



**EUROPÄISCHE KOMMISSION**  
GENERALDIREKTION GFS  
GEMEINSAME FORSCHUNGSSTELLE  
Institut für Technologische Zukunftsforschung (Sevilla)  
**Europäisches Büro für IVU**

**Integrierte Vermeidung und Verminderung der  
Umweltverschmutzung (IVU)**

**Zusammenfassung  
Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken  
für Großfeuerungsanlagen**

**Mai 2005**



## ZUSAMMENFASSUNG

Diese Zusammenfassung enthält die wesentlichen Feststellungen, die wichtigsten BVT-Schlussfolgerungen und die mit der Anwendung von BVT verbundenen Emissionswerte. Sie kann als Einzeldokument gelesen werden, dem Charakter einer Zusammenfassung entsprechend sind jedoch nicht alle Aspekte des gesamten BVT-Merkblattes enthalten (z. B. sämtliche Einzelheiten der BVT-Kapitel). Im Prozess der BVT-Entscheidungsfindung ist diese Zusammenfassung daher nicht als Ersatz für den vollen Wortlaut des BVT-Merkblattes anzusehen und sollte unbedingt in Verbindung mit dem Vorwort und der Standardeinleitung zu den BVT-Kapiteln gelesen werden. An diesem Informationsaustausch haben über 60 Experten aus Mitgliedstaaten, der Industrie und den Umweltverbänden mitgewirkt.

### Umfang

Das vorliegende BVT-Merkblatt gilt für Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung (in Österreich wird der Begriff „Brennstoffwärmeleistung“ verwendet) von über 50 MW und somit für die Elektrizitätswirtschaft und solche Industriezweige, in denen „konventionelle“ (handelsübliche und spezifikationsgerechte) Brennstoffe verwendet werden und die Feuerungsanlagen nicht unter ein anderes branchenspezifisches BVT-Merkblatt fallen. Als konventionelle Brennstoffe gelten Steinkohle, Braunkohle, Biomasse, Torf, flüssige und gasförmige Brennstoffe (einschließlich Wasserstoff und Biogas). Die Abfallverbrennung ist nicht Gegenstand dieses Merkblattes, jedoch wird auf die Mitverbrennung von Abfällen und Ersatzbrennstoffen in Großfeuerungsanlagen eingegangen. Das BVT-Merkblatt betrifft nicht nur die eigentliche Feuerungsanlage, sondern auch vor- und nachgelagerte Verfahren, die einen unmittelbaren Bezug zum Verbrennungsprozess haben. Feuerungsanlagen, in denen Prozessrückstände oder Nebenprodukte als Brennstoff verwendet werden, oder Brennstoffe, die auf dem Markt nicht als spezifikationsgerechte Brennstoffe verkäuflich sind, sowie Feuerungsprozesse, die integrierter Bestandteil eines spezifischen Produktionsprozesses sind, werden in diesem BVT-Merkblatt nicht behandelt.

### Zugrunde liegende Informationen

Für den Entwurf des Merkblattes wurden zahlreiche Dokumente, Berichte und Informationen von Mitgliedstaaten, aus der Industrie, von Betreibern und Behörden sowie von Ausrüstungslieferanten und im Umweltschutzbereich tätigen NRO herangezogen. Weitere Informationen wurden bei Standortbesichtigungen in verschiedenen europäischen Mitgliedstaaten und in persönlichen Gesprächen zu Fragen der Technologiewahl und zu den Erfahrungen bei der Anwendung von Minderungstechniken gewonnen.

### Gliederung des Dokuments

In Europa ist der Sektor der Elektrizitäts- und/oder Wärmeerzeugung ein heterogener Wirtschaftszweig. Grundlage der Energieerzeugung ist eine Vielzahl von Brennstoffen, die sich allgemein nach ihrem Aggregatzustand in feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe einteilen lassen. Deshalb wurde dieses Dokument vertikal gegliedert, so dass die einzelnen Brennstoffe nacheinander aufgeführt sind, wobei jedoch in den drei einleitenden Kapiteln gemeinsame Aspekte und Techniken zusammen beschrieben werden.

### Die europäische Energiewirtschaft

In der Europäischen Union werden für die Elektro- und Wärmeenergieerzeugung alle verfügbaren Arten von Energiequellen eingesetzt. In den einzelnen EU-Mitgliedstaaten richtet sich die Wahl des für die Energieerzeugung verwendeten Brennstoffs zum größten Teil nach den nationalen Brennstoffressourcen, so z. B. nach der örtlichen oder nationalen Verfügbarkeit von Steinkohle, Braunkohle, Biomasse, Torf, Erdöl und Erdgas. Seit 1990 ist der Anteil des aus fossilen Brennstoffenergiequellen erzeugten elektrischen Stromes um ca. 16 % gestiegen, während der Bedarf um ca. 14 % zunahm. Der Anteil des aus erneuerbaren Energiequellen (einschließlich Wasserkraft und Biomasse) erzeugten elektrischen Stromes weist einen überdurchschnittlichen Anstieg von annähernd 20 % auf.

Feuerungsanlagen werden je nach Energiebedarf und Erfordernis entweder als Großversorgungsanlagen oder als industrielle Feuerungsanlagen betrieben, die für industrielle Produktionsprozesse Antriebsleistung (z. B. in Form von elektrischem Strom, mechanischer Energie), Dampf oder Wärme bereitstellen.

### Angewendete Technologien

Bei der Energieerzeugung kommt insgesamt eine Vielzahl von Feuerungstechnologien zur Anwendung. Für die Verbrennung fester Brennstoffe gelten Staubfeuerung, Wirbelschichtfeuerung sowie Rostfeuerung sämtlich als BVT unter den in diesem Dokument beschriebenen Bedingungen. Dem BVT-Stand für flüssige und gasförmige Brennstoffe entsprechen Kessel, Motoren und Gasturbinen unter den in diesem Dokument beschriebenen Bedingungen.

Die Wahl des in einer Anlage einzusetzenden Systems erfolgt auf der Grundlage wirtschaftlicher, technischer, ökologischer und lokaler Anforderungen, wie beispielsweise Brennstoffverfügbarkeit, betriebliche Erfordernissen, Marktbedingungen, Netzanforderungen. Elektrischer Strom wird hauptsächlich durch die Erzeugung von Dampf in einem Kessel gewonnen, der mit dem gewählten Brennstoff befeuert wird. Dieser Dampf dient zur Beaufschlagung einer Turbine, die einen Generator zur Elektroenergieerzeugung antreibt. Der dem Dampfkreislauf innewohnende Wirkungsgrad ist durch die Notwendigkeit begrenzt, den Dampf nach Austritt aus der Turbine zu verflüssigen.

Manche flüssigen und gasförmigen Brennstoffe können direkt verfeuert werden, um Turbinen mit dem Verbrennungsgas anzutreiben, oder sie können in Verbrennungsmotoren zum Einsatz kommen, die dann als Generatorantrieb dienen. Jede Technologie bietet dem Betreiber bestimmte Vorteile, insbesondere hinsichtlich der Eignung für den Betrieb entsprechend einem variablen Energiebedarf.

### Ökologische Fragen

Die meisten Feuerungsanlagen verwenden Brennstoffe und andere Rohstoffe, die den natürlichen Ressourcen der Erde entnommen werden, um sie in Nutzenergie umzuwandeln. Fossile Brennstoffe sind die am reichlichsten vorhandene Energiequelle, die gegenwärtig genutzt wird. Ihre Verbrennung führt jedoch zu einer bedeutenden und mitunter signifikanten Belastung der Umwelt in ihrer Gesamtheit. Der Verbrennungsprozess führt zur Entstehung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, wobei die Emissionen in die Luft als eine der größten ökologischen Belastungen angesehen werden.

Die wichtigsten bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehenden Emissionen in die Luft sind SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Feinstaub (PM<sub>10</sub>) und Treibhausgase wie N<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub>. Weitere Stoffe wie Schwermetalle, Halogenverbindungen und Dioxine werden in kleineren Mengen ausgestoßen.

### Bedingungen

Die BVT-Emissionswerte basieren auf Tagesdurchschnittswerten, Standardbedingungen und einem O<sub>2</sub>-Gehalt von 6 % / 3 % / 15 % (feste Brennstoffe / flüssige und gasförmige Brennstoffe / Gasturbinen) und beziehen sich auf eine typische Lastsituation. Bei Spitzenlasten, Anfahr- und Abschaltvorgängen sowie bei Betriebsstörungen der Abgasreinigungssysteme muss mit kurzzeitigen Spitzenwerten gerechnet werden, die höher sein können.

### Entladen, Lagerung und Transport von Brennstoffen und Additiven

In Tabelle 1 sind einige BVT zur Vermeidung von Freisetzungen beim Entladen, bei der Lagerung und beim Transport von Brennstoffen sowie für Additive wie Kalk, Kalkstein, Ammoniak usw. zusammengefasst.

|  | <b>BVT</b>   |
|--|--|
| <b>Feinstaub</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von Be- und Entladeeinrichtungen mit möglichst geringer Haldenfallhöhe des Brennstoffs zur Minderung der Entstehung von diffusen Emissionen (feste Brennstoffe).</li> <li>• In Ländern ohne Frostgefahr Einsatz von Wassersprühsystemen zur Minderung der Entstehung von diffusen Emissionen bei der Lagerung von festen Brennstoffen (feste Brennstoffe).</li> <li>• Anordnung von Übergabeförderern in sicheren, oberirdischen Bereichen im Freien, sodass eine Beschädigung durch Fahrzeuge und andere Geräte vermieden werden kann (feste Brennstoffe).</li> <li>• An Fördererübergabestellen Verwendung von eingehausten Förderern mit gut ausgelegten, robusten Abzugs- und Filtereinrichtungen zur Vermeidung von Staubemission (feste Brennstoffe).</li> <li>• Optimierung der Transportsysteme zur Minimierung von Staubbildung und -transport vor Ort (feste Brennstoffe).</li> <li>• Anwendung der Grundsätze der guten Entwurfs- und Baupraxis und zweckmäßige Instandhaltung (alle Brennstoffe).</li> <li>• Lagerung von Kalk oder Kalkstein in Silos mit gut ausgelegten, robusten Abzugs- und Filtereinrichtungen (alle Brennstoffe).</li> </ul>                  |
| <b>Wasser-<br/>verunreinigung</b>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagerung auf abgedichteten Flächen mit Drainage, Abflusssammlung und Wasserbehandlung in Absetzbecken (feste Brennstoffe).</li> <li>• Einsatz von Lagersystemen für flüssige Brennstoffe mit undurchlässigen Schutzwandungen, die in der Lage sind, 75 % des maximalen Fassungsvermögens aller Tanks oder zumindest den maximalen Inhalt des größten Tanks aufzunehmen. Der Tankinhalt sollte angezeigt werden und entsprechende Alarmeinrichtungen zur Anwendung kommen; zur Vermeidung des Überfüllens von Lagertanks können automatische Steuerungssysteme verwendet werden (feste Brennstoffe).</li> <li>• Rohrleitungsverlegung in sicheren, oberirdischen Bereichen im Freien, sodass Undichtigkeiten schnell festgestellt und Beschädigungen durch Fahrzeuge und andere Geräte vermieden werden können. Für unzugängliche Leitungen können doppelwandige Rohre mit automatischer Zwischenraumkontrolle verwendet werden (flüssige und gasförmige Brennstoffe).</li> <li>• Auffangen des Ablaufwassers (Regenwasser) aus Brennstofflagern und Behandlung dieses Sammelstroms (Absetzbecken oder Abwasserbehandlungsanlage) vor der Abwassereinleitung (feste Brennstoffe).</li> </ul> |
| <b>Brandschutz</b>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung der Lagerbereiche für feste Brennstoffe mit automatischen Systemen zur Aufspürung von Selbstentzündungsbränden und zur Feststellung von Gefahrenstellen (feste Brennstoffe).</li> </ul>   |
| <b>Diffuse Emissionen</b>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz von Brenngasleckmeldesystemen und Alarmeinrichtungen (flüssige und gasförmige Brennstoffe).</li> </ul>  |
| <b>Effizienter Einsatz von natürlichen Ressourcen</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz von Expansionsturbinen zur Rückgewinnung des Energieinhalts der unter Druck stehenden Brenngase (durch Druckleitungen zugeführtes Erdgas) (flüssige und gasförmige Brennstoffe).</li> <li>• Vorwärmen des Brenngases durch Nutzung von Abwärme aus Kessel oder Gasturbine (flüssige und gasförmige Brennstoffe).</li> </ul>   |
| <b>Gesundheits- und Sicherheitsrisiko durch Ammoniak</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Für Transport und Lagerung von reinem Flüssigammoniak: Druckbehälter für reines Flüssigammoniak &gt; 100 m<sup>3</sup> sollten doppelwandig ausgeführt und unterirdisch angeordnet werden; Behälter mit einem Fassungsvermögen von max. 100 m<sup>3</sup> sollten mit Glühbehandlung hergestellt werden (alle Brennstoffe).</li> <li>• Unter dem Sicherheitsaspekt ist die Verwendung einer Ammoniakwasserlösung ungefährlicher als die Lagerung und die Handhabung von reinem Flüssigammoniak (alle Brennstoffe).</li> </ul>   |

Tabelle 1: Einige BVT für die Lagerung und Handhabung von Brennstoffen und Additiven

**Brennstoffvorbehandlung**

Bei festen Brennstoffen besteht die Brennstoffvorbehandlung zur Gewährleistung stabiler Verbrennungsbedingungen und zur Minderung von Emissionsspitzen hauptsächlich im Vermengen und Vermischen. Für die Verringerung des Wassergehalts von Torf und Biomasse wird die Trocknung als Teil von BVT betrachtet. Bei flüssigen Brennstoffen gilt als BVT-Standard der Einsatz von Vorbehandlungseinrichtungen, wie z. B. in Gasturbinen und Motoren verwendete Einrichtungen zur Dieselölsreinigung. Der Schwerölaufbereitung dienen Einrichtungen wie elektrische oder dampfbetriebene Heizspiralen, Demulgatordosiersysteme usw.

**Thermischer Wirkungsgrad**

Ein umsichtige Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und die effiziente Energienutzung sind zwei der Hauptforderungen der IVU-Richtlinie. In diesem Sinne ist der Wirkungsgrad, mit dem Energie umgewandelt werden kann, ein wichtiger Indikator für den Ausstoß des klimarelevanten Gases CO<sub>2</sub>. Eine Möglichkeit zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emission je erzeugter Energieeinheit ist die Optimierung der Energienutzung und des Umwandlungsprozesses. Eine Steigerung des thermischen Wirkungsgrades hat Auswirkungen auf die Lastbedingungen, das Kühlsystem, die Emissionen, die Verwendung bestimmter Brennstoffarten usw.

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gilt als die effektivste Methode zur Minderung des Gesamt-CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und ist für jeden Kraftwerksneubau relevant, wann immer der lokale Wärmebedarf hoch genug ist, um den Bau der teureren Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage anstelle eines einfacheren Heizwerkes oder eines nur stromerzeugenden Kraftwerkes zu rechtfertigen. Die BVT-Schlussfolgerungen zur Steigerung des Wirkungsgrades und die entsprechenden BVT-Werte sind in den Tabellen 3 bis 5 zusammengestellt. Dabei ist zu beachten, dass für schwerölgefeuerten Anlagen ähnliche Wirkungsgrade gelten wie für kohlegefeuerten Anlagen.

| Brennstoff            | Kombiverfahren             | Thermischer Anlagenwirkungsgrad (netto) (%) |   |
|-----------------------|----------------------------|---|---|
|                       |                            | Neue Anlagen                                | Bestehende Anlagen  |
| Stein- und Braunkohle | Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) | 75 - 90                                     | 75 - 90   |
| Steinkohle            | SF (FTA und FFA)           | 43 - 47                                     | Die erreichbare Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades ist von der jeweiligen Anlage abhängig, aber zur Orientierung kann bei bestehenden Anlagen 36* - 40 % oder eine stufenweise Verbesserung um mehr als 3%-Punkte als BVT-Standard angesehen werden. |
|                       | WSF                        | > 41  |   |
|                       | DWSF                       | > 42  |   |
| Braunkohle            | SF (FTA)                   | 42 - 45                                     |   |
|                       | WSF                        | > 40  |   |
|                       | DWSF                       | > 42  |   |

SF: Staubfeuerung      FTA: Feuerung mit trockenem Ascheabzug      FFA: Feuerung mit flüssigem Ascheabzug  
 WSF: Wirbelschichtfeuerung      DWSF: Druckwirbelschichtfeuerung  
 \* Zu diesem Wert gab es abweichende Auffassungen, die im Hauptdokument in Kapitel 4.5.5 angesprochen werden.

**Tabelle 2: Thermische Wirkungsgrade bei Anwendung von BVT-Maßnahmen für Steinkohle- und Braunkohlefeuerungsanlagen**

| Brennstoff | Kombiverfahren      | Thermischer Anlagenwirkungsgrad (netto) (%) |  |
|------------|---------------------|---|--|
|            |                     | Elektr. Wirkungsgrad                        | Brennstoffausnutzung (KWK)   |
| Biomasse   | Rostfeuerung        | etwa 20                                     | 75 - 90  |
|            | Spreader-Stoker     | > 23  | Abhängig von der jeweiligen Anlagenanwendung und vom Wärme- und Elektroenergiebedarf |
|            | WSF (ZWSF)          | > 28 - 30                                   |  |
| Torf       | WSF (SWSF und ZWSF) | > 28 - 30                                   |  |

WSF: Wirbelschichtfeuerung      ZWSF: Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung  
 SWSF: Stationäre Wirbelschichtfeuerung      KWK: Kraft-Wärme-Kopplung

**Tabelle 3: Thermische Wirkungsgrade bei Anwendung von BVT-Maßnahmen für Torf- und Biomassefeuerungsanlagen**

Für den Einsatz von flüssigen Brennstoffen in Kesseln und Motoren wurden keine spezifischen thermischen Wirkungsgrade ermittelt. Einige in Frage kommende Techniken sind jedoch in den betreffenden BVT-Kapiteln nachlesbar.

| Anlagentyp  | Elektr. Wirkungsgrad (%) |                    | Brennstoffausnutzung (%)    |
|---|--------------------------|--------------------|-----------------------------|
|   | Neue Anlagen             | Bestehende Anlagen | Neue und bestehende Anlagen |
| <b>Gasturbine</b>   |                          |                    |                             |
| Gasturbine  | 36 - 40                  | 32 - 35            | -                           |
| <b>Gasmotor</b>   |                          |                    |                             |
| Gasmotor  | 38 - 45                  |                    | -                           |
| Gasmotor mit AHDE in KWK-Betrieb  | > 38                     | > 35               | 75 - 85                     |
| <b>Gasgefeuerter Kessel</b>   |                          |                    |                             |
| Gasgefeuerter Kessel  | 40 - 42                  | 38 - 40            |                             |
| <b>GuD-Anlage</b>   |                          |                    |                             |
| Gas- und Dampfturbinenprozess mit oder ohne Zusatzfeuerung (AHDE), nur für die Gewinnung von elektrischem Strom | 54 - 58                  | 50 - 54            | -                           |
| Gas- und Dampfturbinenprozess ohne Zusatzfeuerung (AHDE) in KWK-Betrieb   | < 38                     | < 35               | 75 - 85                     |
| Gas- und Dampfturbinenprozess mit Zusatzfeuerung in KWK-Betrieb   | < 40                     | < 35               | 75 - 85                     |
| <b>AHDE: Abhitzedampferzeuger      KWK: Kraft-Wärme-Kopplung</b>  |                          |                    |                             |

**Tabelle 4: Wirkungsgrade von gasgefeuerten Anlagen bei Anwendung von BVT**

**Emissionen von Feinstaub (Staub)**

Der bei der Verbrennung von festen oder flüssigen Brennstoffen ausgestoßene Feinstaub (Staub) stammt fast ausschließlich aus den mineralischen Bestandteilen. Bei der Verbrennung von flüssigen Brennstoffen führen schlechte Verbrennungsbedingungen zur Rußbildung. Die Erdgasverbrennung ist keine signifikante Staubemissionsquelle. In diesem Fall liegen die Staubemissionswerte normalerweise weit unter 5 mg/Nm<sup>3</sup>, ohne dass zusätzliche technische Maßnahmen zur Anwendung kommen.

Für die Entstaubung von Abgasen aus neuen und bestehenden Feuerungsanlagen gilt als BVT-Stand der Einsatz eines elektrostatischen Abscheiders (ESA) oder eines Gewebefilters (GF), wobei mit einem Gewebefilter normalerweise Emissionswerte von unter 5 mg/Nm<sup>3</sup> erzielt werden. Zyklonabscheider und mechanische Entstauber allein sind nicht BVT, können aber als Vorreinigungsstufe im Abgasweg verwendet werden.

Die BVT-Schlussfolgerung für die Entstaubung und die damit verbundenen Emissionswerte sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Bei Feuerungsanlagen von über 100 MW<sub>th</sub> und insbesondere über 300 MW<sub>th</sub> sind die Staubwerte niedriger, weil auch die Rauchgasentschwefelungsverfahren, die bereits Teil der BVT-Schlussfolgerungen für Entschwefelung sind, eine Feinstaubminderung bewirken.



| Feuerungswärmeleistung (MW <sub>th</sub> ) | Staubemissionswerte (mg/Nm <sup>3</sup> ) |                 |                   |                 |                            |                 | BVT zur Erzielung dieser Werte   |
|--|---|-----------------|-------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|--|
|  | Stein- und Braunkohle                     |                 | Biomasse und Torf |                 | Flüssige Kesselbrennstoffe |                 |  |
|  | Neue Anlagen                              | Besteh. Anlagen | Neue Anlagen      | Besteh. Anlagen | Neue Anlagen               | Besteh. Anlagen |  |
| 50 - 100                                   | 5 - 20*                                   | 5 - 30*         | 5 - 20            | 5 - 30          | 5 - 20*                    | 5 - 30*         | ESA oder GF  |
| 100 - 300                                  | 5 - 20*                                   | 5 - 25*         | 5 - 20            | 5 - 20          | 5 - 20*                    | 5 - 25*         | ESA oder GF in Kombination mit REA (nass, ht oder TaE) für SF, ESA oder GF für WSF |
| > 300                                      | 5 - 10*                                   | 5 - 20*         | 5 - 20            | 5 - 20          | 5 - 10*                    | 5 - 20*         |  |

Anmerkungen:  
**ESA:** Elektrostatischer Abscheider      **GF:** Gewebefilter      **REA (nass):** Nasse Rauchgasentschwefelung  
**WSF:** Wirbelschichtfeuerung      **ht:** halbtrocken      **TaE:** Trockenadsorbens-Eindüsung  
 \* Zu diesen Werten gab es abweichende Auffassungen, die im Hauptdokument in den Kapiteln 4.5.6 und 6.5.3.2 angesprochen werden.

Tabelle 5: BVT für die Minderung der Feinstaubemission einiger Feuerungsanlagen

### Schwermetalle

Die Emission von Schwermetallen resultiert aus ihrem Vorkommen als natürlicher Bestandteil in fossilen Brennstoffen. Die meisten der in Betracht kommenden Schwermetalle (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Zn) werden normalerweise in Form von Verbindungen (z. B. Oxide, Chloride) zusammen mit Staub freigesetzt. Daher beinhalten BVT zur Minderung der Schwermetallemission in der Regel die Anwendung von Hochleistungsentstaubungsanlagen wie sie elektrostatische Abscheider oder Gewebefilter darstellen.

Lediglich Hg und Se treten zumindest teilweise in der Dampfphase auf. Quecksilber weist bei den typischen Betriebstemperaturen von Abscheidungseinrichtungen einen hohen Dampfdruck auf, und seine Abscheidung durch Feinstaubminderungseinrichtungen schwankt sehr stark. Bei elektrostatischen Abscheidern oder Gewebefiltern, die in Kombination mit Abgasentschwefelungsverfahren betrieben werden, wie z. B. der Kalksteinwäsche, dem Sprühabsorptionsverfahren oder der Trockenadsorbens-Eindüsung, beträgt der durchschnittliche Hg-Abscheidegrad 75 % (50 % bei elektrostatischen Abscheidern und 50 % bei Abgasentschwefelungsanlagen), und bei zusätzlichem Vorhandensein einer selektiven katalytischen Reduktion (SCR) in high-dust-Schaltung (Anordnung zwischen Kessel und Staubabscheider) lassen sich 90 % erzielen.

### SO<sub>2</sub>-Emission

Emissionen von Schwefeloxiden resultieren hauptsächlich von dem im Brennstoff vorkommenden Schwefel. Erdgas gilt im Allgemeinen als schwefelfrei. Bei bestimmten technischen Gasen ist dies nicht der Fall, und in solchen Fällen könnte eine Entschwefelung des gasförmigen Brennstoffs notwendig sein.

Bei Feuerungsanlagen, die mit festen und flüssigen Brennstoffen gefeuert werden, gelten in der Regel der Einsatz von schwefelarmen Brennstoffen und/oder die Entschwefelung als BVT. Bei Anlagen von über 100 MW<sub>th</sub> kann der Einsatz von schwefelarmem Brennstoff jedoch in den meisten Fällen nur als ergänzende Maßnahme in Kombination mit anderen Maßnahmen zur Minderung der SO<sub>2</sub>-Emission betrachtet werden.

Neben dem Einsatz von schwefelarmen Brennstoffen zählen zu den als BVT geltenden Techniken hauptsächlich die Entschwefelung mittels Nasswäscher (Minderungsgrad 92 - 98 %) und Sprühabsorptionsverfahren (Minderungsgrad 85 - 92 %), die bereits einen Marktanteil von mehr als 90 % hat. Trockene Abgasentschwefelungsverfahren wie die Trockenadsorbens-



Eindüsung werden hauptsächlich für Anlagen mit einer thermischen Leistung von weniger als 300 MW<sub>th</sub> eingesetzt. Der Nasswäscher hat den Vorteil, dass er auch Emissionen von HCl, HF, Staub und Schwermetallen mindert. Bei Anlagen mit einer Leistung von weniger als 100 MW<sub>th</sub> gilt das Nasswaschverfahren wegen der hohen Kosten nicht als BVT.

| Feuerungswärmeleistung (MW <sub>th</sub> )   | SO <sub>2</sub> -Emissionswerte (mg/Nm <sup>3</sup> ) |  |                                 |                                 |                            |                 | BVT zur Erzielung dieser Werte  |
|--|---|--|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------|---|
|  | Stein- und Braunkohle                                 |  | Torf                            |                                 | Flüssige Kesselbrennstoffe |                 |   |
|  | Neue Anlagen  | Besteh. Anlagen                            | Neue Anlagen                    | Besteh. Anlagen                 | Neue Anlagen               | Besteh. Anlagen |   |
| 50 - 100   | 200 - 400*<br>150 - 400*<br>(WSF)                     | 200 - 400*<br>150 - 400*<br>(WSF)          | 200 - 300                       | 200 - 300                       | 100 - 350*                 | 100 - 350*      | Schwefelarmer Brennstoff oder/und REA (taE) oder REA (ht) oder REA (nass) (je nach Anlagengröße). Meerwasserwäscher. Kombiverfahren zur NO <sub>x</sub> - und SO <sub>2</sub> -Minderung. Kalksteineindüsung (WSF). |
| 100 - 300  | 100 - 200   | 100 - 250*                                 | 200 - 300<br>150 - 250<br>(WSF) | 200 - 300<br>150 - 300<br>(WSF) | 100 - 200*                 | 100 - 250*      |   |
| > 300  | 20 - 150*<br>100 - 200<br>(ZWSF/<br>DWSF)             | 20 - 200*<br>100 - 200*<br>(ZWSF/<br>DWSF) | 50 - 150<br>50 - 200<br>(WSF)   | 50 - 200                        | 50 - 150*                  | 50 - 200*       |   |
| Anmerkungen:<br><b>WSF:</b> Wirbelschichtfeuerung<br><b>DWSF:</b> Druckwirbelschichtfeuerung<br><b>REA (ht):</b> halbtrockene Rauchgasentschwefelung mittels Sprühabsorption<br><b>REA (tae):</b> Rauchgasentschwefelung mittels Trockenadsorbens-Eindüsung<br>* Zu diesen Werten gab es abweichende Auffassungen, die im Hauptdokument in den Kapiteln 4.5.8 und 6.5.3.3 angesprochen werden. |   |  |                                 |                                 |                            |                 |   |

Tabelle 6: BVT für die Minderung von SO<sub>2</sub>-Emissionen aus einigen Feuerungsanlagen

### NO<sub>x</sub>-Emission

Die wichtigsten bei der Verbrennung ausgestoßenen Stickstoffoxide sind Stickmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) mit der Sammelbezeichnung NO<sub>x</sub>.

Für Steinkohlenstaubfeuerungsanlagen gilt als BVT die Minderung der NO<sub>x</sub>-Emission durch Primär- und Sekundärmaßnahmen wie beispielsweise die selektive katalytische Reduktion (SCR), wobei die Minderungsrate des SCR-Systems zwischen 80 % und 95 % liegt. Die Anwendung von SCR oder SNCR hat den Nachteil einer möglichen Emission von nicht umgesetztem Ammoniak („Ammoniakschlupf“). Für kleine, mit festen Brennstoffen gefeuerte Anlagen ohne große Lastschwankungen und mit stabiler Brennstoffqualität gilt auch das SNCR-Verfahren als BVT zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Für Braunkohlenstaub- und Torffeuerungsanlagen gilt als BVT die Kombination von verschiedenen Primärmaßnahmen. Das bedeutet zum Beispiel den Einsatz hochentwickelter NO<sub>x</sub>-armer Brenner in Kombination mit anderen Primärmaßnahmen wie Abgasrückführung, gestufte Verbrennung (Luftstufung), Brennstoffstufung usw. Die Anwendung von Primärmaßnahmen neigt zur Begünstigung einer unvollständigen Verbrennung, was eine höhere Konzentration von unverbranntem Kohlenstoff in der Flugasche und einen gewissen Grad an Kohlenmonoxidemissionen bewirkt.

Bei Kesseln mit Wirbelschichtfeuerung, in denen feste Brennstoffe verbrannt werden, gilt als BVT die Minderung der NO<sub>x</sub>-Emission durch Luftverteilung oder durch Abgasrückführung. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus stationärer und zirkulierender Wirbelschichtfeuerung unterscheiden sich leicht.



Für die meisten Gasturbinen und Gasmotoren gilt auch die selektive katalytische Reduktion (SCR) als BVT. Die Nachrüstung eines SCR-Systems auf GuD ist technisch realisierbar, aber für bestehende Anlagen wirtschaftlich nicht gerechtfertigt, weil der erforderliche Platz im Abhitzedampferzeuger bei der Projektierung nicht eingeplant wurde und daher nicht zur Verfügung steht.

| Anlagentyp  | Emissionswert bei BVT-Anwendung (mg/Nm <sup>3</sup> ) |           | O <sub>2</sub> -Gehalt (%) | Mögliche BVT zur Erzielung dieser Werte  |
|---|---|-----------|----------------------------|--|
|   | NO <sub>x</sub>                                       | CO        |                            |  |
| <b>Gasturbinen</b>  |   |           |                            |  |
| Neue Gasturbinen  | 20 - 50   | 5 - 100   | 15                         | Trockene NO <sub>x</sub> -arme Vormischbrenner oder SCR  |
| DLN für bestehende Gasturbinen  | 20 - 75   | 5 - 100   | 15                         | Trockene NO <sub>x</sub> -arme Vormischbrenner als Nachrüstpaket, soweit verfügbar   |
| Bestehende Gasturbinen  | 50 - 90*  | 30 - 100  | 15                         | Wasser- und Dampfeindüsung oder SCR  |
| <b>Gasmotoren</b>   |   |           |                            |  |
| Neue Gasmotoren   | 20 - 75*  | 30 - 100* | 15                         | Magermotorkonzept oder SCR und Oxidationskatalysator für CO  |
| Neuer Gasmotor mit AHDE in KWK-Betrieb  | 20 - 75*  | 30 - 100* | 15                         | Magermotorkonzept oder SCR und Oxidationskatalysator für CO  |
| Bestehende Gasmotoren   | 20 - 100*   | 30 - 100  | 15                         | NO <sub>x</sub> -arme Optimierung  |
| <b>Gasgefeuerte Kessel</b>  |   |           |                            |  |
| Neue gasgefeuerte Kessel  | 50 - 100*   | 30 - 100  | 3                          | NO <sub>x</sub> -arme Brenner oder SCR oder SNCR   |
| Bestehende gasgefeuerte Kessel  | 50 - 100*   | 30 - 100  | 3                          |  |
| <b>GuD-Anlagen</b>  |   |           |                            |  |
| Neue GuD-Anlagen ohne Zusatzfeuerung (AHDE)   | 20 - 50   | 5 - 100   | 15                         | Trockene NO <sub>x</sub> -arme Vormischbrenner oder SCR  |
| Bestehende GuD-Anlagen ohne Zusatzfeuerung (AHDE)   | 20 - 90*  | 5 - 100   | 15                         | Trockene NO <sub>x</sub> -arme Vormischbrenner oder Wasser- und Dampfeindüsung oder SCR  |
| Neue GuD-Anlagen mit Zusatzfeuerung   | 20 - 50   | 30 - 100  | anlagen-spezif.            | Trockene NO <sub>x</sub> -arme Vormischbrenner und NO <sub>x</sub> -arme Brenner für den Kesselteil oder SCR oder SNCR                                 |
| Bestehende GuD-Anlagen mit Zusatzfeuerung   | 20 - 90*  | 30 - 100  | anlagen-spezif.            | Trockene NO <sub>x</sub> -arme Vormischbrenner oder Wasser- und Dampfeindüsung und NO <sub>x</sub> -arme Brenner für den Kesselteil oder SCR oder SNCR |
| <b>SCR:</b> Selektive katalytische NO <sub>x</sub> -Reduktion <b>SNCR:</b> Selektive nicht-katalytische NO <sub>x</sub> -Reduktion<br><b>DLN:</b> Trockene NO <sub>x</sub> -arme Vormischbrenner <b>AHDE:</b> Abhitzedampferzeuger<br><b>KWK:</b> Kraft-Wärme-Kopplung<br><b>GuD:</b> Gas- und Dampfturbinenprozess<br>* Zu diesen Werten gab es abweichende Auffassungen, die im Hauptdokument im Kapitel 7.5.4 angesprochen werden. |   |           |                            |  |

**Tabelle 9: BVT für die Minderung von NO<sub>x</sub>- und CO-Emissionen aus gasgefeuerten Anlagen**

### CO-Emission

Kohlenmonoxid (CO) entsteht immer als Zwischenprodukt des Verbrennungsprozesses. Als BVT zur Minimierung der CO-Emission gilt die vollständige Verbrennung, welche durch gute Feuerungskonstruktion, durch den Einsatz von hochwertiger Überwachungs- und Prozessleittechnik sowie durch die Instandhaltung des Feuerungssystems erreicht wird. In den BVT-Kapiteln sind einige Emissionswerte bei BVT-Anwendung für verschiedene Brennstoffe angegeben, in dieser Zusammenfassung finden sich jedoch nur die Werte für gasgefeuerte Anlagen.

### **Wasserverunreinigung**

Neben der Verursachung von Luftverschmutzungen sind Großfeuerungsanlagen auch eine bedeutende Quelle von Kühl- und Abwassereinleitungen in Flüsse, Seen und Meere.

Alles von der Oberfläche der Lagerflächen abfließende und Brennstoffteilchen ausspülende Wasser (Regenwasser) sollte vor der Abwassereinleitung gesammelt und (in Absetzbecken) behandelt werden. Es lässt sich nicht vermeiden, dass in einem Kraftwerk gelegentlich mit Öl kontaminiertes Wasser (Spülwasser) in geringen Mengen anfällt. Als BVT zur Vermeidung jeglicher Umweltschäden gelten Ölabscheiderschächte.

Die BVT-Schlussfolgerung für Nasswäscherentschwefelung ist an den Einsatz einer Abwasserbehandlungsanlage geknüpft. Die Abwasserbehandlungsanlage besteht aus verschiedenen chemischen Behandlungen zur Schwermetallbeseitigung und zur Verringerung der in das Wasser eingetragenen Feststoffmenge. Die Behandlungsanlage umfasst eine pH-Wert-Einstellung, die Ausfällung von Schwermetallen und die Feststoffbeseitigung. Im vollständigen Dokument sind einige Emissionswerte enthalten.

### **Abfälle und Rückstände**

In der Branche ist bereits viel Aufmerksamkeit darauf gerichtet worden, wie Verbrennungsrückstände und -nebenprodukte genutzt werden können, anstatt sie lediglich auf der Deponie abzulagern. Nutzung und Wiederverwendung ist daher die beste verfügbare Variante und hat Priorität. Es gibt viele unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten für die verschiedenen Nebenprodukte wie Aschen. Für jede Nutzungsmöglichkeit bestehen unterschiedliche spezifische Kriterien. Es war nicht möglich, alle diese Kriterien in diesem BVT-Merkblatt abzuhandeln. Die Qualitätskriterien sind zumeist an die Struktureigenschaften des Rückstands und an den Schadstoffgehalt geknüpft, wie z. B. an den Anteil von unverbranntem Brennstoff oder die Löslichkeit von Schwermetallen usw.

Als Endprodukt des Nasswaschverfahrens wird Gips gewonnen, der in den meisten EU-Ländern eine Handelsware für die Anlage ist. Er lässt sich anstelle von Naturgips verkaufen und verwenden. Daher wird der Großteil des in Kraftwerken produzierten Gipses in der Gipskartonplattenindustrie verwendet. Die Reinheit des Gipses begrenzt die in den Prozess einbringbare Kalksteinmenge.

### **Mitverbrennung von Abfällen und Ersatzbrennstoffen**

In Großfeuerungsanlagen, die gemäß BVT ausgelegt sind und betrieben werden, kommen wirksame Verfahren und Maßnahmen zur Beseitigung von Staub (einschließlich eines Teils der Schwermetalle), SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, HF und anderen Schadstoffen sowie Techniken zur Vermeidung von Wasser- und Bodenverunreinigungen zur Anwendung. In der Regel können diese Techniken als ausreichend für die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen betrachtet werden und gelten daher auch in diesen Fällen als BVT. Als Basis dafür dienen die BVT-Schlussfolgerungen und insbesondere die mit der Anwendung von BVT verbundenen Emissionswerte, wie sie in den brennstoffspezifischen Kapiteln festgelegt worden sind. Ein höherer Schadstoffeintrag in das Feuerungssystem lässt sich innerhalb bestimmter Grenzen durch die Anpassung des Abgasreinigungssystems oder durch die Begrenzung des prozentualen Anteils des mitzubrennenden Ersatzbrennstoffs ausgleichen.

Was die Auswirkungen der Mitverbrennung auf die Qualität der Rückstände betrifft, so ist der wichtigste BVT-Aspekt, dass die Qualität von Gips, Asche, Schlacke und sonstigen Rückständen und Nebenprodukten auf dem gleichen Niveau wie ohne Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen gehalten werden muss zum Zwecke der Wiederverwendung. Wenn die Mitverbrennung zu erheblichen (zusätzlichen) Entsorgungsmengen von Nebenprodukten oder Rückständen oder zu einer zusätzlichen Verunreinigung durch Metalle (z. B. Cd, Cr, Pb) oder Dioxine führt, so müssen, um das zu verhindern, zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden.



### **Erreichte Übereinstimmung**

Dieses Dokument fand bei den Mitgliedern der Technischen Arbeitsgruppe (TWG) insgesamt weitgehende Unterstützung. Die Industrie und hauptsächlich zwei Mitgliedstaaten verweigerten diesem endgültigen Entwurf ihre volle Unterstützung und äußerten so genannte „abweichende Auffassungen“ zu einigen der im Dokument vorgestellten Schlussfolgerungen, insbesondere zu den BVT-Wirkungsgraden und -Emissionswerten für Steinkohle und Braunkohle, flüssige und gasförmige Brennstoffe sowie aus wirtschaftlichen Gründen zum Einsatz von SCR. Sie vertraten den Standpunkt, dass die als BVT-Emissionswerte angegebenen Bereiche sowohl für neue als auch für bestehende Kraftwerke generell zu niedrig sind. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die oberen Zahlenwerte der BVT-Emissionswerte, besonders für bestehende Anlagen, aktuellen Emissionsgrenzwerten ähneln, die in einigen EU-Mitgliedstaaten gelten. Ein Teil der Industrie vertrat einen eigenen Standpunkt zu dem Ausmaß, in dem dieses Dokument die Erfahrungen und Gegebenheiten aller Großfeuerungsanlagen widerspiegelt. Dies untermauert die Ansicht der TWG-Mitglieder, dass die BVT-Werte angemessen sind und zeigen, dass die in Betracht gezogenen BVT-Werte bereits von etlichen Anlagen in Europa erreicht werden.

Die Europäische Kommission startet und unterstützt mit ihren Forschungs- und Entwicklungsprogrammen eine Reihe von Projekten, die sich mit sauberen Technologien, neu entstehenden Technologien zur Abwasserbehandlung und zum Recycling sowie mit Managementstrategien befassen. Diese Projekte könnten potenziell einen nützlichen Beitrag zu künftigen BVT-Merkblatt-Revisionen leisten. Die Leser werden daher gebeten, dem Europäischen Büro für die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (EIPPCB) alle Forschungsergebnisse mitzuteilen, die für den Geltungsbereich dieses Dokuments von Bedeutung sind (siehe auch Vorwort zu diesem Dokument).

