

## Ozonschichtschädigung und Klimabeeinflussung durch bestimmte Stoffe

Nach Prognosen der Wissenschaft besteht die akute Gefahr, dass Treibhauseffekt und Ozonloch in den kommenden einhundert Jahren das Leben auf der Erde massiv verändern werden. Die Verursacher der ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffe stammen vor allem aus den industrialisierten Staaten. Im sogenannten Kyoto-Protokoll von 1997 verpflichteten sich diese Nationen, innerhalb eines bestimmten Zeitraumes für eine Senkung ihrer gesamten Treibhausgasemissionen auf 95 % des Niveaus von 1990 zu sorgen.<sup>1)</sup> Als Vorbild diente das Montrealer Protokoll von 1987 über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen. Im Rahmen dieser Vereinbarung verständigten sich die Europäische Gemeinschaft und viele andere Staaten auf Reduzierungspläne für acht ozongefährdende Stoffe.<sup>2)</sup>

Auf den ersten Blick besteht kein Zusammenhang zwischen Treibhauseffekt und der Ausdünnung der Ozonschicht.<sup>3)</sup> Deshalb sollen im Folgenden zunächst der Treibhauseffekt und die Ozonlochproblematik kurz unabhängig voneinander beschrieben werden, bevor auf deren Verbindung eingegangen wird.

Ausgangspunkt bei der Erklärung der Wirkungsweise des Treibhauseffektes ist die einfallende Sonnenstrahlung, die die Erdoberfläche erwärmt. Die Wärme wird als Infrarotstrahlung in den Weltraum abgegeben. Die Treibhausgase sorgen dafür, dass ein Teil dieser Strahlung eingefangen und die Abkühlung somit in Grenzen gehalten wird. Es ist zwischen einem natürlichen Treibhauseffekt und einem zusätzlichen, durch menschliches Handeln beeinflussten Treibhauseffekt zu unterscheiden. Der natürliche Treibhauseffekt ist für eine Leben möglich machende bodennahe Durchschnittstemperatur von 15° C verantwortlich. Der zusätzliche, durch menschliches Handeln beeinflusste Treibhauseffekt steht für einen Anstieg der Konzentration der Treibhausgase bzw. für das Hinzukommen zusätzlicher Treibhausgase, wie zum Beispiel Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), und stellt somit eine Gefährdung des Weltklimas dar.<sup>4)</sup>

Ozon, bei dem es sich um ein farbloses, chlorähnlich riechendes und mit einem starken Oxidationsvermögen ausgestattetes Gas handelt, filtert in der Stratosphäre (25 bis 50 km Höhe) die ultraviolette Strahlung. Doch FCKW und andere Schadgase sorgen für dessen Abbau. Daraus resultiert eine erhöhte UV-Bestrahlung, die negative Konsequenzen für Menschen, Tiere und Pflanzen mit sich

bringt. Als Beispiele seien hier nur ansteigende Hautkrebsraten, Augenkrankheiten und Schwächungen des Immunsystems genannt. Zu beobachten ist aber auch ein gegenläufiger Trend in der oberflächennahen Atmosphäre. Dort kann bei intensiver Sonneneinstrahlung und Emission von NO<sub>x</sub> (Summe der Stickstoffoxide NO und NO<sub>2</sub>), CO (Kohlenmonoxid) und HC (Kohlenwasserstoff) ein Ansteigen des Ozongehaltes konstatiert werden.<sup>5)</sup>

Die Beziehung zwischen Treibhauseffekt und Ozonloch besteht darin, dass Ursachen und Wirkung des Klimawandels und des Ozonabbaus in einer engen Verbindung zueinander stehen. So handelt es sich bei einigen ozonabbauenden Stoffen auch um Treibhausgase.<sup>6)</sup> Die Folgen des Ozonabbaus in der Stratosphäre (u.a. Zerstörung des Planktons in den Weltmeeren, Herabsetzung des Pflanzenwachstums) leisten außerdem einen Beitrag zur Voranschreitung des Treibhauseffektes.<sup>7)</sup>

### Ozonschichtschädigende und klimawirksame Stoffe aus rechtlicher Perspektive und Begriffsbestimmungen

Die Produktion, die Einfuhr, die Ausfuhr, das Inverkehrbringen, die Verwendung, die Rückgewinnung, das Recycling, die Aufarbeitung und die Vernichtung von Stoffen, die zum Abbau der Ozonschicht führen, sowie die Ein- und Ausfuhr, das Inverkehrbringen und die Verwendung von Produkten und Einrichtungen, die solche Stoffe enthalten, ist für die Bundesrepublik Deutschland in der Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 2000 geregelt

<sup>1)</sup> Das Protokoll tritt aber erst dann in Kraft, wenn die Staaten, die für mindestens 55 % der Treibhausgasemissionen von 1990 verantwortlich sind, eine Ratifizierung vorgenommen haben. Aber u. a. in Russland und den USA wurde dieser Schritt noch nicht vollzogen.

<sup>2)</sup> Vgl. Siebert, J. (1996). In: Robin Wood (Hrsg.): Unterrichtsmaterialien. Klima und Ozon. Göttingen: Die Werkstatt / Lichtenau: AOL-Verlag. Vgl. auch Blanck, K. et al. (1990). In: Robin Wood (Hrsg.): Klima Aktionsbuch. Was tun gegen Ozonloch und Treibhauseffekt? Göttingen: Die Werkstatt. Vgl. außerdem Oberthür, S. / Ott, H. E. (2000): Das Kyoto-Protokoll. Internationale Klimapolitik für das 21. Jahrhundert. Opladen: Leske + Budrich.

<sup>3)</sup> Vgl. Pearce, F. (1990): Treibhaus Erde. Die Gefahren der weltweiten Klimaveränderungen. Braunschweig: Westermann, S. 36.

<sup>4)</sup> Vgl. Umweltlexikon: Treibhauseffekt. <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBluft/Treibhauseffekt.php> (15.09.2003, 14.03 Uhr).

<sup>5)</sup> Vgl. Bank, M. (2000): Basiswissen Umwelttechnik. Wasser, Luft, Abfall, Lärm und Umweltschutz. 4. Auflage Würzburg: Vogel, S. 545. Vgl. auch Siebert, J. (1996), S. 119.

<sup>6)</sup> Vgl. Oberthür, S./Ott, H. E. (2000), S. 359 f.

<sup>7)</sup> Vgl. Siebert, J. (1996), S. 9.

und wurde zuletzt geändert durch die Verordnung (EG) 2039/2000 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. September 2000.

Eine jährliche Erhebung bestimmter ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe ist in § 11 des Umweltstatistikgesetzes (UStatG) verankert. Es werden solche Unternehmen in die Auskunftspflicht genommen, die bestimmte ozonschichtschädigende Stoffe herstellen, ein- oder ausführen bzw. ozonschichtschädigende und/oder klimawirksame Stoffe in Mengen von mehr als 50 kg pro Stoff und Jahr zur Herstellung, Instandhaltung oder Reinigung von Erzeugnissen verwenden. Es ist zwischen geregelten Stoffen, die ozonschichtschädigend und klimawirksam sind, und Fluorderivaten der aliphatischen Kohlenwasserstoffe mit bis zu sieben Kohlenstoffatomen, die nur klimabeeinflussende Wirkung besitzen, zu unterscheiden. Zu den geregelten Stoffen zählen gemäß der bereits angesprochenen Verordnungen voll- oder teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW, H-FCKW), Halone, Tetrachlorkohlenstoff, 1,1,1-Trichlorethan, Methylbromid, teilhalogenierte Fluorbromkohlenwasserstoffe und Bromchlormethan. Mit Fluorderivaten der aliphatischen Kohlenwasserstoffe mit bis zu sieben Kohlenstoffatomen sind FKW und H-FKW gemeint.

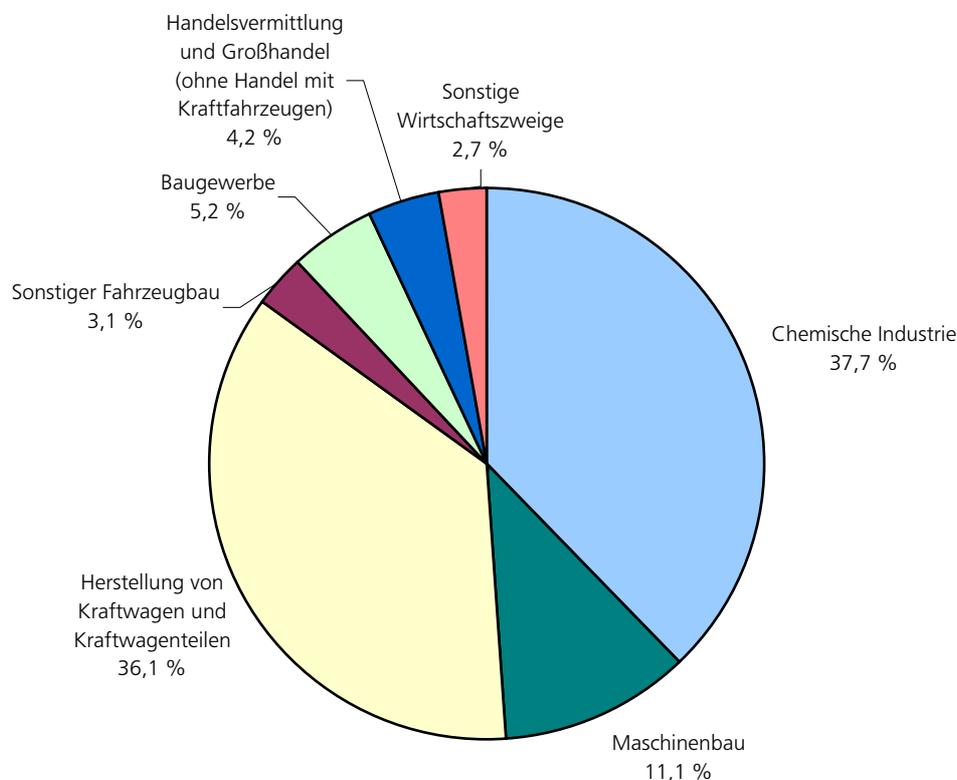
### Verwendete Menge an ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffen in niedersächsischen Unternehmen im Jahr 2002 nach Stoffgruppen, Einsatzbereichen und Wirtschaftszweigen

Für das Jahr 2002 hatten 280 Unternehmen in Niedersachsen Angaben über die verwendeten Mengen zu liefern. Von diesen Unternehmen wurden insgesamt 1 478,5 Tonnen ozonschichtschädigende und klimawirksame Stoffe verwendet. Davon waren 632,2 Tonnen geregelte Stoffe, 639,8 Tonnen FKW und H-FKW sowie 206,5 Tonnen Blends, bei denen es sich um Gemische handelt, die mindestens einen ozonschichtschädigenden bzw. klimawirksamen Stoff enthalten.

Unter der Gesamtmenge von 1 478,5 Tonnen befanden sich 2,8 Tonnen von Stoffen, die zur Herstellung anderer chemischer Erzeugnisse bestimmt sind und dabei vollständig vernichtet oder umgewandelt werden (Ausgangsstoffe). Somit ist nur die Menge von 1 475,7 Tonnen potenziell emissionsrelevant.<sup>8)</sup> Bei den 2,8 Tonnen Ausgangsstoffen handelt es sich ausschließlich um geregelte

<sup>8)</sup> Im weiteren Verlauf dieses Beitrages wird bei Angaben zu Verwendungsmengen aus besagtem Grund auf die Berücksichtigung der verwendeten Ausgangsstoffe verzichtet.

1. Verwendung ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe in Niedersachsen im Jahr 2002 nach Wirtschaftszweigen



Stoffe. Die 1 475,7 Tonnen ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe wurden fast ausnahmslos als Kältemittel (928,9 Tonnen) und Treibmittel bei der Herstellung von Kunst- und Schaumstoffen (546,2 Tonnen) genutzt.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Verwendung ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe nach Wirtschaftszweigen in Niedersachsen. Die größten Anteile der 1 475,7 Tonnen entfallen auf die chemische Industrie (37,7 %) und die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (36,1 %). Von Bedeutung sind auch der Maschinenbau (11,1 %), das Baugewerbe (5,2 %), die Handelsvermittlung und der Großhandel ohne Handel mit Kraftfahrzeugen (4,2 %) sowie der sonstige Fahrzeugbau (3,1 %). Sonstige Wirtschaftszweige haben zusammen nur 2,7 % der ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffe verwendet.

### Ozonabbau- und Treibhauspotenzial der in niedersächsischen Unternehmen im Jahr 2002 verwendeten ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffe nach Stoffgruppen, Einsatzbereichen und Wirtschaftszweigen

Um das Ozonabbaupotenzial und das Treibhauspotenzial der in metrischen Tonnen angegebenen Ergebnisse darstellen zu können, bedient man sich der sogenannten ODP-Werte und GWP-Werte.<sup>9)</sup> Der ODP-Wert eines Stoffes entspricht dem Ozonabbaupotenzial dieses Stoffes relativ zum FCKW Trichlorfluormethan (R 11). Der GWP-Wert eines Stoffes steht für das Treibhauspotenzial dieses Stoffes relativ zu CO<sub>2</sub>. Der ODP-Wert bzw. der GWP-Wert eines Stoffes wird mit der metrischen Mengenangabe dieses Stoffes multipliziert. Durch Addition der ODP- bzw. GWP-gewichteten Menge der verschiedenen Stoffe erhält man die ODP- bzw. GWP-gewichtete Gesamtmenge der verwendeten ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffe. Die ODP-gewichteten und GWP-gewichteten Mengen an verwendeten ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffen in niedersächsischen Unternehmen im Jahr 2002 ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Die 62,9 ODP-gewichteten Tonnen wurden beinahe ausschließlich als Kältemittel (8,6 ODP-gewichtete Tonnen) und Treibmittel bei der Herstellung von Kunst- und Schaumstoffen (53,9 ODP-gewichtete Tonnen) verwendet. Der größte Anteil der 62,9 ODP-gewichteten Tonnen ist der chemischen Industrie (84,9 %) zuzuschreiben. Dagegen fallen die Anteile des Maschinenbaus (4,6 %), des sonstigen Fahrzeugbaus (2,9 %), des Baugewerbes (2,5 %) und der sonstigen Wirtschaftszweige (zusammen 5,1 %) sehr viel geringer aus.

<sup>9)</sup> ODP: Ozone Depletion Potential, GWP: Global Warming Potential.

### 1. Verwendung ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe in niedersächsischen Unternehmen im Jahr 2002

Stoffgruppe	Metrische Tonnen	ODP-gewichtete Tonnen	GWP-gewichtete Tonnen in Tsd.
Geregelte Stoffe	629,4	62,4	546,7
FKW, H-FKW	639,8	-	857,1
Blends	206,5	0,5	617,5
<b>Insgesamt</b>	<b>1 475,7</b>	<b>62,9</b>	<b>2 021,3</b>

Die 2 021,3 Tsd. GWP-gewichteten Tonnen sind zum größten Teil der Kältemittelverwendung (1 615,7 Tsd. GWP-gewichtete Tonnen) und der Verwendung als Treibmittel bei der Herstellung von Kunst- und Schaumstoffen (400,3 Tsd. GWP-gewichtete Tonnen) zuzurechnen. 34,6 % der 2 021,3 Tsd. GWP-gewichteten Tonnen entfallen auf die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 21,7 % tragen die chemische Industrie, 19,2 % der Maschinenbau, 9,1 % die Handelsvermittlung und der Großhandel, 8,5 % das Baugewerbe und 7,0 % alle sonstigen Wirtschaftszweige zusammen.

### Gesamtentwicklung in niedersächsischen Unternehmen seit 1996

Um einen Vergleich der Zahlen aus der letzten Zeile der Tabelle 1 mit den Ergebnissen vergangener Jahre zu ermöglichen, soll an dieser Stelle eine Zeitreihe, die mit dem Erhebungsjahr 1996 beginnt, gebildet werden. Die Zeitreihe ist in Tabelle 2 dargestellt.

### 2. Zeitreihe (1996 bis 2002) der Verwendung ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe in niedersächsischen Unternehmen

Einheit	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Metrische Tonnen	1 466,0	1 541,7	1 594,8	1 213,4	1 593,6	1 497,5	1 475,7
ODP-gewichtete Tonnen	170,1	128,9	98,1	58,8	71,1	58,0	62,9
GWP-gewichtete Tonnen in Tsd.	2 121,6	1 986,6	1 967,4	1 638,0	2 094,1	2 052,2	2 021,3

Gemessen in metrischen Tonnen wurden im Jahr 2002 ca. 0,7 % mehr ozonschichtschädigende und klimawirksame Stoffe in niedersächsischen Unternehmen verwendet als 1996. In den Zwischenjahren lagen die Werte mit Ausnahme des Jahres 1999 über denen der Jahre 1996 und 2002.

Werden die metrischen Mengenangaben der verschiedenen verwendeten Stoffe mit den ODP-Werten gewichtet, so ist in der Zeit von 1996 bis 2002 für alle ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffe zusammen ein Rückgang von ca. 63 % zu konstatieren. Zwischen 1996 und 1999 betrug der Rückgang sogar ungefähr 65,4 %. Im neuen Jahrhundert ist das aus der Verwendung ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe resultierende Ozonabbaupotenzial zunächst leicht angestiegen, um anschließend wieder etwas abzusinken.

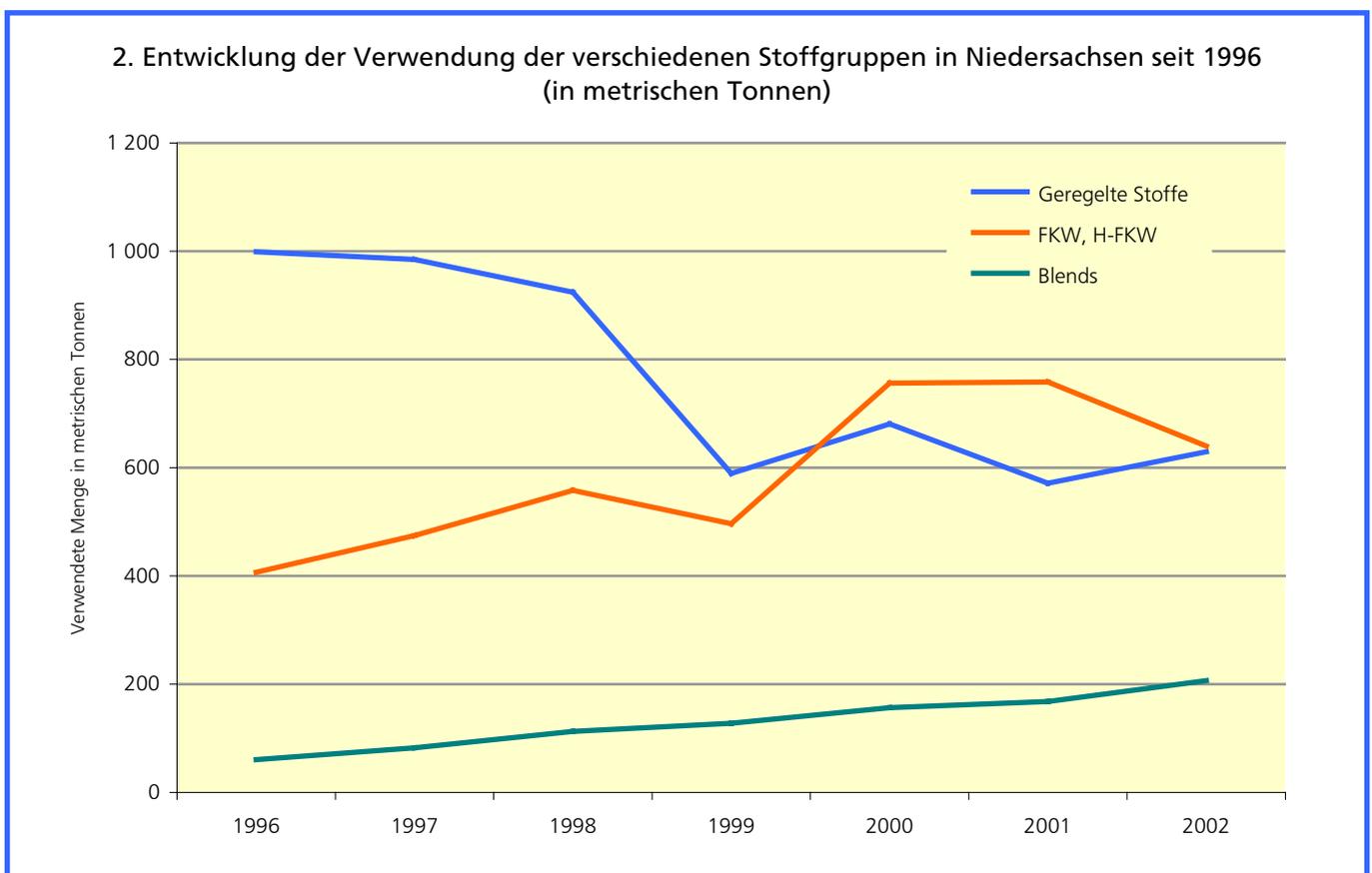
Werden die metrischen Mengenangaben der verschiedenen verwendeten Stoffe mit den GWP-Werten gewichtet, so ist in der Zeit von 1996 bis 2002 für alle ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffe zusammen ein Rückgang von ca. 4,7 % zu verzeichnen. Vernachlässigt werden darf aber bei dieser Betrachtung nicht, dass auf einen Rückgang von etwa 22,8 % zwischen 1996 und 1999 zunächst ein erheblicher Wiederanstieg und anschließend ein leichtes, erneutes Absinken folgte.

## Entwicklung der verschiedenen Stoffgruppen seit 1996

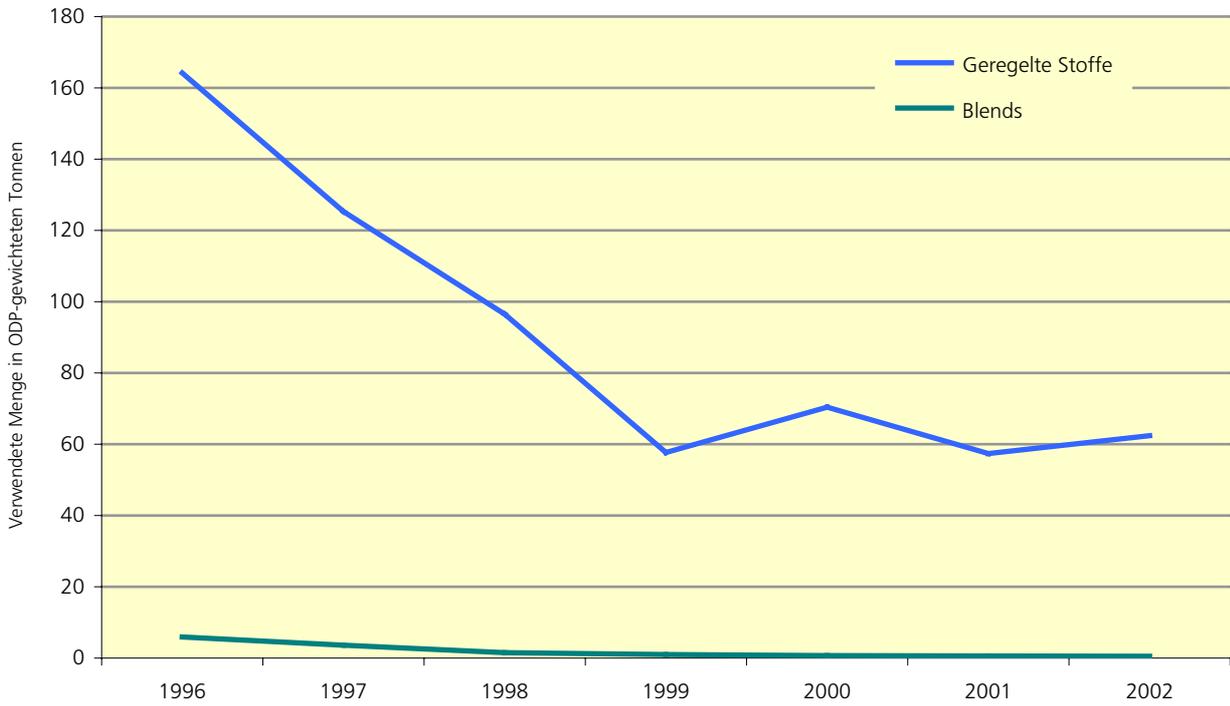
Die Entwicklung der verschiedenen Stoffgruppen (geregelt Stoffe, FKW, H-FKW und Blends) ist den folgenden Ausführungen zu entnehmen. Diese Betrachtung erfolgt jeweils getrennt für die metrische Menge (Abbildung 2), das Ozonabbaupotenzial (Abbildung 3) und das Treibhauspotenzial (Abbildung 4).

Gemessen in metrischen Tonnen ist die Menge der verwendeten geregelten Stoffe, wie in Abbildung 2 grafisch dargestellt ist, zwischen 1996 und 1999 erheblich zurückgegangen (von 998,9 Tonnen auf 589,3 Tonnen). Seitdem unterliegt die Menge Schwankungen nach oben und unten. Die Menge der FKW und H-FKW hat in der Zeit zwischen den Jahren 1996 und 2001 gegenüber dem jeweiligen Vorjahr mit Ausnahme des Jahres 1999 zugenommen (von 406,6 Tonnen auf 758,3 Tonnen). Im Jahr 2002 ist gegenüber dem Jahr 2001 ein Rückgang von ca. 15,6 % zu verzeichnen. Ausgehend von 60,5 Tonnen im Jahr 1996 hat sich die verwendete Menge an Blends sukzessive bis zum Jahr 2002 (206,5 Tonnen) erhöht.

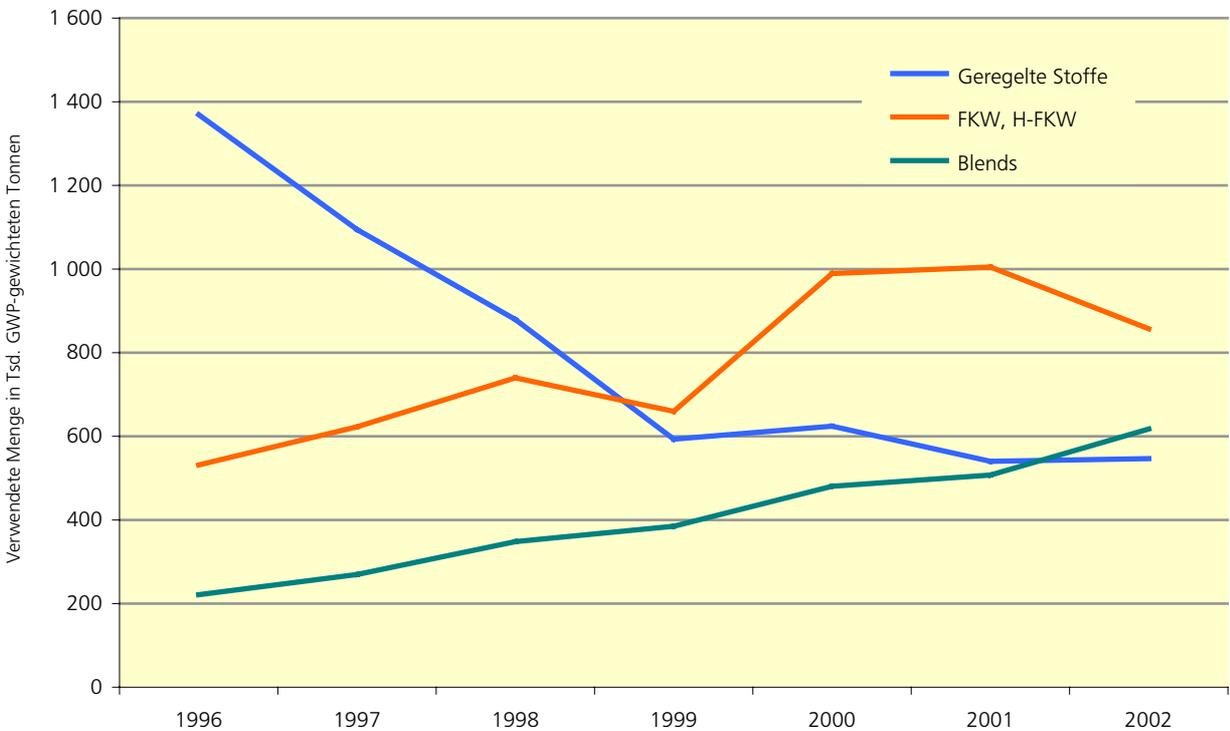
Wie Abbildung 3 zu entnehmen ist, konnte in der Zeit von 1996 bis 1999 ein starker Rückgang der ODP-ge-



3. Entwicklung der Verwendung der verschiedenen Stoffgruppen in Niedersachsen seit 1996  
(in ODP-gewichteten Tonnen)



4. Entwicklung der Verwendung der verschiedenen Stoffgruppen in Niedersachsen seit 1996  
(in GWP-gewichteten Tonnen)



wichteten Tonnen an geregelten Stoffen verzeichnet werden (1996: 164,2 ODP-gewichtete Tonnen, 1999: 57,7 ODP-gewichtete Tonnen). Seitdem gab es leichte Ausschläge nach oben und unten. FKW und H-FKW sind in dieser Abbildung nicht berücksichtigt, da ihnen kein Ozonabbaupotenzial attestiert werden kann. Die Verwendung an Blends ist gemessen in ODP-gewichteten Tonnen durchgängig rückläufig (1996: 5,9 ODP-gewichtete Tonnen, 2002: 0,5 ODP-gewichtete Tonnen).

Der Abbau des Treibhauspotenzials der verwendeten geregelten Stoffe wurde zwischen 1996 (1 369 Tsd. GWP-gewichtete Tonnen) und 1999 (593,2 Tsd. GWP-gewichtete Tonnen) in niedersächsischen Unternehmen stark vorangetrieben. Im neuen Jahrhundert wurde dieses Niveau ungefähr gehalten. Das Treibhauspotenzial der verwendeten FKW und H-FKW lag 2001 ca. 89,1 % über dem des Jahres 1996. 2002 war aber gegenüber dem Vorjahr ein Rückgang von etwa 14,7 % zu konstatieren. Die GWP-gewichtete Menge an Blends hat in dem hier betrachteten Zeitraum ständig zugenommen. Insgesamt liegt eine Zunahme von 179,3 % vor.

### Entwicklung der Verwendung einzelner Stoffarten seit 1996

Abschließend sei noch die Entwicklung der metrischen Verwendungsmenge einzelner geregelter Stoffe (R 11, R 12, R 22, R 141b), des bedeutendsten Vertreters der Stoffgruppe FKW, H-FKW (R 134a) und des FKW-Gemisches R 404 A erläutert.<sup>10)</sup> Diese Beschreibung soll helfen, die nicht miteinander in Einklang stehende Entwicklung der ODP-gewichteten Menge und der GWP-gewichteten Menge zu verstehen.

R 11 und R 12 werden seit 2001 nicht mehr verwendet. 1996 wurden 1,8 metrische Tonnen R 11 und 53,4 metrische Tonnen R 12 eingesetzt. Da beide mit dem ODP-Wert 1 gewichtet werden, war das aus diesen Stoffen resultierende Ozonabbaupotenzial mit zusammen 55,2 ODP-gewichteten Tonnen nicht unbedeutend. Auch das Treibhauspotenzial von R 12 (GWP-Wert: 8 500) besaß mit 454,2 Tsd. GWP-gewichteten Tonnen Relevanz. Das Ozonabbau- und Treibhauspotenzial von R 11 und R 12

ging logischer Weise durch die Abnahme der in metrischen Tonnen dargestellten Menge zurück. Als Ersatzstoff für R 11 gilt R 141b, als Substitute für R 12 kommen R 22 und R 134a in Frage.

Die Menge an R 141b entwickelte sich unter Schwankungen nach oben und unten von 672,9 metrischen Tonnen im Jahr 1996 auf 490,2 metrische Tonnen im Jahr 2002. Da R 141b einen ODP-Wert von 0,110 und einen GWP-Wert von 630 (R 11: 4 000) besitzt, wirkt sich dieser Rückgang positiv auf das Ozonabbau- und Treibhauspotenzial aus. Gleiches gilt für den im neuen Jahrhundert im Vergleich zu den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts seltener verwendeten Stoff R 22 (1996: 246,6 metrische Tonnen, 2002: 132,8 metrische Tonnen), der über den ODP-Wert 0,055 und den GWP-Wert 1 700 verfügt.

R 134a kann nicht nur als Ersatzstoff für R 12, sondern auch für R 22 eingesetzt werden. In dieses Bild passt natürlich, dass der beschriebene Rückgang der Verwendung von R 12 und R 22 mit einer Bedeutungszunahme der Verwendung von R 134a einhergeht. R 134a ist mit einem ODP-Wert von 0 nicht mitverantwortlich für den Abbau der Ozonschicht, ist aber, wie sich am GWP-Wert von 1 300 ablesen lässt, klimawirksam.

Das FKW-Gemisch R 404 A, durch das u. a. R 22 substituiert werden kann, wird von Jahr zu Jahr seit 1996 immer mehr zum Einsatz gebracht (1996: 29,6 metrische Tonnen, 2002: 124,5 metrische Tonnen). Das Problem bei diesem Gemisch ist, dass man für den ODP-Wert von 0 einen hohen GWP-Wert von 3 748 in Kauf nehmen muss.

### Fazit

Die im Vergleich zu den ersten Jahren dieser Erhebung sehr viel niedrigere ODP-gewichtete Verwendungsgesamtmenge resultiert also aus dem Einsatz von Ersatzstoffen, die einen kleineren ODP-Wert als die Stoffe besitzen, für die sie Substitute sein können. Dadurch, dass diese Substitute aber teilweise erheblich treibhauswirksam sind, stellt sich, wie bezugnehmend auf Tabelle 2 beschrieben wurde, die Entwicklung des Treibhauspotenzials der in niedersächsischen Unternehmen verwendeten ozonschichtschädigenden und klimawirksamen Stoffe anders dar als die Entwicklung des Ozonabbaupotenzials.

<sup>10)</sup> R 11: Trichlorfluormethan. R 12: Dichlordifluormethan. R 22: Chlordifluormethan. R 141b: 1,1-Dichlor-1-fluorethan. R 134a: 1,1,1,2-Tetrafluorethan. R 404 A: Suva HP 62, Reclin 404 A, Forane FX 70, Meforex M 55, Solkane 404 A, Klea 404 A, Isceon 404 A.