

**Integrierte Vermeidung und Verminderung der  
Umweltverschmutzung**

**Merkblatt zu den  
besten verfügbaren Techniken für die  
Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen**

**September 2005**

**mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung**

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Merkblatt über die Besten Verfügbaren Techniken (BVT-Merkblatt) mit dem Titel „Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen (STM)“ beruht auf einem Informationsaustausch nach Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG des Rates (IVU-Richtlinie). In der vorliegenden Zusammenfassung werden die wichtigsten Ergebnisse, die wesentlichen Schlussfolgerungen zu den BVT und die damit verbundenen Emissions- und Verbrauchswerte beschrieben. Sie ist im Zusammenhang mit dem Vorwort zu sehen, in dem die Zielsetzungen dieses Dokuments, seine Verwendung und seine Rechtsgrundlage erläutert werden. Sie kann als eigenständiges Dokument gelesen und verstanden werden. Dem Charakter einer Zusammenfassung entsprechend sind jedoch nicht alle Aspekte des gesamten Merkblattes enthalten. Im Prozess der BVT-Entscheidungsfindung ist diese Zusammenfassung daher nicht als Ersatz für den vollen Wortlaut anzusehen.

### Anwendungsbereich dieses Dokuments

Der Anwendungsbereich dieses Dokuments ergibt sich aus Anhang I Nummer 2.6 der IVU-Richtlinie 96/61/EG: *„Anlagen zur Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen durch ein elektrolytisches oder chemisches Verfahren, wenn das Volumen der Wirkbäder 30 m<sup>3</sup> übersteigt“*. Die Auslegung von *„wenn das Volumen der Wirkbäder 30 m<sup>3</sup> übersteigt“* ist wichtig für die Entscheidung darüber, ob für eine konkrete Anlage eine IVU-Genehmigung erforderlich ist. Maßgebend ist die Einleitung zu Anhang I der Richtlinie: *„Führt ein und derselbe Betreiber mehrere Tätigkeiten derselben Kategorie in ein und derselben Anlage oder an ein und demselben Standort durch, so addieren sich die Kapazitäten dieser Tätigkeiten“*. Viele Anlagen betreiben eine Mischung aus Klein- und Großproduktionslinien und aus elektrolytischen und chemischen Verfahren sowie damit verbundene Aktivitäten. Damit wurden beim Informationsaustausch alle Verfahren innerhalb des Anwendungsbereichs unabhängig von ihrer Größenordnung berücksichtigt.

In der Praxis werden die zur Zeit angewendeten elektrolytischen und chemischen Verfahren auf wässriger Basis durchgeführt. Direkt damit verbundene Aktivitäten werden ebenfalls beschrieben. Nicht behandelt werden im Merkblatt:

- das Härten (mit Ausnahme von Wasserstoffentsprödung)
- andere physikalische Oberflächenbehandlungen wie das Vakuumbedampfen mit Metallen
- das Feuerverzinken und Massenbeizen von Eisen und Stählen: diese werden im BVT-Merkblatt für die Verarbeitung von Eisenmetallen erörtert
- Oberflächenbehandlungsverfahren, die im BVT-Merkblatt für die Oberflächenbehandlung mittels Lösemitteln erörtert werden, wenngleich die Entfettung mittels Lösemitteln im vorliegenden Dokument als Entfettungsalternative erwähnt wird
- das elektrophoretische Lackieren, das ebenfalls im BVT-Merkblatt zu STS erörtert wird.

### Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen (STM)

Metalle und Kunststoffe werden behandelt, um ihre Oberflächeneigenschaften für folgende Zwecke zu verändern: Dekor und Reflexion, verbesserte Härte und Abriebfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und als Basis für die bessere Haftung anderer Behandlungen wie Lackierungen oder lichtempfindliche Beschichtungen zum Bedrucken. Kunststoffe, die preiswert erhältlich und problemlos gieß- oder formbar sind, behalten ihre Eigenschaften wie Isolationswirkung und Biegsamkeit, während ihren Oberflächen die Eigenschaften von Metallen verliehen werden können. Leiterplatten sind ein Sonderfall, geht es doch dabei um die

Herstellung komplizierter elektronischen Schaltkreise unter Verwendung von Metallen auf der Oberfläche von Kunststoffen.

STM bildet selbst keinen eigenen vertikalen Sektor, da eine Leistung für eine Vielzahl verschiedener anderer Industriezweige erbracht wird. Leiterplatten könnten als Erzeugnisse gelten, werden aber in großem Umfang bei der Fertigung von Computern, Mobiltelefonen, Elektro-Haushaltsgeräten oder Fahrzeugen usw. eingesetzt.

Der Markt für Produkte der Oberflächenbehandlung ist annähernd so strukturiert: Kraftfahrzeuge 22 %, Bauwesen 9 %, Lebensmittel- und Getränkebehälter 8 %, Elektroindustrie 7 %, Elektronik 7 %, Stahlhalbzeuge (Komponenten für andere Baugruppen) 7 %, industrielle Ausrüstungen 5 %, Luft- und Raumfahrt 5 %, andere 30 %. Die Bandbreite von behandelten Komponenten reicht von Schrauben, Muttern und Bolzen, Schmuck und Brillengestellen, Bauteilen für Kraftfahrzeuge und andere Industriezweige bis hin zu Stahlwalzen von bis zu 32 t und über 2 m Breite für das Pressen von Fahrzeugkarosserien, Lebensmittel- und Getränkebehältern usw.

Der Transport von Werkstücken oder Substraten im Rahmen der Fertigung erfolgt entsprechend ihrer Größe, Form und geforderten Oberflächenspezifikation durch Gestelle (*rack ist die amer. Form für jig*, Anm. d. Bearb.) für Einzelteile oder Werkstücke in kleinen Stückzahlen und hoher Qualität oder durch Trommeln für große Mengen von Teilen geringerer Qualität; kontinuierlich zu behandelnde Substrate (von Draht bis hin zu großen Stahlbandrollen) werden in Durchlaufanlagen bearbeitet. Bei Leiterplatten sind die Produktionsabfolgen besonders kompliziert; sämtliche Tätigkeiten werden unter Verwendung von Gestellen ausgeführt, weshalb die Tätigkeiten unter Gestellanlagen beschrieben und erörtert werden mit ergänzenden Abschnitten, die sich mit speziellen Aspekten der Trommel-, Band- und Leiterplattenbearbeitung befassen.

Gesamtzahlen für die Produktion liegen nicht vor, aber im Jahre 2000 belief sich der Bandstahldurchsatz auf rund 10,5 Mio. t, und es wurden rund 640 000 t Aluminium für das Bauwesen anodisiert. Ein anderer Gradmesser für Größe und Bedeutung der Industrie ist die Tatsache, dass jedes Auto über 4000 oberflächenbehandelte Komponenten enthält, darunter auch Karosseriepaneele, beim Airbus-Flugzeug sind es sogar mehr als zwei Millionen.

In der EU-15 gibt es ca. 18 000 Anlagen (IVU und Nicht-IVU), obwohl durch den Verlust von Maschinenbaukapazitäten, vor allem an Asien, die Industrie in den letzten Jahren um mehr als 30 % geschrumpft ist. Mehr als 55 % sind spezialisierte Subunternehmer („Lohnbetriebe“), während die übrigen Oberflächenbehandlungen unter anderen anbieten, in der Regel sind dies KMU. Einige große Anlagen gehören großen Unternehmen, aber die meisten sind KMU mit 10 bis 80 Mitarbeitern. Verfahrenslinien sind üblicherweise modular aufgebaut und aus einer Reihe von Behältern zusammengesetzt. Großanlagen sind allerdings zumeist spezialisiert und kapitalintensiv.

### **Wichtigste Umweltprobleme**

Die Oberflächenbehandlung spielt eine wichtige Rolle bei der Verlängerung der Lebensdauer von metallischen Gegenständen, etwa bei Kfz-Karosserien und Baumaterialien. Ein weiteres Einsatzgebiet sind Ausrüstungen, die die Sicherheit erhöhen oder den Verbrauch anderer Rohstoffe senken (z. B. Galvanisieren von Brems- und Federungssystemen in der Luft- und Raumfahrt und bei Kraftfahrzeugen, Galvanisieren von Präzisionskraftstoffeinspritzpumpen für Kfz-Motoren zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs, Galvanisieren von Dosenblechen zur Lebensmittelkonservierung usw.). Die wichtigsten Einwirkungen auf die Umwelt stehen in Verbindung mit dem Energie- und Wasserverbrauch, dem Verbrauch von Rohstoffen, Emissionen in das Oberflächen- und das Grundwasser, festen und flüssigen Abfällen und der Situation des Standorts bei Stilllegung der Anlage.

Da die in diesem Dokument erfassten Verfahren vorwiegend auf wässriger Basis ablaufen, sind der Wasserverbrauch und seine Steuerung zentrale Themen, denn er hat auch Einfluss auf die Verwendung von Rohmaterialien und deren Emission in die Umgebung. Sowohl prozessintegrierte als auch end-of-pipe-Techniken beeinflussen die Menge und Güte von Abwässern sowie die Art und Menge von anfallenden festen und flüssigen Abfällen. Obwohl Praxis und Infrastruktur in der Industrie sich verbessert haben, kommt es immer noch zu vielen Umwelthavarien und der Gefahr ungeplanter Emissionen, deren Auswirkungen als zu hoch angesehen werden.

Für die elektrochemischen Reaktionen und den Betrieb der Anlagen wird elektrische Energie benötigt. Fossile Brennstoffe werden vor allem für das Beheizen von Prozessbehältern und Arbeitsräumen sowie zum Trocknen verbraucht.

Die wesentlichen Emissionen, die ins Wasser gelangen, sind Metalle, die als lösliche Salze eingesetzt werden. Je nach Verfahren können die wässrigen Emissionen auch Zyanide enthalten (wenn auch in sinkendem Maße) sowie Tenside mit unter Umständen geringer biologischer Abbaubarkeit und kumulativer Wirkung, z. B. NPE und PFOS. Die Vorbehandlung von zyanidhaltigen Abwässern mit Hypochlorit kann zur Entstehung von AOX führen. Komplexbildner (einschließlich Zyanide und EDTA) können die Fällung von Metallen bei der Abwasserbehandlung beeinträchtigen oder bereits gefällte Metalle in aquatischem Milieu rüchlösen. Örtlich können noch andere Ionen, z. B. Chloride, Sulfate, Phosphate, Nitrate und borhaltige Anionen, eine Rolle spielen.

Die Oberflächenbehandlung spielt keine wesentliche Rolle bei Emissionen in die Luft, aber einige Emissionen können örtlich von Bedeutung sein, wie  $\text{NO}_x$ , HCl, HF und Säurepartikel aus Beizprozessen, Chrom(VI)-Nebel aus der Verchromung mit Chrom(VI) sowie Ammoniak aus dem Kupferätzen bei der Leiterplattenherstellung und der chemischen Metallabscheidung. Staub - als Gemisch aus Schleifmitteln und Abschleifsubstrat - entsteht durch die mechanische Vorbehandlung von Komponenten. Bei einigen Entfettungsprozessen werden Lösemittel verwendet.

### **Angewandte Prozesse und Techniken**

Bis auf einige einfache Tätigkeiten erfordern alle Vorgänge eine gewisse Vorbehandlung (z. B. Entfettung), gefolgt von mindestens einer Hauptbehandlungsstufe (z. B. Galvanisieren, Anodisieren oder chemische Bearbeitung) und schließlich Trocknen. Alle Verfahren sind für Gestellteile entwickelt worden; einige Verfahren werden auch für Teile in Trommeln durchgeführt, und einige Band-Substrate auf Spulen- oder großen Rollen. Bei Leiterplatten sind die Fertigungsabläufe kompliziert und können bis zu 60 Schritte umfassen. Für Trommel- und Bandgalvanik sowie für die Leiterplattenfertigung werden zusätzliche Informationen aufgeführt.

### **Verbrauchs- und Emissionswerte**

Best geeignet wären die Daten, die auf den Produktionsdurchsatz bezogen sind, wie auf die behandelte Fläche (in  $\text{m}^2$ ), aber hier liegen kaum Angaben vor. Der Großteil der Daten betrifft die Emissionskonzentrationen für spezielle Anlagen oder die Bandbreite für Industriezweige oder Regionen/Länder. Wasser wird - abgesehen von einigen Kühlsystemen - am meisten beim Spülen verbraucht. Energie (fossile Brennstoffe und Elektrizität) wird für Heizprozesse und das Trocknen verbraucht. Elektrizität wird in einigen Fällen auch zum Kühlen sowie für die elektrochemischen Prozesse, für Pumpen und Verfahrensausrüstungen, Behälterzusatzheizungen, zur Beheizung des Arbeitsplatzes und für Beleuchtung verbraucht. Bei Rohmaterialien ist der Verbrauch von Metallen von Bedeutung (wenn auch nicht global, denn beispielsweise werden nur 4 % des in Europa verarbeiteten Nickels für die Oberflächenbehandlung verwendet). Säuren und Basen werden ebenfalls in großen Mengen verbraucht, andere Materialien wie Tenside hingegen werden oft als fertige Mischungen geliefert.

Emissionen erfolgen hauptsächlich in das Wasser, zusätzlich fallen jedes Jahr rund 300 000 t gefährliche Abfälle an (im Schnitt 16 t pro Anlage), vor allem in Form von Schlamm aus der Abwasseraufbereitung oder als verbrauchten Prozesslösungen. Örtlich sind einige Emissionen in die Luft, einschließlich Lärm von Bedeutung.

### **Bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigende Techniken**

Wichtige Probleme für die Verwirklichung von IVU in diesem Industriezweig sind: wirksame Managementsysteme (eingeschlossen die Verhinderung von Umweltunfällen und Minimierung ihrer Auswirkungen, besonders für Böden, das Grundwasser sowie die Standortstilllegung), effizienter Rohmaterial-, Energie- und Wasserverbrauch, die Substitution schädlicher durch weniger schädliche Stoffe sowie die Minimierung, Aufbereitung und Wiederverwendung von Abfällen und Abwasser.

Zu den genannten Problemen gibt es eine Vielzahl verschiedener prozessintegrierter und end-of-pipe-Techniken. Im vorliegenden Dokument werden über 200 Techniken zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung vorgestellt, und zwar in den folgenden 18 Rubriken:

1. *Instrumente des Umweltmanagements:* Umweltmanagementsysteme spielen eine wesentliche Rolle bei der Minimierung der Umweltauswirkungen industrieller Aktivitäten im Allgemeinen; einige Maßnahmen sind von besonderem Belang für STM, darunter die Standortstilllegung. Weitere Instrumente sind die Minimierung von Neubearbeitungen zur Verringerung von Umweltauswirkungen, das Festlegen von Benchmarks für den Verbrauch, die Optimierung von Verfahrensanlagen (am einfachsten durch Software) und die Verfahrenssteuerung.
2. *Anlagenplanung, -bau und -betrieb:* Viele allgemeine Maßnahmen können angewendet werden, um ungeplante Freisetzungen zu vermeiden und zu vermindern, und diese vermeiden die Verunreinigung von Boden und Grundwasser.
3. *Allgemeine Betriebsprobleme:* Techniken zum Schutz der zu behandelnden Materialien senken den Umfang der erforderlichen Behandlung und die entsprechenden Verbrauchs- und Emissionswerte. Mit der richtigen Positionierung von Werkstücken in der Prozessflüssigkeit wird der Austrag von Chemikalien aus Prozesslösungen reduziert, und durch das Bewegen von Lösungen wird eine einheitliche Lösungskonzentration an der Oberfläche gewährleistet und zusätzlich beim Anodisieren Wärme von der Oberfläche von Aluminium abgeführt.
4. *Energie-/Wassereinsatz und sein Management:* Es gibt Techniken zur Optimierung des Stromverbrauchs und zur Optimierung der beim Kühlen verbrauchten Energie- und/oder Wassermenge. Es kommen andere Brennstoffe vorrangig für das Erwärmen von Lösungen unter Verwendung von direkten oder indirekten Systemen zum Einsatz, und Wärmeverluste können vermindert werden.
5. und 6. *Austragsverringerung und -verhinderung:* Spültechniken und Rückgewinnung von Austragsverlusten: Die Hauptquelle für Verunreinigungen in dieser Branche sind Rohstoffe, die von den Werkstücken aus Prozesslösungen ausgetragen und in das Spülwasser eingetragen werden. Der sparsame Einsatz von Materialien in den Verfahren sowie die Nutzung von Spültechniken zur Rückgewinnung von Austrag sind maßgebend für eine Senkung des Rohmaterial- und Wasserverbrauchs sowie die Verringerung von Emissionen in das Abwasser sowie das Entstehen von Abfall.
7. *Andere Wege zur Optimierung des Rohmaterialverbrauchs:* Wie das Austragsproblem (siehe oben) kann auch eine mangelhafte Verfahrenssteuerung zur Überdosierung führen, wodurch der Materialverbrauch und die Verluste ins Abwasser zunehmen.
8. *Elektrodentechiken:* Bei einigen elektrolytischen Verfahren ist die anodische Stromausbeute höher als die an der Kathode, was zu Metallanreicherung im Elektrolyten und erhöhten Verlusten führt; dies wiederum ist Ursache für vermehrte Abfall- und Qualitätsprobleme.

9. *Ersatz*: Die IVU-Richtlinie verlangt, den Einsatz weniger gefährlicher Substanzen zu prüfen. Es werden verschiedene Ersatzmöglichkeiten für chemische Stoffe und Verfahren erörtert.

10. *Pflege der Prozesslösung*: In Lösungen sammeln sich Verunreinigungen durch Eintrag oder Abbau von Einsatzstoffen usw. an. Es werden Techniken zur Entfernung dieser Verunreinigungen erörtert, durch die die Qualität des fertigen Produkts verbessert und die Nachbearbeitung von Fehlchargen verringert sowie Rohmaterialien gespart werden.

11. *Rückgewinnung von Prozessmetallen*: Diese Techniken kommen oft in Verbindung mit Austragkontrollen zur Rückgewinnung von Metallen zum Einsatz.

12. *Nachbehandlungstätigkeiten*: Dazu gehören das Trocknen und Entsprödung, doch es wurden keine Daten vorgelegt.

13. *Bandbeschichtung im Durchlaufbetrieb – Stahlbandbeschichtung im großtechnischen Maßstab*: Hierbei handelt es sich um spezielle Techniken für die Stahlbandbeschichtung in Großanlagen, und sie ergänzen Techniken in anderen Abschnitten, die anwendbar sind. Sie können auch bei anderen Bandbeschichtungs- oder Reel-to-Reel-Verfahren angewendet werden.

14. *Leiterplatten*: Diese Techniken dienen speziell der Leiterplattenfertigung, die allgemeine Erörterung von Techniken schließt jedoch die Leiterplattenherstellung ein.

15. *Verminderung von Luftemissionen*: Bei einigen Tätigkeiten kommt es zu Emissionen in die Luft, die verringert werden müssen, um örtliche Umweltqualitätsnormen zu erfüllen. Es werden prozessintegrierte Techniken sowie Extraktion und Behandlung erörtert.

16. *Verminderung von Abwasseremissionen*: Abwasser und der Verlust von Rohstoffen können gesenkt werden, aber sehr selten auf Null. Zusätzliche Abwasserbehandlungstechniken richten sich nach der Art der vorhandenen Chemikalien einschließlich Metallkationen, Anionen, Öle und Fette und Komplexbildner.

17. *Abfallmanagement*: Abfallminimierung wird durch Kontrolle der Ausschleppverluste sowie durch Pflege der Elektrolyte erreicht. Das Hauptabfallaufkommen sind Schlämme aus der Abwasserbehandlung, verbrauchte Lösungen und Abfälle aus der Prozesswartung. Interne Techniken können die Verwendung von Aufbereitungstechniken Dritter unterstützen (die jedoch nicht zum Umfang des vorliegenden Dokuments gehören).

18. *Lärmmanagement*: Beispielhafte Praktiken und/oder maßgeschneiderte Techniken können Lärmeinwirkungen verringern.

### **BVT für die Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen**

Im BVT-Kapitel (Kapitel 5) werden die Techniken genannt, die als BVT im Allgemeinen gelten, vor allem basierend auf den Angaben in Kapitel 4 sowie unter Berücksichtigung der Definition des Begriffs „beste verfügbare Techniken“ in Artikel 2 Absatz 11 und der Erwägungen in Anhang IV der Richtlinie. Im BVT-Kapitel werden keine Emissionsgrenzwerte festgelegt oder vorgeschlagen, sondern Verbrauchs- und Emissionswerte empfohlen, die mit der Anwendung bestimmter BVT erreicht werden können.

Im Folgenden werden die wichtigsten BVT-Schlussfolgerungen zu den relevantesten Umweltproblemen zusammengefasst. Auch wenn die Industrie im Hinblick auf die Größe und Bandbreite der Tätigkeiten komplex ist, gelten die gleichen grundlegenden BVT für alle, und es werden andere BVT für spezielle Verfahren genannt. Die BVT-Elemente müssen dann an den speziellen Anlagentyp angepasst werden.

### **Grundlegende BVT**

BVT bedeutet die Umsetzung und Einhaltung von Umwelt- und anderen Managementsystemen. Dazu gehören die Festlegung von Vergleichswerten für Verbrauchs- und Emissionswerte (im zeitlichen Verlauf gegenüber internen und externen Daten), die Optimierung von Verfahren und die Minimierung von Nacharbeit. BVT bedeutet Schutz der Umwelt, vor allem von Boden und Grundwasser, durch einfaches Risikomanagement bei der Planung, beim Bau und Betrieb von Anlagen im Verbund mit Techniken, die im vorliegenden Dokument und im BVT-Merkblatt zur Lagerung gefährlicher Substanzen und staubender Güter (Lagerung und Verwendung von Prozesschemikalien und Rohmaterialien) beschrieben werden. Diese BVT sind hilfreich bei der Standortstilllegung durch Verminderung ungeplanter Emissionen in die Umwelt, der Aufzeichnung der Vorgeschichte des Einsatzes von Vorrang- und gefährlichen Chemikalien und der unverzüglichen Regelung von potenzieller Verunreinigung.

BVT ist die Minimierung der Verluste an elektrischer Energie im Versorgungssystem sowie die Verringerung von Wärmeverlusten bei den Heizprozessen. In Bezug auf das Kühlen heißt BVT, den Wasserverbrauch durch Verwendung von Verdunstungssystemen und/oder Systemen mit geschlossenen Kreisläufen zu verringern und außerdem Systeme zu konstruieren und zu betreiben, die die Bildung und Übertragung von Legionellen verhindern.

BVT ist die Minimierung von Materialverlusten durch das Zurückhalten von Rohmaterialien in Prozessbehältern und gleichzeitig die Minimierung des Spülwasserverbrauchs durch Verminderung des Ein- und Austrags von Prozesslösungen sowie der Anzahl der Spülstufen. Dies kann erreicht werden durch Behandlung von Werkstücken auf Gestellen und in Trommeln, die ein schnelles Abtropfen zu ermöglichen, durch die Vermeidung einer Überdosierung von Prozesslösungen und durch den Einsatz von Öko- und Mehrfach- Gegenstrom-Spülen (Kaskaden) insbesondere mit der Rückführung von Spülwasser in den Prozessbehälter. Diese Techniken können noch aufgewertet werden durch die Anwendung von Techniken zur Rückgewinnung von Materialien aus den Spülstufen. Der Referenzwert für den Wasserverbrauch bei einer Kombination dieser Techniken liegt bei 3 - 20 l/m<sup>2</sup> Substratoberfläche/Spülstufe; es werden einschränkende Faktoren für diese Techniken beschrieben. Für beispielhafte Anlagen werden einige Materialeffizienzwerte in Verbindung mit diesen Rückhalte- und Rückgewinnungstechniken angegeben.

In manchen Fällen kann der Spülwasserverbrauch für ein spezielles Verfahren einer Linie verringert werden, bis der Materialkreislauf geschlossen ist: Das ist BVT beispielsweise für Edelmetalle, Chrom(VI) und Cadmium. Diese „abwasserfreie Technik“ ist nicht für eine gesamte Verfahrenslinie bzw. Anlage geeignet; sie kann in einzelnen Fällen erreicht werden, ist aber keine generelle BVT.

Andere BVT, die Aufbereitung und Rückgewinnung unterstützen, sind aufgeführt, um potenzielle Abfallströme für die Trennung und Behandlung ermitteln, um Materialien wie Aluminiumhydroxidsuspension extern wieder verwenden oder bestimmte Säuren und Metalle extern rückgewinnbar zu machen.

BVT beinhaltet die Vermeidung, die Trennung von Abwasserteilströmen, die Maximierung der internen Aufbereitung (durch Behandlung gemäß der Einsatzanforderungen) und die Anwendung geeigneter Behandlungen für das Abwasser. Dazu gehören Techniken wie chemische Behandlung, Ölabscheidung, Sedimentation und/oder Filtration. Vor dem Einsatz neuer Prozesschemikalien ist es BVT, diese auf mögliche Folgen für das Abwasserbehandlungssystem zu prüfen und potenzielle Probleme zu lösen.

Die folgenden Werte werden beispielhaft in STM-Anlagen erreicht, in denen jeweils mehrere BVT angewendet werden. Sie sollten mithilfe der Anmerkungen in den Kapiteln 3 und 4 und der Anleitung des Merkblatts zu den allgemeinen Überwachungs-grundsätzen interpretiert werden:

Emissionswerte in einigen Anlagen bei Anwendung einer Reihe verschiedener BVT*				
	Gestelle, Trommeln, kleine Bandbeschichtungs- und andere Verfahren außer Stahlbandbeschichtung im großen Maßstab		Beschichtung von Stahlband in großtechnischem Maßstab	
Alle Angaben in mg/l	Abgaben in die öffentliche Kanalisation oder das Oberflächenwasser	Zusätzliche Bestimmungsgrößen, nur anwendbar bei Abgaben in das Oberflächenwasser	Weißblech oder ECCS	Zn oder Zn-Ni
Ag	0,1 – 0,5			
Al		1 – 10		
Cd	0,10 – 0,2			
CN, frei	0,01 – 0,2			
CrVI	0,1 – 0,2		0,001 – 0,2	
Cr gesamt	0,1 – 2,0		0,03 – 1,0	
Cu	0,2 – 2,0			
F		10 – 20		
Fe		0,1 – 5	2 – 10	
Ni	0,2 – 2,0			
Phosphat als P		0,5 – 10		
Pb	0,05 – 0,5			
Sn	0,2 – 2,0		0,03 – 1,0	
Zn	0,2 – 2,0		0,02 – 0,2	0,2 – 2,2
CSB		100 – 500	120 – 200	
Kohlenwasserstoffe gesamt		1 – 5		
VOX		0,1 – 0,5		
Suspendierte Feststoffe		5 – 30	4 – 40 (nur Oberflächenwasser)	

\*Diese Werte beziehen sich auf die Tagesmenge von Verbundstoffen, ungefiltert vor der Analyse und ermittelt nach der Behandlung und vor einer Verdünnung, z. B. durch Kühlwasser, anderes Prozesswasser oder Niederschlagswasser

Luftemissionen können die örtliche Umweltqualität beeinträchtigen, und dann ist es BVT, diffuse Emissionen aus einigen Verfahren durch Extraktion und Behandlung zu verhindern. Diese Techniken werden mit dazugehörigen Referenzwerten für beispielhafte Anlagen beschrieben.

Es ist BVT, Lärm durch beispielhafte Praktiken zu verhindern, z. B. durch Schließen von Türen, Minimierung der Lieferintervalle und Anpassung von Lieferzeiten, oder gegebenenfalls durch spezielle Maßnahmen

### Spezielle BVT

Es ist allgemeine BVT, weniger gefährliche Stoffe zu verwenden. Es ist BVT, EDTA durch biologisch abbaubare Alternativen zu ersetzen oder alternative Techniken anzuwenden. Wenn

EDTA verwendet werden muss, ist es BVT, Verluste möglichst gering zu halten und alle Reste im Abwasser zu klären. Bei PFOS ist es BVT, den Einsatz durch die Kontrolle der Zugabe zu minimieren, Dämpfe zu minimieren, und zwar durch Kontrolle mittels Techniken wie schwimmende Oberflächenisolierung: die Gesundheit am Arbeitsplatz kann jedoch ein wichtiger Faktor sein. Bei der Anodisierung kann schrittweise darauf verzichtet werden, und es gibt alternative Verfahren für die Chrom(VI)- und die cyanidfreie alkalische Verzinkung.

Cyanid kann nicht bei allen Anwendungen ersetzt werden, aber die cyanidische Entfettung ist keine BVT. BVT-Ersatz für cyanidisches Zink ist saures oder alkalisch-cyanidfreies Zink und für cyanidisches Kupfer – mit einigen Ausnahmen – saures Kupfer – oder die Möglichkeit, Kupfer-Pyrophosphat einzusetzen.

Chrom(VI) kann bei der Hartverchromung nicht ersetzt werden. BVT für das dekorative Galvanisieren sind Chrom(III) oder alternative Verfahren wie Zinn-Kobalt. Doch können in einer Anlage besondere Gründe für die Verwendung von Chrom(VI) gegeben sein, beispielsweise Abriebfestigkeit oder Farbe. Bei einer Chrom(VI)-Galvanisierung ist es BVT, Luftemissionen durch Techniken wie das Abdecken der Lösung oder des Behälters und einen geschlossenen Kreislauf für das Chrom(VI) und bei neuen und umgebauten Linien in bestimmten Situationen durch Einhausen der Linie zu reduzieren. Es ist derzeit nicht möglich, eine BVT für die Chrom-Passivierung zu formulieren, aber es ist BVT, Chrom(VI)-Systeme bei Phosphor-Chrom-Oberflächen durch Systeme ohne Chrom(IV) zu ersetzen.

Für das Entfetten ist es BVT, mit den Kunden zusammenzuarbeiten, um die aufgebrachte Fett- bzw. Ölmenge so gering wie möglich zu halten und/oder überschüssiges Öl mittels physikalischer Techniken zu entfernen. Es ist BVT, die Lösemittelentfettung durch andere Techniken zu ersetzen, in der Regel durch solche auf Wasserbasis, es sei denn, diese Techniken können das Substrat beschädigen. Bei wässrigen Entfettungssystemen ist es BVT, die Menge an verbrauchten Chemikalien und den Energieverbrauch zu reduzieren, indem Langzeitsysteme mit Wartung oder Regenerierung der Lösung eingesetzt werden.

Es ist BVT, die Nutzungsdauer von Prozesslösungen zu verlängern sowie die Qualität zu erhalten, indem Lösungen innerhalb festgelegter Grenzwerte mittels der in Kapitel 4 beschriebenen Techniken überwacht und gewartet werden.

Für das Beizen in großtechnischem Maßstab ist es BVT, die Standzeit der Säure durch Techniken wie Elektrolyse zu verlängern. Die Säuren können außerdem extern rückgewonnen werden.

Es gibt spezielle BVT für das Anodisieren, darunter in bestimmten Einzelfällen die Rückgewinnung von Wärme aus Verdichtungsbädern. Es ist ebenfalls BVT, Ätzlauge rückzugewinnen, wenn der Verbrauch hoch ist, keine Zusatzstoffe stören, und die Oberfläche die Spezifikationen erfüllen kann. Es ist keine BVT, Spülwasserkreisläufe mit entionisiertem Wasser zu schließen, und zwar wegen der medienübergreifenden Auswirkungen des Regenerationsaufwands.

In großtechnischen Stahlbandanlagen ist es – zusätzlich zu anderen relevanten BVT – BVT,

- Echtzeitprozesssteuerungen zur Verfahrensoptimierung zu benutzen
- defekte Motoren durch energieeffiziente Motoren zu ersetzen
- Abquetschwalzen zu benutzen, um den Ein- und Austrag von Prozesslösung zu verhindern
- die Polarität der Elektroden beim elektrolytischen Entfetten und Beizen in regelmäßigen Abständen zu wechseln
- den Ölverbrauch durch die Verwendung von abgedeckten elektrostatischen Ölern gering zu halten
- den Anoden-Kathoden-Abstand bei elektrolytischen Verfahren zu optimieren

- die Leitrollenleistung durch Polieren zu verbessern
- Kantenpoliermittel zu verwenden, um Metallabscheidungen an der Bandkante zu entfernen
- Kantenabdeckungen (Blenden) zu verwenden, um überschüssige Metallabscheidungen zu vermeiden, und um eine Streuung zur Rückseite zu verhindern, wenn nur eine Seite galvanisiert wird.

Bei Leiterplatten ist es – zusätzlich zu den anderen relevanten BVT – BVT,

- Abquetschwalzen zu verwenden, um den Aus- und Eintrag von Prozesslösung zu vermeiden
- umweltverträgliche Techniken für das Bonden der Innenlagen zu verwenden
- für das Trockenresist: den Austrag zu verringern, die Konzentration und das Aufsprühen des Entwicklers zu optimieren und das entwickelte Resist aus dem Abwasser zu entfernen
- für das Ätzen: die Konzentrationen der Ätzchemikalien regelmäßig zu optimieren und beim Ammoniakätzen die Ätzlösung zu regenerieren und das Kupfer rückzugewinnen.

### **In Entwicklung befindliche Techniken**

Für die Minimierung von Umweltauswirkungen sind derzeit einige Techniken in der Entwicklung oder begrenzt im Einsatz, die als in der Entwicklung befindliche Techniken angesehen werden. Fünf von ihnen werden in Kapitel 6 erörtert: Die Integration der Oberflächenbehandlungen in die laufende Fertigung ist in drei Fällen erfolgreich demonstriert worden, kann aber aus verschiedenen Gründen doch nicht in jedem Falle umgesetzt werden. Ein Chrom(III)-Ersatzverfahren für die Hartverchromung mittels modifiziertem Impulsstrom ist weit fortgeschritten und befindet sich jetzt im Vorlaufstest bei drei typischen Anwendungen. Die Kosten für die Ausrüstung werden höher sein, was aber durch die geringeren Kosten für Energie, Chemikalien und andere Posten wieder ausgeglichen wird. An Ersatzmaterialien für Chrom(VI) bei Passivierungsbeschichtungen wird derzeit gearbeitet, um die Anforderungen beider Richtlinien zu erfüllen. Das elektrochemische Abscheiden von Aluminium und Aluminiumlegierungen aus organischen Elektrolyten ist erfolgreich demonstriert worden, bedingt aber den Einsatz explosiver und leicht entflammbarer Elektrolyte. Bei Leiterplatten können Feinstleiter-Schaltungen mit weniger Material auskommen und der Bildauftrag kann verbessert werden, und zwar bei reduziertem Chemikalieneinsatz durch Verwendung von Lasern.

### **Abschließende Bemerkungen**

Das Dokument beruht auf über 160 Informationsquellen mit maßgebenden Informationen sowohl aus der Industrie (vor allem von Betreibern, weniger von Zulieferern) und Mitgliedstaaten. Probleme mit Daten werden im Einzelnen dargelegt: in erster Linie geht es um das Fehlen einheitlicher Mengenangaben. Die Verbrauchs- und Emissionswerte werden überwiegend nicht für einzelne Techniken, sondern für Gruppen von Techniken genannt. Dadurch sind einige BVT allgemein oder es werden keine Schlussfolgerungen gezogen, obwohl konkrete Schlussfolgerungen für Industrie und Regulierer hilfreich wären.

Im Allgemeinen bestand ein hohes Maß an Übereinstimmung, die Schlussfolgerungen betreffend, und es waren keine abweichenden Meinungen zu verzeichnen.

Der Informationsaustausch und seine Ergebnisse, d. h. das vorliegende BVT-Merkblatt, stellen einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Erreichung der integrierten Vermeidung und Verminderung der von der Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen ausgehenden Umweltverschmutzung dar. Mit der künftigen Arbeit könnte dieser Prozess fortgesetzt werden. Zu diesem Zweck sollten folgende Schritte unternommen werden

- Bereitstellung aktueller Informationen zum Einsatz von PFOS und dessen Alternativen sowie Ersatztechniken für die Chrom(VI)-Passivierung
- Bereitstellung von mehr mengenbezogenen Daten zu erreichten Verbesserungen im Umweltbereich, Nebenwirkungen und Kosten, insbesondere für Heizen, Kühlen, Trocknen und Wasserverbrauch/-wiederverwendung
- weitere Informationen zu neuen Techniken, die in Kapitel 6 genannt werden
- Software zur Verfahrensoptimierung für eine Reihe unterschiedlicher Verfahren und in ausgewählten Sprachen.

Weitere wichtige Empfehlungen, die über den Anwendungsbereich des vorliegenden BVT-Merkblatts hinausreichen, sich jedoch aus dem Informationsaustausch ergeben, betreffen folgende Punkte:

- die Entwicklung strategischer Umweltziele für die Industrie insgesamt
- eine Liste von Forschungsschwerpunkten der Industrie
- die Organisation von „Klubs“ oder Kooperationsaktivitäten, insbesondere für die Durchführung eines Teils dieser weiteren Arbeit
- die Nutzung eines „Klub“-Ansatzes für die Entwicklung der Rückgewinnung bestimmter Abfälle durch Dritte (speziell Metalle und Beizsäuren), wenn keine prozessintegrierten Techniken verfügbar sind
- die Entwicklung des Konzepts der „unendlichen Wiederverwertbarkeit“ für Metalle und Metalloberflächen zur Beratung von Herstellern und Verbrauchern
- die Entwicklung und Förderung von leistungsbezogenen Normen, um die Akzeptanz neuer Techniken mit besserer Umweltverträglichkeit zu steigern.

Ferner wurden im Rahmen des Informationsaustauschs einige Bereiche ausgemacht, in denen FuE-Projekte sinnvoll wären, beispielsweise

- die Verlängerung der Standzeiten der Elektrolyte und/oder Metallrückgewinnung bei der chemischen Metallabscheidung. Diese Elektrolyte haben eine sehr begrenzte Standzeit und sind eine Hauptquelle für Metallabfälle.
- Techniken zur schnellen und preiswerten Messung der Oberfläche von Werkstücken würden der Industrie helfen, ihre Verfahren, Kosten und damit auch Verbrauch und Emissionen leichter zu kontrollieren. Die Techniken sollten eine Bezugnahme der Oberflächengröße zu anderen durchgehenden Maßen wie dem Metallverbrauch oder dem Substratdurchsatz (in Tonnen) einschließen
- Optionen für die weitere Anwendung von Techniken, die mit moduliertem Strom arbeiten und –Ausrüstungen hierfür. Diese Technik kann einige der Probleme der herkömmlichen Gleichspannungsgalvanisierung lösen.
- Verbesserung der Materialeffizienz bei einigen ermittelten Verfahren.

Die Europäische Kommission initiiert und fördert im Rahmen ihrer FuE-Programme zahlreiche Projekte, saubere Technologien, neue Abwasserbehandlungs- und -aufbereitungsverfahren sowie Managementstrategien betreffend. Diese Projekte können möglicherweise einen nützlichen Beitrag zu künftigen Überarbeitungen dieses Dokuments leisten. Die Leser werden daher gebeten, das Europäische Büro für die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (EIPPCB) über etwaige Forschungsergebnisse zu unterrichten, die für dieses Merkblatt von Bedeutung sind (siehe auch Vorwort).