

Darstellung und Fluorierung von Oligomeren des Hexafluorpropens

Sigmar P. v. Halasz¹⁾, Friedhelm Kluge und Thomas Martini²⁾

Farbwerke Hoechst AG, vormals Meister Lucius und Brüning,
D-6230 Frankfurt (Main) 80, Postfach 800320

Eingegangen am 18. April 1973

Tris[2-(2*H*-hexafluorpropoxy)äthyl]amin (**1**), aus Triäthanolamin und Hexafluorpropen darstellbar, katalysiert die Oligomerisierung von Hexafluorpropen. In Gegenwart von Triäthylamin entstehen selektiv Trimere der Formel C₉F₁₈. Ohne Zusatzbase bleibt die Oligomerisierung auf der Stufe der Dimeren der Formel C₆F₁₂ stehen, wobei mit 96% bevorzugt Perfluor(4-methyl-*trans*-2-penten) (**2**) entsteht. Die Hexafluorpropen-Dimeren liefern mit F₂ bei -78°C quantitativ das bekannte Perfluor(2-methylpentan) (**6**). Die Addition von Fluor an Hexafluorpropen-Trimere ergibt bei 30°C das neue Perfluor(3-isopropyl-2-methylpentan) (**10**) in etwa 95proz. Ausbeute. Bei 100°C entsteht neben wenig **10** unerwartet als ein weiteres neues Perfluorononan-Isomeres Perfluor(3-äthyl-2,3-dimethylpentan) (**12**), dessen Bildung durch eine Isomerisierung während des Fluorierungsschrittes erklärt wird. Die Strukturen beider Isomeren von C₉F₂₀ werden durch IR- und ¹⁹F-NMR-Spektren belegt. Die beschriebenen Fluorierungen werden auf einem einfachen Wege mit elementarem, unverdünntem Fluor sowie ohne Lösungsmittel für die vorgelegten Olefine und in Abwesenheit einer zusätzlichen mechanischen Rührvorrichtung vorgenommen.

Preparation and Fluorination of Hexafluoropropene Oligomers

Tris[2-(2*H*-hexafluoropropoxy)ethyl]amine (**1**), which can be prepared by treatment of triethanolamine with hexafluoropropene, catalyzes the oligomerization of hexafluoropropene. In the presence of triethylamine as additional base only trimers of the formula C₉F₁₈ are formed. Without *tert*-alkylamine the oligomerization leads to dimers of the formula C₆F₁₂, the formation of perfluoro(4-methyl-*trans*-2-pentene) (**2**) (96%) being favored. Hexafluoropropene dimers react with elemental fluorine at -78°C to give the known perfluoro(2-methylpentane) (**6**) in quantitative yield. The fluorination of hexafluoropropene trimers at 30°C results in the formation of the new perfluoro(3-isopropyl-2-methylpentane) (**10**) in about 95 percent yield. At 100°C only small amounts of the normal addition product **10** are formed. The main product in this case is perfluoro(3-ethyl-2,3-dimethylpentane) (**12**), a further new isomer of perfluorononane. Formation of **12** can be explained by assuming that isomerization takes place during the fluorination step. The structures of the two isomers of the formula C₉F₂₀ have been confirmed by i.r. and ¹⁹F n.m.r. spectra. The described fluorination reactions may be carried out in a simple manner, with undiluted fluorine, without the use of inert solvents for the olefins, and without additional mechanical mixing.

Die anionen-initiierte nucleophile Oligomerisierung von Hexafluorpropen wurde in letzter Zeit mehrfach beschrieben. Als Katalysatoren kommen Halogenide oder

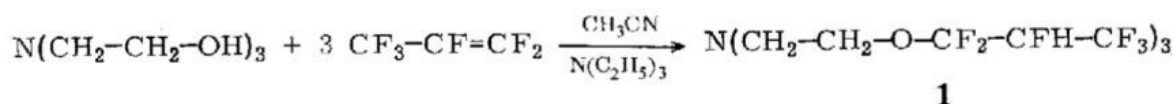
¹⁾ Korrespondenz bezüglich der Elementarfluorierung an diesen Autor.

²⁾ Korrespondenz bezüglich der Oligomerisierung an diesen Autor.

Hydroxide der ersten Hauptgruppe des Periodensystems, quartäre Ammoniumverbindungen sowie KHF_2 zur Anwendung³⁾. Auch Aminoverbindungen wie Tetraakis(dimethylamino)äthylen, Tetramethylguanidin oder Trimethylamin katalysieren die Reaktion^{4,5)}. Diesen Verfahren haftet der Nachteil an, stets zu Gemischen an Dimeren und Trimeren des Hexafluorpropens in wechselndem Mengenverhältnis zu führen. Außerdem sind meist höhere Temperaturen und Drucke erforderlich.

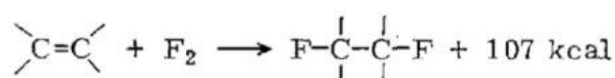
Uns gelang es zu zeigen, daß die durch Addition von Hexafluorpropen an *tert*-Alkanolamine herstellbaren Hexafluorpropyläther, insbesondere der vom Triäthanolamin, sich ausgezeichnet eignen, Hexafluorpropen selektiv zu dimerisieren oder zu trimerisieren. Voraussetzung für die Trimerisierung ist die Anwesenheit eines *tert*-Alkylamins als zusätzlichen Nucleophils. Ohne *tert*-Alkylamin entstehen praktisch nur Dimere. Das Verfahren kann drucklos und kontinuierlich im Glaskolben durchgeführt werden und ermöglicht die Darstellung beliebiger Mengen der Oligomeren C_6F_{12} oder C_9F_{18} .

Das für die Oligomerisierung besonders geeignete Tris[2-(2*H*-hexafluorpropoxy)-äthyl]amin (**1**) läßt sich durch Umsetzung von Triäthanolamin mit Hexafluorpropen in Gegenwart von Triäthylamin in Acetonitril einfach darstellen.



Perfluorolefine lassen sich mit elementarem Fluor meist mit nur mäßigen Ausbeuten zu den entsprechenden perfluorierten Alkanen umsetzen⁶⁻⁸⁾.

Da bei der Reaktion gemäß der Gleichung



eine erhebliche Wärmemenge frei wird, bilden sich oft Fragmentierungsprodukte; denn die Spaltung einer C—C-Einfachbindung z.B. in Hexafluoräthan benötigt 97 kcal/mol⁹⁾, und die Spaltung einer C=C-Doppelbindung z.B. in Tetrafluoräthylen nur 76 kcal/mol¹⁰⁾. Additionsreaktionen von Fluor an Doppelbindungen von Perfluorolefinen laufen, wie bereits ausführlich untersucht¹¹⁾, in flüssiger wie in gasförmiger Phase radikalisch ab, weshalb durch Rekombination zweier C-Radikale

³⁾ Du Pont de Nemours and Company (Erf. W. J. Brehm, K. G. Brenner, H. S. Eleuterio und R. W. Meschke) US-Pat. 3918 501 (27. 2. 1958) [C. A. **54**, 20875f (1958)].

⁴⁾ Du Pont de Nemours and Company (Erf. D. F. Knaak) US-Pat. 2983 764 (31. 8. 1959) [C. A. **53**, 3027c (1959)].

⁵⁾ W. Brunskill, W. T. Flowers, R. Gregory und R. N. Haszeldine, J. C. S. Chem. Commun. **1970**, 1444.

⁶⁾ W. A. Sheppard und C. M. Sharts, Organic Fluorine Chemistry, 1. Aufl., S. 53, W. A. Benjamin, New York 1969.

⁷⁾ E. Forche in Methoden der organischen Chemie (Houben-Weyl-Müller), 4. Aufl., Bd. V/3, S. 12, Thieme, Stuttgart 1962.

⁸⁾ J. M. Tedder in Advances in Fluorine Chemistry (Herausg. M. Stacey, J. C. Tatlow und A. G. Sharpe), 1. Aufl., Bd. 2, S. 104, Butterworths, London 1961.

⁹⁾ J. W. Coomber und E. Whittle, Trans. Faraday Soc. **63**, 1394 (1967).

¹⁰⁾ K. F. Zmbov, O. M. Uy und J. L. Margrave, J. Amer. Chem. Soc. **90**, 5090 (1968).

¹¹⁾ A. S. Rodgers, J. Phys. Chem. **69**, 254 (1965).

in beträchtlichem Ausmaß dimere Produkte anfallen können¹²⁾. Um die Bildung unerwünschter Nebenprodukte zu unterdrücken, wurden Elementarfluorierungen der vorgelegten Olefine unter Verdünnung des Fluorstroms mit inerten Gasen und in inerten Lösungsmitteln vorgenommen. Außerdem waren für die Addition von Fluor zum Teil aufwendige Apparaturen notwendig^{13,14)}.

Wir fanden, daß sich Hexafluorpropen-Dimere ohne Lösungsmittel mit elementarem, unverdünntem Fluor bei -78°C in einer einfachen konventionellen Glasapparatur ohne Rührvorrichtung in quantitativen Umsätzen sowie mit 98proz. Ausbeute zu strukturell einheitlichem Perfluor(2-methylpentan) (6) umsetzen lassen.

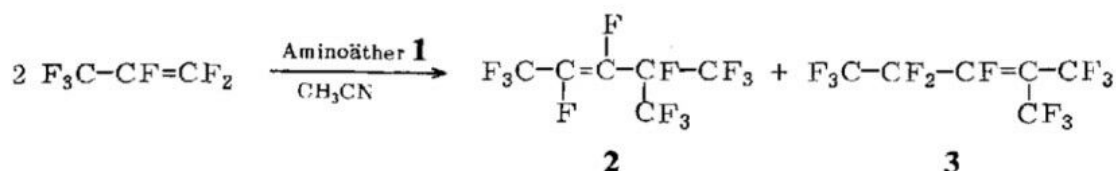
Das Perfluoralkan 6 ist bisher nur in mittleren Ausbeuten und stets zusammen mit destillativ schwer abtrennbaren Nebenprodukten auf folgenden Wegen gewonnen worden: durch Fluorierung von 2-Methylpentan mit Kobalttrifluorid¹⁵⁾, durch Reaktion von Hexafluorpropen mit Stickstofftrifluorid im Autoklaven bei 500°C ¹⁶⁾ sowie durch photochemische Reaktion zwischen Hexafluorpropen und Perfluorpiperidin¹⁷⁾.

Weiterhin ergibt die Elementarfluorierung der von uns dargestellten Hexafluorpropen-Trimeren bei 30°C das einheitliche, bisher unbekannte Perfluor(3-isopropyl-2-methylpentan) (10) in etwa 95% Ausbeute. Überraschenderweise führt dieselbe Fluorierung bei 100°C unter gleichzeitiger Isomerisierung (Wanderung einer Trifluormethyl-Gruppe) zu dem bisher ebenfalls unbekanntem C_9F_{20} -Isomeren Perfluor(2-äthyl-2,3-dimethylpentan) (12).

1) Synthese von Dimeren des Hexafluorpropens

Die Dimerisierung gelingt selektiv, wenn man das Fluorolefin in eine Lösung des reinen Aminoäthers 1 in Acetonitril einleitet. Dabei bilden sich mit einem Anteil von $>90\%$ die Dimeren 2 und 3 im Verhältnis 96:3.9. Ihre Strukturen lassen sich ^{19}F -NMR-spektroskopisch bestimmen¹⁸⁾. Einen weiteren Strukturbeweis bringt die unten beschriebene Elementarfluorierung.

Die Wirksamkeit von 1 ist einerseits auf das hohe Lösungsvermögen für Hexafluorpropen zurückzuführen, andererseits ist der Aminoäther 1 offensichtlich noch genügend nucleophil, um eine Oligomerisierung katalysieren zu können. Dabei ist anzunehmen, daß ebenso wie bei der F^{\ominus} -initiierten Oligomerisierung¹⁹⁾ ein inter-



12) W. T. Miller jr. und S. D. Koch jr., J. Amer. Chem. Soc. **79**, 3084 (1957).

13) W. T. Miller (Erf. W. T. Miller), Brit. Pat. 839034 (29. 6. 1960) [C. A. **54**, 24393 e (1960)].

14) W. T. Miller jr., J. O. Stoffer, G. Fuller und A. C. Currie, J. Amer. Chem. Soc. **86**, 51 (1964).

15) V. E. Stiles und G. H. Cady, J. Amer. Chem. Soc. **74**, 3771 (1952).

16) R. D. Dresdner, F. N. Thumac und J. A. Young, J. Amer. Chem. Soc. **82**, 5831 (1960).

17) R. E. Banks, K. Mullen, W. J. Nicholson, C. Oppenheim und A. Prakash, J. C. S. Perkin I **1972**, 1098.

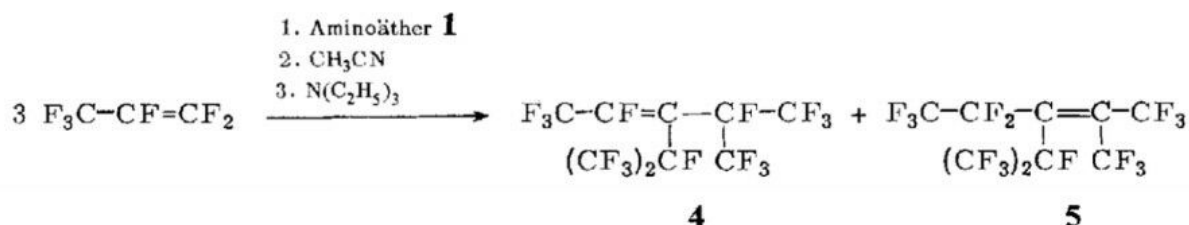
18) Ch. Schumann und F. Cavagna, Farbwerke Hoechst AG, Publikation in Vorbereitung.

19) J. A. Young in Fluorine Chemistry Reviews (Herausg. P. Tarrant), 1. Aufl., Bd. 1, S. 359, Marcel Dekker, New York 1967.

mediär gebildetes carbanion-ähnliches Assoziat zwischen **1** und Hexafluorpropen die Addition an ein weiteres Molekül Fluorolefin bewirkt. Eine durch F^\ominus katalysierte Dimerisierung, hervorgerufen durch Dehydrofluorierung von **1**, kann unter den angewandten Bedingungen ausgeschlossen werden, da bei Zugabe von Flußsäure zu **1** die Oligomerisierung vollständig unterbunden wird.

2) Synthese von Trimeren des Hexafluorpropens

Gibt man zu der aus Acetonitril und **1** bestehenden Reaktionslösung 5 Mol-% Triäthylamin (bezogen auf eingesetzte Menge an **1**), so verringert sich der Dimerenanteil des Oligomerisats auf ca. 10%. Als Hauptprodukt werden nun zu 85% Trimere gebildet. Erhöhte Triäthylaminzugabe läßt den Trimerenanteil auf >92% ansteigen. Am einfachsten läßt sich die Trimerisierung durchführen, wenn bei der Darstellung von **1** über die geforderte Menge Hexafluorpropen in die Reaktionslösung eingeleitet wird. Die Umsetzung führt zu einem Isomerengemisch, welches sich hauptsächlich aus **4** und **5** im Verhältnis 29.7:65.9 zusammensetzt. ^{19}F -NMR-Untersuchungen und Elementarfluorierung sichern die Strukturen.

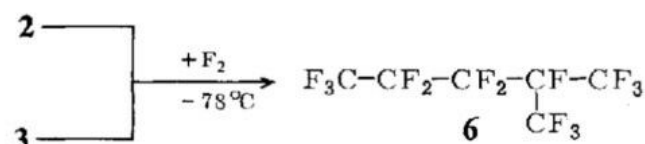


In Gegenwart von Triäthylamin läßt sich auch die Addition von Hexafluorpropen an das Dimerengemisch **2** und **3** durchführen, so daß angenommen werden kann, daß bei der Trimerisierung freies Dimeres auftritt. Das anfallende Trimeren-Gemisch zeigt praktisch die gleiche Zusammensetzung wie oben.

Triäthylamin allein, gelöst in Acetonitril, ist unter den angewandten Bedingungen nicht in der Lage, Hexafluorpropen zu oligomerisieren, auch nicht in Anwesenheit von F^\ominus .

3) Fluorierung von Dimeren des Hexafluorpropens

Die Addition von elementarem, unverdünntem Fluor gelingt bei $-78^\circ C$ an beide isomeren Formen der Hexafluorpropen-Dimeren **2** und **3** quantitativ und führt in 98proz. Ausbeute zum Perfluor(2-methylpentan) (**6**) gemäß folgender Gleichung:

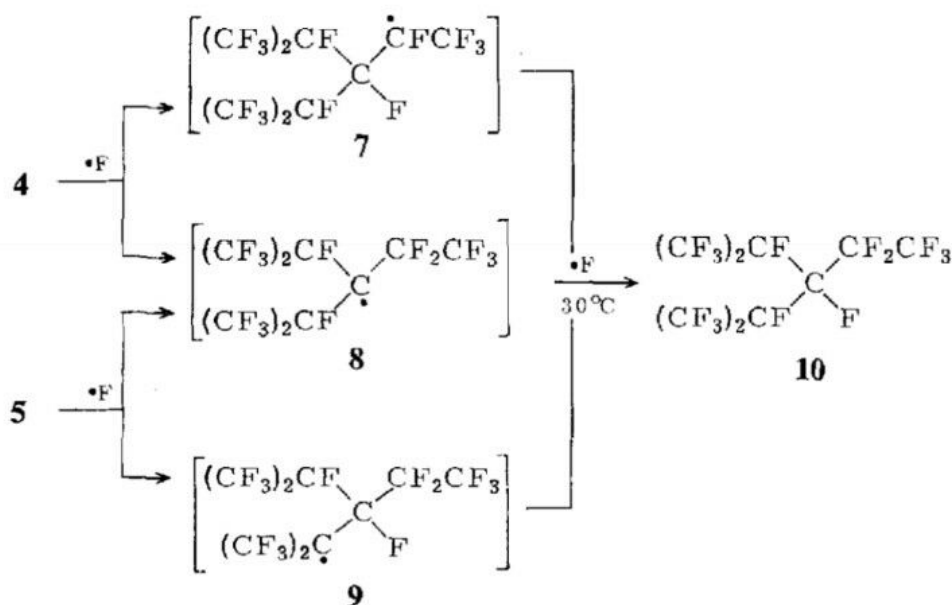


Die glatt ablaufende Addition zum einheitlichen Perfluorohexan **6** ist neben den ^{19}F -NMR-Spektren von **2** und **3** ein weiterer Hinweis darauf, daß sich die Perfluorhexene nur durch die Lage ihrer Doppelbindungen unterscheiden. Die Bildung von Fragmenten liegt unter 1%, und Dimerisierungsprodukte sind bei den angewandten Reaktionsbedingungen nicht zu beobachten. Schon bei $0^\circ C$ kann das vorgelegte Dimerengemisch allerdings unter Flammerscheinung mit Fluor reagieren, auch

wenn dieses mit Stickstoff verdünnt ist. Dabei entstehen Perfluoralkane wie C_2F_6 und C_3F_8 sowie teerartige Rückstände. Eine $C=C$ -Spaltung wird bei tiefen Temperaturen durch die desaktivierenden CF_3 -Gruppen offensichtlich verhindert.

4) Fluorierung von Trimeren des Hexafluorpropens bei $30^\circ C$

Behandelt man das Gemisch der Hexafluorpropen-Trimeren **4** und **5** mit elementarem Fluor bei $30^\circ C$ in der Weise, daß entweder F_2 über die vorgelegten Olefine strömt (Bedingungen ähnlich denen bei¹³⁾) oder daß F_2 durch ein normales Gasleitungsrohr eingeleitet wird, so betragen die Ausbeuten am gewünschten Perfluoralkan **10** nur 5–25%. In der Dampfphase bilden sich während des Fluorierungsschrittes durch Fragmentierung des Kohlenstoffgerüsts überwiegend Perfluoroctane, Perfluorheptane sowie deren niedermolekulare Homologe C_2F_6 , C_3F_8 und C_4F_{10} in wechselnden Ausbeuten. Unser Verfahren zur Herstellung von Perfluor(3-isopropyl-2-methylpentan) (**10**) basiert auf der Elementarfluorierung in flüssiger Phase gemäß



Die radikalische Addition eines Fluoratoms an die Fluorolefine **4** bzw. **5** führt zu den drei möglichen Radikalen **7**, **8** oder **9** und ergibt nach einem zweiten Additionsschritt das Perfluoralkan **10**, das zu über 95% entsteht. An Molekülmodellen ist zu erkennen, wie räumlich beengt die mit Isopropyl- bzw. Äthylgruppen verbundenen C-Atome in **4** und **5** sind. Deshalb ist zu erwarten, daß im ersten radikalischen Angriff die jeweils äußeren, freier zugänglichen C-Atome fluoriert werden. Somit ist der Bildung des Radikals **8** vor der von **7** und **9** ein größeres Gewicht zuzumessen. Aus dem obigen Formelschema geht außerdem eine statistische Begünstigung der Entstehung von **8** hervor (vgl. auch folgenden Abschnitt 5).

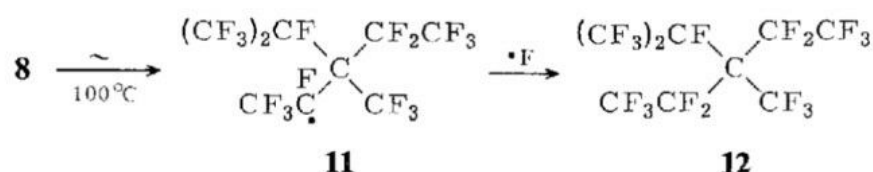
Für den Erfolg der Reaktion ist sehr wesentlich, das elementare Fluor sehr fein verteilt, z. B. durch eine Glasfritte einzuleiten. Um das Ausmaß einer unerwünschten Dampfphasenfluorierung möglichst klein zu halten, wird einerseits der oberhalb der Flüssigkeit bestehende Gasraum möglichst klein bemessen, andererseits wird das Fluor zumindest zu Beginn in dem Maße eingegast, wie es in der flüssigen Phase umgesetzt wird. Von einer mechanischen Durchmischung der Olefine kann abgesehen werden. Unter den genannten Bedingungen und der Voraussetzung, daß ein gleich-

mäßiges Perlen des Gastroms gewährleistet bleibt, ist die Fluormenge, die pro Zeiteinheit zugegeben wird, unkritisch. Sie beträgt bei unseren Versuchen je nach vorgelegter Schichthöhe der Trimeren 0,5–5,0 Liter/h Fluor.

Die eingesetzten Hexafluorpropen-Trimeren **4** und **5** können sowohl in reiner Form als auch zweckmäßigerweise als Isomerengemisch fluoriert werden. Die günstigsten Reaktionstemperaturen liegen zwischen 20 und 60°C. Das nahezu abwasser- und abgasfreie Verfahren kann drucklos und kontinuierlich gefahren werden.

5) Fluorierung der Trimeren des Hexafluorpropens bei 100°C

Bei der Elementarfluorierung der Hexafluorpropen-Trimeren bei 100°C, sonst unter den gleichen Bedingungen wie im Abschnitt 4 angegeben, bildet sich normales Additionsprodukt **10** nur zu 2–5%. Neben Fragmenten, jedoch ohne jede Bildung teerartiger Produkte, entsteht zu über 50% als weiteres neues C₉F₂₀-Isomeres Perfluor(3-äthyl-2,3-dimethylpentan) (**12**), dessen Bildung sich durch folgenden möglichen Reaktionsweg erklären läßt:



Radikal **8** isomerisiert sich unter intramolekularer Wanderung einer Trifluormethyl-Gruppe zum Radikal **11**, aus dem durch eine weitere Anlagerung eines Fluoratoms das strukturell einheitliche Perfluornonan **12** entsteht. Perfluornonan der Struktur **10** (vgl. Abschnitt 4) bleibt bei Behandlung mit Fluor bei 100°C erwartungsgemäß unverändert, so daß bei der Entstehung von **12** ein stufenweiser, wie oben formulierter Reaktionsweg wahrscheinlich ist.

Die beiden neuen und auf einfachem Wege zugänglichen Isomeren von C₉F₂₀, deren Strukturen durch Infrarot- und kernmagnetische Resonanz-Spektren gesichert sind, stellen auf Grund ihrer thermischen und chemischen Stabilität sowie ihrer elektrischen Eigenschaften wertvolle Produkte mit zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten dar. Sie unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften charakteristisch von ihrem einfachsten Isomeren, dem n-Perfluornonan²⁰⁾. Zum Beispiel liegen die gefundenen Siedepunkte und Dichten erwartungsgemäß um so höher, je enger das Kohlenstoff-Gerüst strukturiert ist:

Perfluornonane	d_4^{20}	Sdp./760 Torr
n-C ₉ F ₂₀ ²⁰⁾	1.810	125.3°C
C ₉ F ₂₀ (10)	1.919	127–127.5°C
C ₉ F ₂₀ (12)	1.963	135–136°C

Für die Aufnahme und Diskussion der NMR-Spektren danken die Autoren den Herren Dr. Ch. Schumann und Dr. F. Cavagna sowie für die Durchführung der gaschromatographischen Untersuchungen den Herren E. Heil und H.-W. Zahorszky, Farbwerke Hoechst AG.

²⁰⁾ R. N. Haszeldine und F. Smith, J. Chem. Soc. **1951**, 603.

Experimenteller Teil

Die NMR-Spektren wurden mit einem Varian HA 100, die IR-Spektren mit einem Perkin-Elmer-Gitterspektrometer 457 aufgenommen.

1. *Tris-[2-(2H-hexafluorpropoxy)äthyl]amin (1)*: In einem Rührkolben mit Thermometer Gaseinleitungsrohr und einem Kühler, der auf etwa 20°C gehalten wird, werden 75 g Triäthanolamin (0.50 mol) in 500 ml Acetonitril mit 100 ml Triäthylamin versetzt. Bei 0°C wird Hexafluorpropen in dem Maße eingeleitet, wie es verbraucht wird, und zwar solange, bis im IR die OH-Bande ausbleibt. Dann wird in 500 ml Eiswasser gegossen, die organ. Phase abgetrennt, zweimal mit 500 ml Wasser gewaschen und mit Natriumsulfat getrocknet. Ausb. 260 g (86%). Zur weiteren Reinigung wird auf neutralem Kieselgel (0.05–0.2 mm, Woelm) mit Essigsäure-äthylester/Petroläther (Sdp. 75–100°C) (1:1) chromatographiert. Ausb. 200 g (66%), Sdp. 118–130°C/0.6–0.9 Torr (Zers.).

$C_{15}H_{15}F_{18}NO$ (599.3) Ber. C 30.0 H 2.5 F 57.0 N 2.3

Gef. C 30.3 H 2.5 F 54.4 N 2.8

Mol.-Masse 586 (osmometr. in Benzol)

1H -NMR ($CDCl_3$): $\tau = 5.27$ (doppeltes Pseudosextett, $J_{CHF} = 43$ Hz, CHF), 6.54 (dt, CH_2CH_2).

2. *Hexafluorpropen-Dimere: Perfluor(4-methyl-trans-2-penten) (2) und Perfluor(2-methyl-2-penten) (3)*: In einem 2-Liter-Dreihalskolben, versehen mit Rührer, Thermometer, Intensivkühler (–78°C), Gaseinleitungsrohr und Ablaufstutzen, werden 200 g durch Säulenchromatographie gereinigtes **1** (0.33 mol) in 400 ml trockenem Acetonitril gelöst und Hexafluorpropen eingeleitet. Bis zum Beginn der Abscheidung des Oligomerisats müssen ca. 70–100 g des Fluorolefins zugegeben werden. Die Kolbentemp. steigt auf 28–32°C an. Die Dosierung erfolgt so, daß der sich einstellende Rückfluß die Lösung nicht unter +26°C abkühlt. Das abgetrennte Oligomerisat wird mit Acetonitril geschüttelt, um von gelöstem **1** zu befreien. Letzteres kann nach Entfernung des Lösungsmittels der Reaktionsmischung wieder zugeführt werden. Es können 80 g/h Oligomerisat erhalten werden. Die Aufarbeitung erfolgt destillativ, Sdp. 46–48.5°C. GC-Analyse des Gesamtoligomerisats (5.2 m 10% DC-LSX-3-0295 auf Chromosorb W-AW DMCS 80–100 Mesh, 40°C isotherm, 60 ml He/min):

Hexafluorpropen	0.7%	(Flächen-%)
Dim. Hexafluorpropen	90.6%	
Trim. Hexafluorpropen	8.3%	
Sonstige	0.5%	

Die Auftrennung des Dimerenanteils gelingt auf einer 6 m Porasil® D-Säule mit 5% Oxidopropionitril bei 0°C. Anteil an **2** = 96.0%, an **3** = 3.9%.

C_6F_{12} -Dimerengemisch (300.1) Ber. C 24.0 F 76.0

Gef. C 23.7 F 75.3 Mol.-Masse 300 (massenspektrometr.)

^{19}F -NMR (25 Vol.-% $CFCl_3$, als int. Standard bei 30°C): $F_3C-CF-CF-CF(CF_3)_2$
 $\delta = 69.5$ (a), 75.5 (b), 158 (c), 161 (d), 190 (e) ppm; $J_{cd} = 135$, $J_{de} = 20.5$ Hz.

3. *Hexafluorpropen-Trimere: Perfluor(3-isopropyl-4-methyl-2-penten) (4) und Perfluor(3-isopropyl-2-methyl-2-penten) (5)*: In einen wie unter 2. ausgestatteten Dreihalskolben werden 149 g Triäthanolamin (1.0 mol) und 200 g trockenes Triäthylamin, gelöst in 800 ml Acetonitril, vorgelegt. Unter intensivem Rühren wird Hexafluorpropen mit einer Geschwindigkeit eingeleitet, bei der es sofort absorbiert wird (ca. 200 g/h). Die Temp. steigt dabei auf 45–50°C an. Nach dem Einleiten von ca. 600 g des Fluorolefins setzt das Abscheiden der Oligomerenphase ein. Man reguliert den Gasstrom so, daß sich ein schwacher Rückfluß von

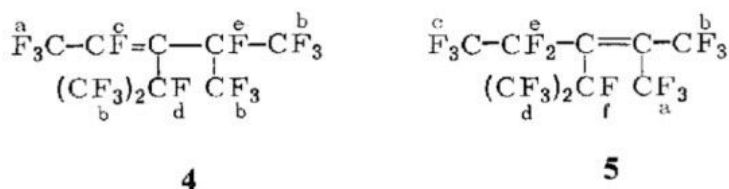
Hexafluorpropen ausbildet. Das sich abscheidende Oligomerisat wird von Zeit zu Zeit abgetrennt. Bei einer Temp. von 48°C können 425 g/h an Oligomerisat gebildet werden, welches wie unter 2. weiterbehandelt wird. Sdp. der Trimerenfraktion: 110–115°C. GC-Analyse des Gesamtoligomerisats (5.2 m 10% DC-LSX-3-0295 auf Chromosorb W-AW DMCS 80–100 Mesh, 40°C isotherm, 60 ml He/min):

Hexafluorpropen	1.4%	(Flächen-%)
Dim. Hexafluorpropen	0.6%	
Trim. Hexafluorpropen	92.6%	
Sonstige	5.6%	

Die Trimerenfraktion setzt sich aus 29.7% **4** und 65.9% **5** zusammen.

5 läßt sich als einheitliche Fraktion mit Sdp. 114.8°C destillativ abtrennen. Die Reindarstellung von **4** gelingt gaschromatographisch unter den oben angegebenen Bedingungen.

C ₉ F ₁₈ (Sdp. 110–115°C) (450.1)	Ber. C 24.0 F 76.0
	Gef. C 23.8 F 76.1
	Mol.-Masse 450 (massenspektrometr.)



¹⁹F-NMR von **4** (Meßbedingungen wie bei **2**): δ = 63.5 (a), 73 (b), 79 (c), 169 (d), 172 (e) ppm; J_{ad} = 50 Hz.

¹⁹F-NMR von **5** (Meßbedingungen wie bei **2**): δ = 57 (a), 59 (b), 70.5 (c), 71.5 (d), 88 (e) 160 (f) ppm; J_{af} = 50 Hz.

4. *Perfluor(2-methylpentan)* (**6**): Die Apparatur zur Elementarfluorierung von **2** und **3** besteht aus zwei hintereinandergeschalteten, getrockneten und mit Stickstoff gespülten Duran-Glasfallen. In der ersten, 300 ml fassenden Falle A — ausgestattet mit einem Innenthermometer und einem bis zum Boden der Falle reichenden und mit einer Glasfritte (Größe G 1) endenden Gaseinleitungsrohr — werden 150 g (0.5 mol) Hexafluorpropen-Dimere (Isomerenverhältnis von **2**:**3** wie 95.0:4.2%) vorgelegt. Falle A wird von außen sorgfältig mit einem CO₂/CCl₃F-Gemisch auf –78°C gebracht. Die sich anschließende Falle B — ebenfalls mit einer Glasfritte versehen — ist mit Hexafluorpropen-Trimeren gefüllt und dient zur Absorption des überschüss. Fluors bei 30°C (Abgasreinigung unter Reaktionsbedingungen wie unter 5). Der Ausgang von Falle B wird von einem N₂-Strom gespült.

Elementares Fluor wird einer handelsüblichen Stahlflasche entnommen, mit einem zuvor geeichten Differenzdruck-Strömungsmesser gemessen und in die Falle A eingeleitet. Vor dem Strömungsmesser sowie zwischen den Fallen A und B ist je ein Steigrohr-Sicherheitsmanometer zur Beobachtung des sich einstellenden Staudrucks angebracht. Die Meßgeräte sind mit Voltaef[®]-Öl, 10 S, gefüllt; die Schließverbindungen werden mit Voltaef[®], Graisse 90, gedichtet (Fa. Uguine Kuhlmann).

Im Laufe von 21 h werden bei einer Rate von 0.7 Liter/h insgesamt 0.66 mol Fluor eingegast. Eine Stickstoffverdünnung des Fluorstroms wird nicht vorgenommen, da keinen Vorteil bringend. Der Inhalt von Falle A hat um 19 g zugenommen. Die GC-Analyse (5.0 m 10% Hexafluorpropenepoxidpolymere auf Chromosorb W-AW DMCS 80–100 Mesh, 80°C isotherm, 60 ml He/min) ergibt für das Rohprodukt folgende Zusammensetzung:

C ₆ F ₁₄ (6)	99.0%	(Flächen-%)
C ₆ F ₁₂ (2) + (3)	0.1%	
Sonstige	0.8%	

Bei der Destillation erhält man mit scharfem Sdp. 57.0–57.5°C/750 Torr (Lit.²¹) 57 bis 65°C) 165 g (0.49 mol) **6** (98%, bez. auf umgesetzte Hexafluorpropen-Dimere, mit 99proz. Reinheit eingesetzt).

C_6F_{14} (338.1) Ber. C 21.32 F 78.68
Gef. C 21.8 F 78.2 Mol.-Masse 319 (M – F, massenspektroskopisch)

^{19}F -NMR (Meßbedingungen wie bei **2**): $F_3C-CF_2-CF_2-CF(CF_3)_2$ δ – 72.3 (a), 81 (b), 115 (c), 125 (d) und 185.5 (e) ppm (Verhältnis 6:3:2:2:1) (Lit.²²) entsprechend 71.4, 80.3, 114.2, 123.9 und 184.4 ppm).

5. *Perfluor(3-isopropyl-2-methylpentan)* (**10**): Die Fluorierung der Hexafluorpropen-Trimere wird in der unter 4. beschriebenen Versuchsanordnung durchgeführt, die um eine mit CO_2 gekühlte Falle C zwischen den Fallen A und B erweitert wird. Falle A wird mit einem Wasserbad temperiert. Bei 30°C werden in Falle A 450 g (1.0 mol) Hexafluorpropen-Trimere (Isomerenverhältnis von **4**:**5** wie 29.7:65.9%) mit einer Schichthöhe von 20 cm oberhalb der Glasfritte vorgelegt.

Im Laufe von 45 h werden bei einer Rate von 0.7 Liter/h insgesamt 1.4 mol Fluor eingeleitet. Die Innentemp. in Falle A steigt dabei zeitweilig auf 34–36°C an. Nach dem Einleiten beträgt die Gewichtszunahme des Falleninhalts A 26 g; in Falle C sind 8 g kondensiert, überwiegend bestehend aus tiefsiedenden Verbindungen der Formel C_nF_{2n+n} mit $n < 9$.

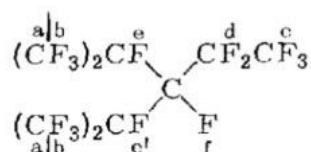
Die GC-Analyse (Meßbedingungen wie bei **6**) zeigt für das Rohprodukt der Falle A folgende Zusammensetzung:

C_9F_{20} (10)	94.3%	(Flächen-%)
C_9F_{18} (4 + 5)	1.8%	
Sonstige	3.8%	

Die frakt. Destillation über eine 30 cm lange Vigreux-Kolonne ergibt beim Sdp. 127 bis 127.5°C/760 Torr eine Fraktion von 444 g (0.91 mol) **10** (96%, bez. auf umgesetzte Hexafluorpropen-Trimere, mit 96proz. Reinheit eingesetzt).

C_9F_{20} (488.1) Ber. C 22.15 F 77.85
Gef. C 22.2 F 77.1 Mol.-Masse 469 (M – F, massenspektroskopisch)

IR (KBr)^{23,24}: 1318 sh, 1283 ss, 1260 ss, 1252 ss, 1229 s, 1212 s, 1188 s, 1155 s und 1128 w (alle CF_2 bzw. CF_3); 1100 m und 1087 m (Skelett $(CF_3)_2CF-C$); 977 s, 852 sh, 844 m (alle C–C); 745 s und 729 cm^{-1} s (Skelett $CF-CF_3$). – ^{19}F -NMR (Meßbedingungen wie bei **2**):



δ ■ 67.5 (a), 70 (b), 78 (c), 108 (d), 167 (e + e') und 170 (f) ppm

(Verhältnis 6:6:3:2:2:1); $J_{ef} = J_{oe} = J_{ce'f} = 21.3$ Hz.

6. *Perfluor(3-äthyl-2,3-dimethylpentan)* (**12**): In der mit einer äußeren Wasserkühlung für das Oberteil und einem Heizölbad für das Unterteil der Falle A ausgestatteten, sonst gleichen Versuchsanordnung wie unter 5. beschrieben werden bei 104°C 270 g (0.6 mol) Hexafluor-

21) S. J. Lodl und W. A. Scheller, J. Chem. Eng. Data **12**, 485 (1967).

22) S. K. Alley jr. und R. L. Scott, J. Chem. Eng. Data **8**, 117 (1963).

23) D. G. Weiblen in Fluorine Chemistry (Herausg. J. H. Simons), 1. Aufl., Bd. II, S. 449, Academic Press, New York 1954.

24) L. J. Bellamy, The Infrared Spectra of Complex Molecules, 2. Aufl., S. 328, Methuen, London 1958.

propen-Trimere (Isomerenverhältnis wie in 5.) fluoriert. Im Laufe von 21 h werden bei einer Rate von 0.9 Liter/h insgesamt 0.84 mol Fluor eingeleitet. Die Innentemp. in Falle A steigt dabei zeitweilig auf 106–108°C an. Nach dem Einleiten stellt man in Falle A eine Gewichtsabnahme von 17.5 g fest; in Falle C sind 36 g Kondensat vorhanden, überwiegend bestehend aus tiefsiedenden Verbindungen. Die GC-Analyse (Meßbedingungen wie bei 6) ergibt für das Rohprodukt in Falle A folgende Zusammensetzung:

C ₉ F ₂₀ (12)	57.3%	(Flächen-%)
C ₉ F ₂₀ (10)	2.5%	
C ₉ F ₁₈ (4 + 5)	8.0%	
Sonstige	32.2%	

Bei der frakt. Destillation über eine 30 cm lange Vigreux-Kolonnen erhält man beim Sdp. 135–136°C/755 Torr eine Fraktion von 109.5 g (0.22 mol) **12** (42%, bez. auf umgesetzte Hexafluorpropen-Trimere, mit 96proz. Reinheit eingesetzt).

C₉F₂₀ (488.1) Ber. C 22.15 F 77.85

Gef. C 21.7 F 78.2 Mol.-Masse 469 (M – F, massenspektroskopisch)

IR (KBr): 1310 sh, 1279 ss, 1264 ss, 1253 ss, 1239 ss, 1204 s, 1181 s, 1162 s, 1129 w (alle CF₂ bzw. CF₃); 1062 m und 1042 m (Skelett (CF₃)₂CF–C); 978 w, 899 w, 855 sh, 848 m (alle C–C); 738 s und 721 m (Skelett CF–CF₃) cm⁻¹. – ¹⁹F-NMR (Meßbedingungen

wie bei 2): (CF₃)₂CFC(CF₃)(CF₂CF₃)₂. $\delta = 57$ (a), 66 (b), 77.5 (c), 97 (d) und 160 (e) ppm (Verhältnis 3:6:6:4:1). Das Signal für die CF-Gruppe zeigt eine schwache Aufspaltung⁶).

[147/73]

- Hermann-Josef Frohn and Vadim V. Bardin, Explored routes to unknown polyfluoroorganoyliodine hexafluorides, RFIF₆, *Journal of Fluorine Chemistry*, **131**, 10,(1000), (2010).
[Crossref](#)

- B. E. Smart, Fluorocarbons, Halides, Pseudo-Halides and Azides (1983), (603-655), (2010).
[Wiley Online Library](#)

- Alberto Zompatori and V Tortelli, Thermal isomerization of trifluoromethyl trifluorovinyl ether to pentafluoropropionyl fluoride, *Journal of Fluorine Chemistry*, **125**, 2,(199), (2004).
[Crossref](#)

- M. Rothe, Physical Data of Oligomers, The Wiley Database of Polymer Properties, (2003).
[Wiley Online Library](#)

- S.R. Allayarov, I.M. Barkalov and I.P. Kim, Reactivity of fluorocarbon radicals in the low-temperature fluorination of unsaturated perfluorocarbons, *Journal of Fluorine Chemistry*, **96**, 1, (57), (1999).
[Crossref](#)

- E. A. Avetisyan, V. F. Cherstkov, B. L. Tumanskii and S. R. Sterlin, Synthesis and studies of nucleophilic reactions of vicinal bis (fluorosulfonyloxy)perfluoroisononanes, *Russian Chemical Bulletin*, 10.1007/BF02641548, **47**, 12, (2429-2433), (1998).
[Crossref](#)

- Carlo Corvaja, Francesca Cremonese, Walter Navarrini, Claudio Tonelli and Vito Tortelli, The addition of trifluoromethylhypofluorite to hexafluoropropene dimers, *Tetrahedron Letters*, **36**, 20, (3543), (1995).
[Crossref](#)

- Claudio Tonelli and Vito Tortelli, Pyrolysis of branched-chain perfluoroalkanes in the presence of halogens, *Journal of Fluorine Chemistry*, **67**, 2, (125), (1994).
[Crossref](#)

- V. Tortelli, C. Tonelli and C. Corvaja, Thermal decomposition of branched-chain perfluoroalkanes, *Journal of Fluorine Chemistry*, **60**, 2-3, (165), (1993).
[Crossref](#)

- S. R. Allayarov, I. M. Barkalov, L. M. Ivanovo and I. P. Kim, Low-temperature addition of molecular fluorine to unsaturated perfluorohydrocarbons, *Russian Chemical Bulletin*, 10.1007/BF00697069, **42**, 2, (247-250), (1993).
[Crossref](#)

- Sadulla R. Allayarov, Igor M. Barkalov and Ida P. Kim, Low-temperature Fluorination of Perfluoro-2,4-dimethyl-3-ethylpent-2-ene, *Mendeleev Communications*, **2**, 4, (139), (1992).
[Crossref](#)

- D. A. Gordon, S. R. Allayarov, S. I. Kuzina, I. M. Barkalov and A. I. Mikhailov, Optical spectroscopic study of long-lived radicals formed in radiolysis and fluorination of the trimer of hexafluoropropylene, *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR Division of Chemical Science*, 10.1007/BF00962099, **38**, 10, (2021-2025), (1989).
[Crossref](#)

- A. Probst, K. Raab, K. Ulm and K. von Werner, Synthesis and chemistry of perfluoro-2-iodo-2-methylalkanes, *Journal of Fluorine Chemistry*, **37**, 2, (223), (1987).

[Crossref](#)

- I.M. Dahl, O.H. Ellestad and B. Karlsen, Chemisorption of hexafluoropropene on activated aerosil, *Applied Surface Science*, **28**, 3, (302), (1987).

[Crossref](#)

- O.H. Ellestad and B. Karlsen, Chemical reactions of perfluoro-1-heptene, on the surface of aerosil, *Applied Surface Science*, **26**, 1, (93), (1986).

[Crossref](#)

- Yaozeng Huang, Jisen Li, Jiangiang Zhou, Zhongmu Zhu and Guoyu Hou, π -Bis(benzene)chromium(0)-catalyzed oligomerization of perfluoropropylene, *Journal of Organometallic Chemistry*, **205**, 2, (185), (1981).

[Crossref](#)

- Kirby V. Scherer and Tobia F. Terranova, Perfluoro-3,3-dimethyl-2(E)-pentene by fluoride ion catalyzed addition of octafluoroisobutene to hexafluoropropene, *Journal of Fluorine Chemistry*, **13**, 1, (89), (1979).

[Crossref](#)

- Masamichi Maruta and Nobuo Ishikawa, Mode of the nucleophilic reaction of -2,4-dimethyl-3-heptene and phenol, *Journal of Fluorine Chemistry*, **13**, 5, (421), (1979).

[Crossref](#)

- Wojciech Dmowski, William T. Flowers and Robert N. Haszeldine, The use of crown ethers in the synthesis of hexafluoropropene and tetrafluoroethylene oligomers, *Journal of Fluorine Chemistry*, **9**, 1, (94), (1977).

[Crossref](#)

- K.N. Makarov, L.L. Gervits, Yu.A. Cheburkov, I.L. Knunyants and V.P. Sass, Hexafluoropropene trimer. Synthesis and properties of functional derivatives, *Journal of Fluorine Chemistry*, **10**, 4, (323), (1977).

[Crossref](#)

- K.N. Makarov, L.L. Gervits and I.L. Knunyants, Perfluoro-[bis(methyl)propyl]methylcarbanion - a new stable perfluorocarbanion, *Journal of Fluorine Chemistry*, **10**, 2, (157), (1977).

[Crossref](#)

- Shozo Yanagida, Yukihiko Noji and Mitsuo Okahara, Reactions of hexafluoropropene oligomers with carboxylate anions, *Tetrahedron Letters*, **18**, 27, (2337), (1977).

[Crossref](#)

- Thomas Martini and Christian Schumann, Über die umsetzung von hexafluorpropen und perfluor-2-methyl-2-penten mit wasser, *Journal of Fluorine Chemistry*, **8**, 6, (535), (1976).

[Crossref](#)

- F Cavagna and C Schumann, Non-bond F-F nuclear spin couplings II. Hexafluoropropene trimers, *Journal of Magnetic Resonance (1969)*, **22**, 2, (333), (1976).

[Crossref](#)

-
- C Schumann and F Cavagna, Non-bond F-F nuclear spin couplings. I. hexafluoropropene dimers, *Journal of Magnetic Resonance* (1969), **18**, 1, (172), (1975).

[Crossref](#)

- Thomas Martini and Sigmar P.v. Halasz, Isomerisierung von dimeren und trimeren des hexafluorpropens darstellung und reaktionen eines tetrameren, *Tetrahedron Letters*, **15**, 24, (2129), (1974).

[Crossref](#)

- SIGMAR P. VON HALASZ, FRIEDHELM KLUGE and THOMAS MARTINI, ChemInform Abstract: DARSTELLUNG UND FLUORIERUNG VON OLIGOMEREN DES HEXAFLUORPROPENS, *Chemischer Informationsdienst*, **4**, 45, (2016).

[Wiley Online Library](#)