Kurzbeitrag

DK 662.68:662.753:665.666.4:662.613.5

Möglichkeiten und Grenzen der Entschwefelung von Mineralöl

Von Franz X. Scharinger, München

(Vortrag vor dem Fachausschuß VI der DGG am 27. Oktober 1983 in Würzburg)

(Mitteilung aus der Deutschen Shell AG, München)

(Eingegangen am 20. Februar 1984)

Possibilities and limits to the desulphurization of mineral oils

Possibilités et limites de la désulfuration du pétrole

Die Diskussion um die Waldschäden, deren Ursachen im Detail als nicht geklärt gelten, zu denen aber nach weitverbreiteter Meinung die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe einen erheblichen Teil beitragen, hat den Schadstoffgehalt von Abgasen in das Zentrum des öffentlichen Interesses gerückt. Schwefeldioxid ist nicht der einzige Schadstoff, er ist jedoch der bekannteste. Der Immissionswert und die Emission von SO_2 haben in der gesamten Umweltdebatte eine Art von Leitfunktion erhalten.

Für die Mineralölindustrie ist der Schwefel schon seit langem ein Thema. In Abhängigkeit von seiner Lagerstätte ist Erdöl sehr unterschiedlich zusammengesetzt; in fast allen Fällen aber enthält es Schwefel in mehr oder weniger großen Mengen und in unterschiedlicher Form. Der Schwefelgehalt reicht von Spuren bis in den 5-%-Bereich, wobei die schwefelarmen Rohöle die gefragtesten sind, nicht nur wegen ihres niedrigen Schwefelgehalts, sondern auch wegen ihrer sonstigen meist guten Eigenschaften, z. B. einer hohen Ausbeute an Benzin- und Mitteldestillaten. Gleichzeitig sind sie aber nur in geringeren Mengen verfügbar: Nur rund 10 % der Welterdölreserven (Nordsee, Algerien, Nigeria, Libyen) gehören zu den schwefelarmen Rohölen, aus denen auch rund 10 % der Welterdölförderung stammen. Unterschiedlich wie der Schwefelgehalt ist auch die Form, in der der Schwefel vorliegt: Von H_2S bis zu äußerst komplexen Molekülstrukturen reicht die Skala. Bei der Rohölverarbeitung können sich die Verbindungen ändern, glücklicherweise in der Regel von komplizierten zu einfacheren.

Da in einigen Mineralölprodukten, z. B. Flüssiggas und Benzin, Schwefel seit jeher unerwünscht ist, gehören Benzin- und Naphta-Entschwefelungsanlagen seit langem zur Standardausrüstung der Raffinerien. In der Bundesrpublik Deutschland zeigte die Schwefelemission aus Mineralölprodukten in der Vergangenheit eine relativ günstige Entwicklung: Bis zum Beginn der 60er Jahre – Erdöl spielte noch nicht die große Rolle in der Energieversorgung – wurden Durchschnittsrohöle in Raffinerien mit hohen Konversionsraten verarbeitet, in Raffinerien also, die in erster Linie Kraftstoffe, das sind Mineralölprodukte mit niedrigem Schwefelgehalt, produzierten. Von den 10 Mio. t Mineralölabsatz des Jahres 1955 waren 56 % Motorenbenzin und Dieselkraftstoff, 1960 waren es von 28 Mio. t immer noch 36 %, aber 1970 von 114 Mio. t nur noch 22 % Kraftstoffe. Inzwischen hat sich das Verhältnis wieder geändert: 1982 waren von 101 Mio. t Inlandsabsatz wieder 36 % Motorenbenzin und Dieselkraftstoff. Mit der Heizölwelle ab Anfang der 60er Jahre kamen die leichten Rohöle in Deutschland zum Durchbruch. Zeitweise, z. B. 1969/70, kamen bis zu 50 % des Rohöls aus Libyen, Algerien und Nigeria; es waren also ausgesprochen schwefelarme Rohöle. Die Folge war, daß der Schwefelgehalt der Heizöle deutlich unterhalb der DIN-Höchstwerte gehalten werden konnte (2,8 % Schwefelgehalt wären bei schwerem Heizöl und 0,8 % bei Mitteldestillaten erlaubt gewesen). Das meiste schwere Heizöl wurde daher wohl immer mit einem Schwefelgehalt um die 2 % geliefert, leichtes Heizöl und Dieselkraftstoff hatten einen Schwefelgehalt um 0,5 %.

Nach 1973 änderten sich die Bezugsbedingungen: Schwefelarme Rohöle wurden knapper und teurer. Im Jahre 1975 kam dann – ohne daß sich die tatsächliche Schwefelemission wesentlich geändert hatte – die erste Initiative, den Schwefelgehalt zu senken. Ab 1. 5. 1976 wurde der erlaubte Schwefelgehalt bei Mitteldestillaten vom Gesetzgeber auf 0,5 % – das war etwa die Festschreibung des damals bestehenden Zustandes – und dann stufenweise weiter bis auf 0,3 % ab 1. 1. 1979 abgesenkt. In den Raffinerien ließ sich dieser Schwefelgehalt mit der Auswahl geeigneter Rohöle allein nicht mehr erreichen. Neue Entschwefelungsanlagen waren nötig. Bei schwerem Heizöl erübrigte sich eine entsprechende gesetzliche Regelung, da für die Verwender von schwerem Heizöl ohnehin eine besondere Genehmigung für die Feuerungsanlage erforderlich ist, in der der maximale Schwefelgehalt des Brennstoffes festgelegt ist.

In den 60er Jahren hatte der stark steigende Energieverbrauch trotz des Umstiegs auf schwefelärmere Brennstoffe – Öl statt Kohle – zu einem Anstieg der SO_2-Emissionen geführt, in den 70er Jahren gingen die SO_2-Emissionen wieder zurück, und zwar a) durch die Entschwefelung von leichtem Heizöl, b) durch den Rückgang des Verbrauchs an schwerem Heizöl, ohne daß gleichzeitig der Kohleverbrauch gestiegen wäre, c) durch den Ersatz schwefelhaltiger Brennstoffe durch Erdgas und z. T. auch durch die Kernenergie. Die Emissionssituation ist dadurch heute günstiger als 1960: Gegenwärtig werden jährlich rund 3 gegenüber früher fast 4 Mio. t Schwefeldioxid aus Verbrennungsanlagen ausgestoßen. Für die Industrie ist schwer verständlich, daß gerade jetzt, nachdem man sich zehn Jahre um eine Reduzierung der Schwefeldioxid-Emissionen bemüht hat, Schäden in der Natur zu sehen sind, die dem SO_2 zugeschrieben werden.

Die Mineralölindustrie wird auch in Zukunft in der weiteren Entschwefelung ihrer Produkte Fortschritte machen. Es wurden bereits Forderungen formuliert, daß

1. der Schwefelgehalt bei Mitteldestillaten von heute maximal 0,3 auf maximal 0,15 % gesenkt werden sollte,

2. der Schwefelgehalt des schweren Heizöls deutlich unter 1 % liegen sollte oder

3. die Verbrennung von schwefelhaltigem schweren Heizöl ganz untersagt werden müßte.

Die Mineralölindustrie hat auf die Konsequenzen dieser Forderungen hingewiesen und sich wegen der Benachteiligung der deutschen Raffinerien durch zusätzliche Investitionen und Kosten sowie wegen der nur unbedeutender Verringerung der Emissionsmengen gegen die Vorschläge ausgesprochen.

Bei dem Verbrauch von derzeit rund 47 Mio. t Mitteldestillaten (33 Mio. t leichtes Heizöl und 14 Mio. t Dieselkraftstoff) mit maximalen Schwefelgehalten von 0,3 % beträgt die SO_2-Emission aus dieser Quelle nicht ganz 300 000 t/Jahr. Eine Halbierung des maximalen Schwefelgehaltes auf 0,15 % entspräche damit einer Reduzierung des Schwefeldioxid-Ausstoßes um maximal 150 000 t/Jahr, in der Praxis wahrscheinlich etwas weniger, weil heute nicht alle Mitteldestillate ganz so dicht an der 0,3-%-Marke liegen, wie sie an einer auf 0,15 % abgesenkten Marke liegen würden. Diese 150 000 t sind etwa 5 % der jährlich in der Bundesrepublik emittierten SO_2-Mengen.

Für die nächsten Jahre wird noch mit einem ziemlich konstanten Konsum von Mitteldestillaten gerechnet. Im Prinzip ist das eine Preisfrage, aber heute schon steht fest, daß der Bedarf an leichtem Heizöl geringfügig sinken wird, während der Bedarf an Dieselkraftstoff noch ewas steigen dürfte. Der für die Mineralölwirtschaft günstigste Fall wäre eine Kompensation der beiden

Effekte; wahrscheinlicher ist jedoch auf längere Sicht, daß der Verbrauch an leichtem Heizöl stärker zurückgehen als der Verbrauch von Dieselkraftstoff steigen wird, so daß der Markt insgesamt weniger Mitteldestillate verlangen wird als heute. Ohne weitere Maßnahmen könnte man also für die Zukunft davon ausgehen, daß die Schwefeldioxidbelastung aus der Verbrennung von Mitteldestillaten im ungünstigsten Fall konstant bleibt, wahrscheinlich aber zurückgeht.

Ein Problem ist die wirtschaftliche Seite dieser Forderungen: Nur wenige Raffinerien sind auf Grund ausreichender Entschwefelungskapazitäten – bei im Augenblick günstiger Versorgungssituation mit schwefelarmen Rohölen – in der Lage, die Absenkung auf einen Schwefel-Massengehalt von 0,15 % unmittelbar durchzuführen. In diesem günstigen Fall werden zusätzliche Betriebskosten in Höhe von etwa DM 15,–/t erwartet. Die überwiegende Mehrzahl der Raffinerien müßte jedoch zusätzliche Entschwefelungskapazitäten schaffen. In diesen Fällen kann man davon ausgehen, daß der für die Entschwefelung erforderliche Wasserstoff verfügbar ist. Die dann entstehenden Entschwefelungskosten werden mit etwa DM 25,–/t Mitteldestillat beziffert. Ferner ist zu bedenken, daß für Genehmigungsverfahren, Planung und Bauzeit mit drei oder mehr Jahren zu rechnen ist. Wo Wasserstoff nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht, müssen zusätzlich zu den Entschwefelungsanlagen Wasserstofferzeuger errichtet werden. Die Entschwefelungskosten lägen dann bei DM 35,– bis 40,–/t.

Im Durchschnitt kann man die Kosten für eine Absenkung des Schwefelgehaltes von heute 0,3 auf zukünftig maximal 0,15 % für die 30 Mio. t Mitteldestillate aus deutschen Raffinerien mit etwa DM 25,– je Tonne beziffern, d. h. rund 2 Dpf. je Liter oder 600 bis 800 Mio. DM pro Jahr. Je Tonne nicht emittierten Schwefeldioxids errechnet sich daraus ein Betrag von rund DM 5 000,–. Die Frage ist daher, ob es nicht billigere Methoden gibt, Schwefeldioxidemissionen zu vermeiden. Die Rauchgasentschwefelung der Kraftwerke kostet z. B. etwa DM 3 000,– t Schwefeldioxid.

Beim leichten Heizöl ist also die Entschwefelung bis zu einem gewissen Grad eine Frage der kostengünstigen Technik. Aber ohne europaeinheitliche Umweltschutzauflagen wird die Mineralölindustrie auch diese Kosten nicht in ihren Preisen vom Markt wiederbekommen.

Beim schweren Heizöl dagegen wird die Schwefelfrage zu einer Existenzfrage für die inländische Mineralölverarbeitung. Die Entschwefelung von Rückstandsölen ist technisch nur in Ausnahmefällen möglich. Rohöle enthalten in der Regel geringe Mengen an Metallen, die sich im Rückstand konzentrieren und die ausreichen, um Katalysatoren relativ schnell unwirksam zu machen. Nur bei metallarmen Rohölen ist eine Entschwefelung des Rückstandes durchführbar. Theoretisch gäbe es noch die „indirekte Entschwefelung", mit der man zwar den Schwefelgehalt von schwerem Heizöl senken, nicht aber die Schwefeldioxidemission aus der Verbrennung von Mineralölen insgesamt senken kann. Wenn der Bedarf an schwerem Heizöl höher läge als der aus technischen Gründen in der Raffinerie nicht vermeidbare Anfall von Rückständen, könnte man zu den Rückständen entschwefeltes Destillat aus der Vakuumdestillation zumischen und damit den Schwefelgehalt des schweren Heizöls senken.

In der Bundesrepublik Deutschland sind diese Voraussetzungen nicht gegeben: Der Bedarf an schwerem Heizöl ist mit 12 Mio. t/Jahr so niedrig, daß die Auslastung der Raffinerien von den Absatzmöglichkeiten für schweres Heizöl begrenzt wird. Die hohen Importanteile bei den leichten Produkten kommen nicht zuletzt daher, daß wegen des niedrigen Konsums an schwerem Heizöl – auch bei den relativ niedrigen Preisen – die Raffinerien nur so viel Rohöl verarbeiten können, daß das nicht vermeidbare schwere Heizöl im Lande abgesetzt werden kann. Die fehlenden leichten Produkte müssen dann importiert werden. Die indirekte Entschwefelung durch Zumischen schwefelarmer Komponenten zum schweren Heizöl scheidet damit aus. Im übrigen werden die schwefelarmen Komponenten aus der Vakuumdestillation in zunehmendem Maße zu erlösträchtigeren Produkten weiterverarbeitet oder aufgemischt.

Andererseits bietet die Preisdifferenz zwischen leichten Produkten und schwerem Heizöl inzwischen Anreiz, einen möglichst hohen Anteil des schweren Heizöls zu leichten Produkten zu cracken. Seit etwa $2^1/_2$ Jahren ist die Differenz kaum kleiner als DM 200,–/t gewesen und hat vereinzelt DM 300,–/t deutlich überschritten.

Die Entwicklung der Konversionsanlagen trägt diesem Trend Rechnung, so sehr sogar, daß inzwischen fast eine Überkapazität bei den Konversionsanlagen besteht. Dazu sollen nachfolgend einige technische Erläuterungen gegeben werden: In einer Erdölraffinerie wird Rohöl zunächst durch Destillation in einzelne Fraktionen zerlegt. Dabei bleiben 40 bis 60 % des eingesetzten Rohöls als „atmosphärischer Rückstand" übrig. Aus diesem Rückstand kann in der Vakuumdestillation nochmals ein schweres Destillat gewonnen werden, das als Einsatzprodukt für katalytische Crack- oder Hydrocrackanlagen oder als Rohstoff für die Schmierstoffherstellung dient. Rückstände aus der atmosphärischen Destillation und auch aus der Vakuumdestillation können in thermischen Crackanlagen eingesetzt werden und dort bis zu einem gewissen Grad, in der Regel nicht wesentlich über 50 %, in leichtere Produkte umgewandelt werden. Für den Einsatz in katalytischen Crack- und Hydrocrackanlagen sind Rückstände im allgemeinen ungeeignet, es sei denn in den wenigen Ausnahmefällen sehr metallarmer Rohöle.

Gleichgültig, wie man die heute kommerziell einsetzbaren Anlagen – Vakuumdestillation, thermische und katalytische Cracker, Hydrocracker – kombiniert, es bleibt stets ein Rest nicht entschwefelbarer Rückstände, die irgendwo untergebracht werden müssen: als Bitumen, als Koks, als Bunker C in der Hochseeschiffahrt oder eben als schweres Heizöl. Die technisch und wirtschaftlich sinnvolle Crackkapazität ist diejenige, die den vollen Anteil derjenigen Rückstände crackt, die technisch crackbar sind. Da der Mineralölbedarf in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen ist und voraussichtlich weiter zurückgehen wird, ist die vorhandene Crackkapazität von rund 30 Mio. t/Jahr beinahe schon größer als der Anfall an crackbaren Rückständen.

Eine Aufbereitung der mit den heute kommerziell einsetzbaren Crackanlagen nicht mehr behandelbaren Rückstände ist für die Mineralölindustrie keine geschäftliche Tätigkeit mehr, sondern die „Entsorgung" eines Abfallproduktes. Die Kosten müßten von den übrigen Produkten getragen werden.

Vom schweren Heizöl, in das heute der wesentliche Teil der Rückstände geht, wird bereits ein Anteil von rund 15 %, das sind etwa 2 Mio. t/Jahr, an die nicht emittierende Industrie, z. B. an die Stahl- und die Zementindustrie, verkauft, wo der Schwefelgehalt des Heizmittels in das Produkt bzw. in die Schlacke eingebunden wird.

Infolge der Vorschriften der Großfeuerungsanlagenverordnung ist damit zu rechnen, daß künftig mehr Rauchgasentschwefelungsanlagen zur Verfügung stehen, in denen der im Heizöl-S enthaltene Schwefel aus den Rauchgasen entfernt wird. Weiter ist ganz entscheidend, daß bereits 1993 der Absatz des zur Emission beitragenden schweren Heizöls auf jährlich 4 Mio. t zurückgegangen sein wird, das bedeutet eine nochmalige Halbierung der durch Heizöl-S bedingten SO_2-Emission ohne zusätzliche gesetzliche Vorschriften.

Bei dieser technischen Konstellation ergeben sich energie- und wirtschaftspolitische Konsequenzen:

a) Bei rückläufigem Konsum und Überkapazitäten in weiten Bereichen der Mineralölindustrie ist es offensichtlich unmöglich, die Fixkosten in den Preisen weiterzugeben. Die Mineralölindustrie hat in den letzten Jahren stets Verluste in der Größenordnung von DM 30,– bis 40,–/t Gesamtabsatz gemacht, von 1980 bis heute insgesamt etwa 15 Mrd. DM. Diese Verluste kann man auch interpretieren als die nicht durch die Preise gedeckten Fixkosten von Raffinerien, Tanklagern und anderen Einrichtungen, bei denen Überkapazitäten vorhanden sind.

b) Ergänzungen zu vorhandenen Raffinerien, z. B. Entschwefelungseinrichtungen oder auch, um ein anderes Beispiel zu nennen, Anlagen zur Produktion von unverbleitem Benzin hoher Oktanzahl, können deshalb nur dann in Angriff genommen werden, wenn der Gesetzgeber es vorschreibt, wenn mit flankierenden Maßnahmen eine Weitergabe der Kosten in den Preisen gewährleistet ist und wenn, wie bei der Produktion unverbleiten Benzins, eine entsprechend große Umweltentlastung zu erkennen ist. Diese Anlagen würden allerdings nur dort gebaut, wo man der Raffinerie auch unter den Bedingungen eines intensiven europaweiten Wettbewerbs Überlebenschancen einräumt. Der Prozeß der Strukturbereinigung und der Raffineriestillegung könnte allerdings in der Bundesrepublik Deutschland gravierendere Ausmaße annehmen, als man im Augenblick ohnehin befürchtet.

c) Wenn diese Regelungen, die eine Verteuerung des Raffineriebetriebs oder seiner Waren bewirken, nicht einheitlich für zusammenhängende Märkte gelten, dann gibt es Wettbewerbsverzerrungen. Die Raffinerien einer Region leiden dann stärker unter solchen Auflagen als die einer anderen, in der dem – notwendigen – Umweltschutz weniger Aufmerksamkeit geschenkt wird. Ohne eine europäische Harmonisierung werden auf diese Weise die Raffinerien aus einem Land vertrieben und die SO_2-Emissionen in diesem Land selbst zwar gedrosselt, über die Grenzen kommen dann aber um so größere SO_2-Mengen aus der dann ins Ausland verlagerten Produktion. Ohne eine international abgestimmte Regelung würde daher regional ein ökonomischer Schaden entstehen, ohne daß ihm auch nur der geringste ökologische Nutzen gegenüberstehen würde. 84R0519