auch chemische *End-of-pipe*-Technologien, wie z. B. Fällungs- und Flockungsverfahren, diese Farbstoffe mit ihrem hohen Fremdstoffcharakter nicht zerstören, sondern nur unter erhöhtem Einsatz kostenintensiver Hilfschemikalien als nicht verwertbaren Abfallschlamm abtrennen. Aus diesem Grund kann eine Vielzahl kommunaler Kläranlagen ihre Abwassergrenzwerte (u. a. Chemischer Sauerstoffbedarf und Farbigkeit) nicht mit ausreichender Betriebssicherheit einhalten. Der Kläranlagenbetreiber leitet dann die zusätzlichen Betriebskosten an den textilveredelnden Indirekteinleiter weiter. Vor diesem Hintergrund wächst in der Textilveredlungsindustrie das Interesse an innerbetrieblichen Wasserrecyclingkonzepten, um einerseits die gesetzlichen Auflagen zu erfüllen und andererseits Kosten auf diesem Sektor einzusparen.

Mitte der 1970er-Jahre wurden von der mikrobiologischen Arbeitsgruppe von *Knackmuss* erstmals Arbeiten zum biologischen Fremdstoffabbau von einfach substituierten Naphthalinsulfonsäuren sowie ihren Amino- und Hydroxyderivaten mit Hilfe von Mikroorganismen mit speziellen Abbaueigenschaften veröffentlicht. Bei diesen Verbindungen handelt es sich um die Ausgangsverbindungen zur Herstellung von Azofarbstoffen, die bei der Ausrüstung von Stoffen in der Textilveredlungsindustrie zu einer der wichtigsten Farbstoffklassen gehört. Anfang der 1980er-Jahre wurden diese biologischen Systeme in der Arbeitsgruppe von *Hempel* für die beispielhafte Ermittlung von Reaktionskinetiken und -techniken in der Verfahrenstechnik eingesetzt, die bis dahin noch völlig fehlten. Zu den Forschungsgebieten gehörten bzw. gehören im einzelnen

- die Anreicherung und Adaptation von geeigneten Mikroorganismen mit speziellen Abbaueigenschaften,
- die Aufklärung der Abbauege bestimmter Leitsubstanzen und das Auffinden kritischer Abbauschritte (u. a. Konkurrenzsubstrat, Cometabolismus, sequentieller Abbau, *Dead-end*-Abbauege),
- die Aufklärung und Ermittlung der Reaktionskinetik (u. a. Bestimmung reaktionskinetischer Parameter),
- die Einführung reaktionstechnischer Maßnahmen wie
  - die Immobilisierung der Mikroorganismen auf porösen, ebenen oder fluidisierten Trägeroberflächen,
  - die Entwicklung von Bioreaktoren (Festbett, Fließbett),

- die Wahl der geeigneten Reaktionsführung (ein- oder mehrstufig, zyklisch, gezielte physikalisch-chemische Vorbehandlung etc.),
- die Durchführung von Laboruntersuchungen mit synthetischen Modell- und Realabwässern sowie
- die Untersuchung des Abbauverhaltens unter praktischen Bedingungen (Pilotversuche).

Zu Beginn der 1990er-Jahre wurden die Untersuchungen auf einfach aufgebaute Azofarbstoffe (Mordant Yellow) und eine Reihe weiterer praxisrelevanter Farbstoffe ausgeweitet. Diese Arbeiten führten dazu, Farbstoff enthaltende Abwässer mit einem zweistufigen Anaerob-Aerob-Verfahren zu behandeln. Ab dem Jahre 1995 fanden die Arbeiten Eingang in eine Vielzahl anwendungsorientierter Forschungsprojekte zur Behandlung von Abwässern und damit zur Schließung von Stoffkreisläufen in der Textilveredlungsindustrie.

Die Entfärbung von Farbstoffen, vornehmlich Azofarbstoffen, basiert auf der Reduktion der Azogruppe. Diese kann biologisch-anaerob unter Zugabe von leicht abbaubaren Hilfssubstraten aber auch chemisch durch Zugabe von Reduktionsmitteln, z. B. Eisen(II)-Salzen oder Natriumdithionit, erfolgen. Die chemische Reduktion führt einerseits zu einem erhöhten Schlammaufkommen, andererseits zu einer unerwünschten Erhöhung der Salzfracht bzw. des gelösten organischen Kohlenstoffgehaltes. Sowohl die biologische als auch chemische Reduktion führten in den letzten Jahren zu unterschiedlichen Verfahren mit biologischen und chemischen Prozessstufen. Neben den Reduktionsverfahren werden aber auch Oxidationsprozesse zur Entfärbung eingesetzt. Während biologisch-aerobe Systeme sich bislang zum Abbau der Farbstoffe als wenig praxistauglich erwiesen, können mit chemischen Oxidationssystemen (z. B. Ozon und Wasserstoffperoxid/Ozon), meist abhängig von der Dosis, sowohl eine Entfärbung des Abwassers als auch eine Transformation der Farbstoffe in eine biologische verwertbare Form erzielt werden.

Die vorliegende Arbeit gibt eine Übersicht der Forschungsergebnisse auf dem Gebiet des Abbaus von Farbstoffen, speziell der Azoverbindungen, und der Behandlung Farbstoff enthaltender Abwässer sowie der großtechnischen Umsetzung zum innerbetrieblichen Recycling von Abwasserteilströmen aus der Textilveredlungsindustrie. Um derartige Abwässer unter dem Gesichtspunkt der Schließung von Stoffkreisläufen wieder in den Produktionsprozess zurückzuführen, wurden bioverfahrenstechnische und chemisch-technische Entwicklungsarbeiten zur anaeroben Entfärbung, zur weitergehenden biologisch-aeroben und chemisch-oxidativen Nachbehandlung zur Restentfärbung sowie zur Eliminierung organischer Frachten durchgeführt.

Zunächst wird in dieser Arbeit auf den enormen Aufschwung der Farbstoff produzierenden Industrie im 19. Jahrhundert eingegangen. Weiterhin werden auf die damit verbundenen Umweltprobleme und die mit einiger Verzögerung einsetzende Erforschung von Umweltmaßnahmen erörtert sowie die Entwicklung der Abwasserbehandlung in der Textilindustrie dargestellt (*Kapitel 2*). Da es sich bei der Textilveredlungsindustrie um einen Wirtschaftszweig handelt, dessen Anfänge bis weit ins Mittelalter zurückreichen und bestimmte Arbeitsabläufe sehr stark tradiert sind, werden im *Kapitel 3* Farbstofftypen und ihr Einsatz bei der Textilfärbung beschrieben sowie auf das Phänomen der Farbigkeit eingegangen. In *Kapitel 4* sind die Forschungsarbeiten zum biologischen Farbstoffabbau, zunächst mit Mikroorganismen mit speziellen Abbaueigenschaften, später mit fortschreitendem anwendungsorientierten Charakter die Arbeiten mit konventionellen Klärfloren dargestellt. Da nicht alle farbigen Abwasserinhaltsstoffe einem biologischen Abbau zugänglich sind, werden in *Kapitel 5* physikalisch-chemische

Techniken zur Behandlung Farbstoff enthaltender Abwässer diskutiert. Anschließend wird in *Kapitel 6* die Kombination biologischer und chemischer Behandlungstechniken beschrieben. Dazu werden Untersuchungen auf dem Gebiet der biologisch-chemischen Kombinationsprozesse zur Behandlung von gefärbten Abwässern aus der Textilveredlung näher betrachtet. *Kapitel 7* gibt eine Übersicht bisheriger Anwendungen für das innerbetriebliche Abwasserrecycling in der Textilveredlungsindustrie. Abschließend wird in *Kapitel 8* an einem aktuellen Beispiel das explizite Vorgehen zur Schließung von Stoffkreisläufen durch das innerbetriebliche Recycling von Abwasserteilströmen in einem Textilveredlungsbetrieb erörtert. Die Betriebsergebnisse in der Erprobungsphase einer installierten Abwasserbehandlungs- und Recyclinganlage und die Auswirkung der innerbetrieblichen Vorbehandlung auf die kommunale Kläranlage werden diskutiert sowie eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

## 2 Geschichtliches

### 2.1 Farbstoffproduktion

Der wohl älteste bekannte Farbstoff, der von den Menschen in großen Mengen genutzt wurde, war der Purpur. Seine Gewinnung und die Färbetechnik wurden vor über 3 500 Jahren in der Küstenstadt Ugarit (im heutigen Syrien) erfunden und ab etwa 1 200 v. Chr. von geschäftstüchtigen Phöniziern übernommen und zum Färben von Tuchen eingesetzt [1]. Der tyrische Purpur, den *Friedländer* (1908) als 6,6'-Dibromindigo in seiner chemischen Struktur erkannte, wurde damals aus dem Drüsensekret der Purpurschnecken (*Murex bandaris* bzw. *Murex trunculus*) gewonnen und war überaus kostbar, da etwa 12 000 Schnecken zur Gewinnung von etwa einem Gramm Farbstoff benötigt wurden [2]. Aber auch andere Naturfarbstoffe, wie z. B. das Indigo (aus dem Enol-O-Glycosid Indican) aus der europäischen Färbewaidpflanze oder tropischen Indigoferaarten, das Krapprot (ein mit dem Glycosid Primverose verbundenes Alizarin), das man aus den Wurzeln der Färberröte (*Rubia tinctorum*, Bild 2.1) gewann, das Blauholz (Hämatoxylin), welches aus dem mittelamerikanischen Campecheholz extrahiert wurde, oder das Brasilin, das man aus dem Brasilholz (*Caesalpinia echinata*) herstellte sowie auch Lackmus aus *Rocella*-, *Lecanora*- und *Variola*-Flechten waren knapp und teuer und begründeten den Reichtum einiger weniger landwirtschaftlicher Absatzgenossenschaften.



Bild 2.1: Krapprot oder Färberröte (*Rubia tinctorum*), (links) [3], sowie getrocknete und geschnitzelte Wurzelstöcke (rechts) [4].

Mitte des 19. Jahrhunderts wurden die Naturfarbstoffe von den preiswerteren und in seinen Färbereigenschaften überlegeneren Industriefarbstoffen verdrängt. Erste wissenschaftliche Grundlagen zur synthetischen Herstellung von Farbstoffen wurden im Jahre 1834 durch *Runge* (siehe Bild 2.2) gelegt, der aus Steinkohlenteer Phenol und Anilin gewann, weshalb man die aus diesen Verbindungen gewonnenen Farbstoffe auch Teer- und Anilinfarbstoffe nannte.

1856 synthetisierte *Perkin* (vgl. Bild 2.2), als damaliger Assistent im Laboratorium des in London lehrenden *A. W. von Hofmann*, den ersten Anilinfarbstoff, das Mauvein.

Obwohl die ersten Farbstoffe zunächst in England und Frankreich entdeckt wurden, begann nach der Erforschung der Diazotierungsreaktion durch *Grieff* (1861), der Strukturklärung des Benzols durch *Kekulé* (1865) sowie der Analyse der wichtigen Naturfarbstoffe Indigo (ab 1865 durch *von Bayer*, Bild 2.2.) und Alizarin (1869) die rasche Optimierung der Verfahren und internationale Vermarktung durch unternehmerische Initiative von bis dahin kleinen unbedeutenden deutschen Unternehmen. Zwischen 1860 und 1870 entstanden die wichtigsten Farbstoff-Fabriken Deutschlands, wie z. B. *Bayer*, *Hoechst* und *Kalle* (alle 1863), *BASF* (1865), *Agfa* (1867) und *Casella* (1870). *Caro* (Bild 2.2.), der führende Farbstoffchemiker der *BASF*, stellte als erster die Azofarbstoffe Azo-Gelb und Azo-Orange her und meldete 1878 das erste Reichspatent an. *Hoechst* folgte noch im selben Jahr mit den sogenannten Ponceau-Farben, *Kalle* 1879 mit Scharlachrot. Dem Forschungsschemiker *Frank* von der Firma Bayer gelang 1881 durch Sulfonieren von  $\beta$ -Naphthol die Synthese einer neuen Sulfonsäure, Croceïn-Säure, die eine ausgezeichnete Kupplungskomponente zur Herstellung des Azofarbstoffs Croceïn-Scharlach darstellte und 1882 zum Patent angemeldet wurde [5].

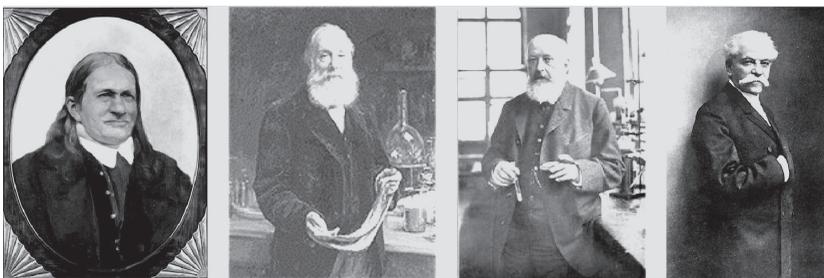


Bild 2.2 (v.l.n.r.): *Friedlieb Ferdinand Runge* (1795 - 1867), *William Henry Perkin* (1838 - 1907), *Adolf von Bayer* (1835 - 1917) und *Heinrich Caro* (1834 - 1910).

Das schnelle Wachstum dieser Firmen hielt bis auf einige kleine Rezessionen bis zum Ersten Weltkrieg an und beruhte im wesentlichen auf zwei Faktoren: der besonderen Entwicklung der chemischen Technik im Industriezweig der Farbstoffproduzenten und der Tatsache, dass die Produkte in praktisch allen Ländern der Welt Absatz fanden [6].

Die deutsche chemische Industrie erkannte als erste, dass der Einsatz geschulter Chemiker bei der Entwicklung neuer Synthesen, aber auch bei der Kontrolle und Leitung der Betriebe immense Chancen boten. An den deutschen Universitäten entwickelte sich die Organische Chemie, anders als in England oder Frankreich, zu einer einflussreichen Schule, stellte grundlegendes Wissen für die Farbstofftechnik bereit und schaffte ein Potential gut ausgebildeter Industriechemiker. Dies zeigte sich gerade in der raschen Diversifikation der Azo-, Anthraquinon- und Schwefelfarbstoffe und schließlich beim großen Kraftakt der industriellen Indigosynthese (1897), für die *BASF* und *Hoechst* zusammen ca. 30 Mio. Reichsmark aufwendeten [2, 6]. Die Indigosynthese wurde schließlich von *Heumann* und *Pfleger* durch Alkalischnmelze des Ausgangsstoffs *N*-Phenylglycins durch Zusatz von Natriumamid so verbessert, dass der synthetische Farbstoff wesentlich billiger wurde als der natürliche.

Zu Beginn des Ersten Weltkriegs entstammten etwa 80 % (ca. 127 000 t) der Farbstoff-Weltproduktion aus den oben genannten Farbstoff-Fabriken. Nach dem Weltkrieg konnten jedoch die großen Aktiengesellschaften der Farbstoff produzierenden Industrie diese dominierende Stellung auf dem Weltmarkt, auch durch ihre Fusion in der I.G. Farbenindustrie AG, nicht mehr zurückgewinnen [2].

## 2.2 Färbereiabwasser

Noch im Mittelalter waren die Arbeitsbedingungen für die Färber derart, dass sie im Freien arbeiteten (Bild 2.3). Sie ließen ihre Färbereiabwässer, die sogenannten Flotten, auf den umliegenden Wiesen versickern. Nachdem die meisten Branchen, u. a. die chemische Farben-, Textil- und Eisenhüttenindustrie sowie die Zuckerindustrie, bis zur Reichsgründung 1870/71 ihre Produktionsmethoden industrialisiert hatten, wurde in den frühen 1880er-Jahren ein erster Höhepunkt industrieller Emissionen erreicht, der das Maß der bis dahin bekannten Belastung weit überstieg [7]. So nahm beispielsweise während der Braunschweiger Zuckerkampagne im Jahre 1884/85 die Wasserverschmutzung durch Produktionssteigerungen so stark zu, dass die Trinkwasserversorgung der Stadt völlig zusammenbrach [8, 9].

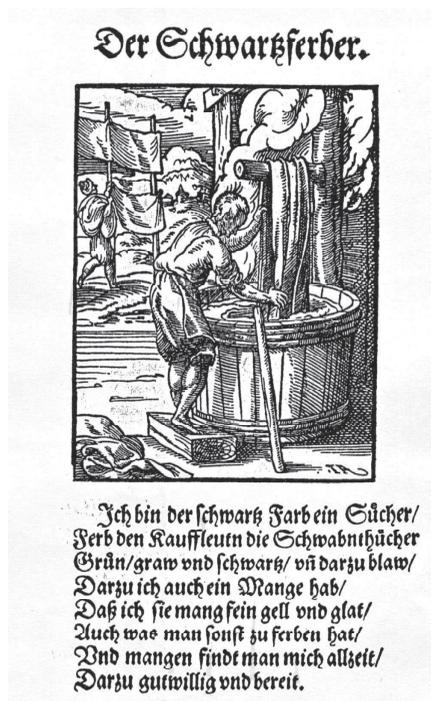


Bild 2.3: Färber bei der Arbeit, Holzschnitt „Der Schwarzferber“ von Jost Amman mit einem Vers von Hans Sachs (um 1568) [10].

Zur Verschmutzung der Flüsse durch farbige Abwässer nahm ein Medizinalrat *Beyer* Stellung: „Wollt man beispielsweise allen den Fabriken, welche in Barmen-Elberfeld die Wupper durch Einleitung ihrer Effluven derart verunreinigen, daß dieselbe meistens einem Tintenstrom gleicht, die Zuleitung der Effluven untersagen, was nach Lage der Gesetze gerechtfertigt wäre, woran jedoch gewiß niemand mehr denkt, so würde nicht nur die Existenz zahlreicher Familien vernichtet und Tausende von Arbeitern brodlos werden, sondern es würde der gesamten Industrie voraussichtlich eine Wunde geschlagen, welche sie schwerlich völlig zu verwunden im Stande wäre“ [11].

Eine breite öffentliche Diskussion zur industriellen Gewässerverschmutzung wurde bis in die 1890er-Jahre offenbar nicht geführt. Die Beurteilung industrieller Abwässer war im Gegensatz zur Bewertung von kommunalen Abwässern häufig sogar positiv, weil ihnen neutralisierende bzw. desinfizierende Effekte zugeschrieben wurden. So konnte *Duisberg*, der seit 1900 dem Vorstand der *Farbenfabriken Bayer* angehörte, noch 1912 die angeblich positive Wirkung der Abwässer der chemischen Industrie unterstreichen, die mit ihren oftmals sauren pH-Werten die gesundheitsschädlichen Keime im Wasser zerstöre [7]. Betroffen von derartigen anarchischen Abwassereinleitungen waren Fischer und die Orte flussabwärts; es kam zum Widerstand. In England sprach sich eine Kommission, die zur Aufklärung der Konflikte um die Flussverunreinigung eingesetzt wurde, sogar gegen die Theorie der Selbstreinigungskraft von Gewässern aus. „Selbstreinigung sei eigentlich nur eine „Verdünnung und Sedimentierung“ der Schmutzstoffe im Fluss. Ein Abbau der eingeleiteten Stoffe auf chemischem Wege hingegen verlaufe in den Flüssen äußerst langsam“ [9].

Eine eigens zur Abwasserableitung einberufene Versammlung von Textilfabrikanten im münsterländischen Ochtrup richtete 1889 eine Petition an das preußische Staatsministerium. Vor allem wurde das „Privatflussgesetz“ von 1843 und die Beschränkung der Industrie durch die Reichsgerichtsbarkeit kritisiert. Dieses Gesetz billigte jedem Uferbesitzer bis zur Mittellinie eines nichtschiffbaren Gewässers das Recht zu, dass an dem Grundstück vorüberfließende Wasser zu seinem besonderen Vorteil zu nutzen. Das Reichsgericht hatte jedoch 1886 festgestellt, dass Zuleitungen nicht statthaft seien, sofern sie das Maß des „Gemeinüblichen“ überschritten. Mit dem Begriff der „Gemeinüblichkeit“ wurde, da Grenzwerte – so wie heute auch – heftig umstritten waren, die Rechtsunsicherheit im Wasserrecht gefördert. Die Petition wurde ausschließlich mit ökonomischen und sozialen Motiven begründet. Eine Argumentation, die versucht hätte, die Unschädlichkeit der Textilabwässer zu belegen, fehlte. Die Kläger nutzten wissenschaftliche Argumente nur insoweit, als diese einen materiell erlittenen Schaden dokumentieren konnten. Zahlte die Industrie Entschädigungen an die Flussanrainer, die die zu erwartenden Einnahmen aus der Landwirtschaft überstiegen, so konnten zumindest Großgrundbesitzer gut mit den industriellen Abwässern leben und es bestand kaum ein Interesse an der Veränderung der Verhältnisse [7].

Dass sich die Abwasser produzierenden Betriebe gegenseitig ihre dringend benötigte Ressource Wasser nachhaltig schädigten, zeigt das Beispiel eines Schreibens der Direktion der Ravensberger Spinnerei in Bielefeld um 1900 [12]. Diese bezog ihr Prozesswasser aus dem Bielefelder Lutterbach. Dabei wurden zwei Färbereien zum wiederholten Mal als Verschmutzer des Baches identifiziert: „Die Verunreinigungen, welche vornehmlich von dem Abfluß von Farbbrühen herzurühren scheinen und deshalb das Wasser ... sehr dunkel färben, sind bei dem Bleichereibetriebe außerordentlich schädlich“ [13]. Unter Androhung eines Zwangsgeldes untersagte die Polizeibehörde der Färberei *Hobmann* die weitere Abwassereinleitung, worauf die Färberei konterte, dass der Bach bereits verschmutzt sei, bevor er das firmeneigene Gelände

berühre. Sollte es der Verwaltung „darum zu thun sein, die Industrie dort zu verkleinern, so werden ... die Inhaber ... ins Mittel treten. Es ist eine Erpressung, mit Geld- und Gefängnisstrafen zu drohen. Ich werde die Sache einem Rechtsanwalt übertragen“ [14]. Der Bielefelder Oberbürgermeister erklärte, dass die Stadt vergeblich nach Mitteln geforscht habe, den Abwässern die Färbung zu entziehen, die noch kilometerweit das „unappetitliche“ Aussehen der Lutter geprägt hätte. Auch würden die „Chemikalien aus den Färbereien die Vegetation auf den Riesefeldern zerstören“ [15]. Letztendlich schlug die Behörde Maßnahmen zur technischen Abwasserbehandlung vor: „Die Firma *Hobmann* hat Absetzbecken, Schlammfänge sowie Schlacken- und Koksfilter anzulegen und innerhalb von 2 Monaten in Betrieb zu nehmen“ [16].

Dass die Verschmutzung der Lutter noch bis in die 1920er Jahre ein vieldiskutiertes Thema war, zeigt das Notgeld in einer Reihe von Leinenscheinen zum 700-jährigen Jubiläum der Stadt Bielefeld [17, 18]. Neben der Glosse mit der Bekanntmachung: „Es wird hiermit bekannt gemacht, daß niemand in die Bache ... , denn morgen wird gebräut“, wird an den Rändern des Geldscheins die Geschichte von „*Hennerken Puls*“ berichtet (Bild 2.4).



*Bild 2.4: Bielefelder „25 Mark“-Notgeld-Leinenschein aus dem Jahre 1921: die in den Ecken des Scheins dargestellte Bildergeschichte (Vergrößerungen siehe unten) bezieht sich auf die Verschmutzung des Bielefelder Lutterbaches durch Färbereien um 1900 und stammen aus der Feder des Graphikers Fritz Schreiber und des bekannten Glasmalers Karl Muggly.*



*Lohmann und Hobmann  
beides Färbereien  
leiten Abwässer in den Lutterbach*

*Hennerken Puls steigt am Sonntagmorgen  
wie gewohnt in den Lutterbach  
zum erfrischenden Bade*



*Die Abflußwasser der Färbereien  
hatten den Lutterbach blau gefärbt  
und mit ihm Hennerken Puls*

*Hennerken Puls versucht  
seine ursprüngliche Farbe  
wieder herzustellen...*



Im Jahre 1905 veröffentlichte Adam [19] für den Verein der Deutschen Textilveredlungsindustrie eine Abhandlung zum Abfall- und Abwasserproblem in der Textilveredlungsbranche. In der Publikation wurde die Verarbeitung und Nutzbarmachung von Abfallstoffen in den weitaus meisten Fällen ausgeschlossen: „Sie müssen beseitigt werden, und da sie wertlos sind, ist man naturgemäß bemüht, sie möglichst ohne Kosten zu beseitigen; denn das Geld, welches die Beseitigung kostet, kommt in keiner Weise der Fabrikation zugute, sondern verteuert sie in jedem Falle.“ Die „Ausgaben ohne Gegenleistung“ behinderten die Ertragsfähigkeit der Unternehmen, so dass das „Sträuben der Gewerbetreibenden“, kostspielige Abfallbeseitigungsanlagen zu schaffen, wirtschaftlich berechtigt sei [7, 19].

### 2.3 Abwasserbehandlung

Die Einführung abwassertechnischer Anlagen spielten in Deutschland erst um 1900 eine Rolle. In England erprobte man seit etwa 1880 die „chemische“ Behandlung von Abwässern [20], d. h. die Adsorption gelöster Abwasserinhaltsstoffe mit Eisen- bzw. Aluminiumsalzen in Verbindung mit Kalkmilch sowie die Koagulation und Ausflockung kolloidal gelöster Sub-

stanzgruppen. Man erkannte sehr rasch, dass die alleinige Behandlung textiler Abwässer mit aciden (u. a. Aluminiumsulfat, Eisenchlorid, Eisen-III-sulfat, Eisenvitriol) oder basischen (u. a. Kalk) Fällchemikalien oder deren Kombination saure bzw. basische Abwässer erzeugt, die „nicht immer ... ohne Bedenken dem Vorfluter zugeleitet werden können, so dass anfängliche Begeisterung ... nach und nach in Ablehnung umschlug“ [21]. Gleichzeitig wurde die Untersuchung und der Einsatz biologischer Reinigungsverfahren bestehend aus Bodenfiltern, Rieselfeldern und Tropfkörpern vorangetrieben. Dabei entbrannte zwischen den Fachleuten ein emotional aufgeheizter Streit um die Frage, ob die biologische oder die chemische Klärung besser sei. Man vertrat die Meinung, biologische - also kommunale - Abwässer müssten biologisch, chemische meist mit anorganischen Inhaltsstoffen versetzte industrielle Abwässer müssten chemisch behandelt werden [22]. Für die industriellen Interessenverbände handelte es sich bei der Einführung von Abwasserreinigungsmaßnahmen um „Vergeudung von Nationalkapital“ (*Duisberg*), aber auch für die Kommunen gehörten derartige Maßnahmen zu den „allerruinösesten Einrichtungen“, die lediglich einer „eingebildeten Gefahr“ vorbeugen konnten [7]. Nach und nach zeichnete sich aber auch unter sozialhygienischen Aspekten ein Bewusstseinswandel ab, dass der im chemisch vorbehandelten Abwasser zurückbleibende sauerstoffzehrende Rest an Inhaltsstoffen nur auf biologischem Wege entfernt werden könne. So wurde für die Einleitung von Abwässern in wasserarme Vorfluter ein biologisches Tropfkörperverfahren vom *Niersverband* ausgearbeitet [21].

Oftmals waren abwasserintensive klein- und mittelständische Betriebe finanziell nicht in der Lage, die technische Abwasserreinigung selbst zu finanzieren. Aus diesem Grunde riefen vor allem in großen zusammenhängenden Industriegebieten die Kommunen und Industrien Wasser- und Abwassergenossenschaften ins Leben, die mit der Aufgabe der Abwasserreinigung betraut wurden. So entstand u. a. bereits 1904 die *Emscher-Genossenschaft* sowie 1927 der schon erwähnte *Niersverband*. Die Verbände fassten ausgehend vom Standpunkt, „dass der Bau und Betrieb einer Sammelkläranlage auf lange Sicht billiger sei, als eine Reihe kleinerer Anlagen“ [21] sowie unter der Annahme, dass die Problemlösung industrieller Abwasserverschmutzung offenbar in der Verdünnung mit kommunalen Abwässern zu suchen sei, nach dem Prinzip „*the solution of pollution is dilution*“ [23], häusliche und industrielle Abwässer zusammen und reinigten diese in Gruppenklärwerken. Das Selbstverwaltungsrecht kommunaler und industrieller Abwassereinleiter war dafür verantwortlich, dass durch Einleitung industrieller Abwässer manche weitläufigen Flusssysteme, wie z. B. Emscher oder Ruhr, in „Opferstrecken“ umgewidmet wurden, die so stark geschädigt waren, dass sich eine Rekultivierung „beim besten Willen ohne existenzgefährdende Beeinflussung der Industrie“ nicht lohnte [7].

Gegenwärtig behandeln etwa 12 textilveredelnde Betriebe in Deutschland ihre Abwässer in einer betriebseigenen Kläranlage und leiten sie direkt in einen Vorfluter ein [24]. Der überwiegende Anteil der Textilveredelungsindustrie (TVI) sorgt als Indirekteinleiter in eine kommunale Kläranlage lediglich für eine Vergleichmäßigung, Neutralisation und Flusenabscheidung im Abwasserstrom. So erreichen kommunale Kläranlagen auch heute noch durch die Einleitung textiler Abwässer nicht immer mit ausreichender Betriebssicherheit den vorgeschriebenen Grenzwert für den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) und nur eine unzureichende Entfärbung des Abwassers.

So ist die Abwasserfrage für die TVI, die *Adam* [19] zu Beginn des 20. Jahrhunderts und *Schönberger* [25] noch 1998 diskutierten, bis heute nicht in zufriedenstellender Art und Weise gelöst. Es scheint ein strukturelles Problem der deutschen TVI zu sein; der Kostendruck sowie die schwache Konjunktur hat in der Vergangenheit dazu beigetragen, dass der Stand der Ab-