

PFAS i elektronikindustrien

I dette faktaark beskrives anvendelse af PFAS-forbindelser i elektronikindustrien. Faktaarket omhandler både anvendelse af PFAS under fremstilling af elektronikprodukter og PFAS anvendt i det færdige elektronikprodukt.

En kortlægning af brancher, der har anvendt PFAS i perioden 1983-2016, viser, at elektronikindustrien står for omkring 18% af den samlede indberettede mængde PFAS i de undersøgte år. Totalt er der for alle årene indberettet 24,9 tons PFAS anvendt i elektronikindustrien. Heraf er den største mængde indberettet i 2003 med ca. 19 tons indberettet /4/. I en erfaringsopsamling fra de danske regioner er der påvist sum af 4 PFAS over detektionsgrænsen på 71% af 21 undersøgte lokaliteter /1/.

Produktionen af PFAS-forbindelser startede omkring 1950, men først i slutningen af 1960'erne slog brugen af stofferne rigtigt igennem. Ved reguleringen af PFOS i 2004 er anvendelsen af PFOS og relaterede stoffer udfaset, hvilket tydeligt ses i de indberettede mængder anvendt i elektronikindustrien /4/.

Generelt om elektronikindustrien og brugen af PFAS

PFAS-forbindelser er anvendt i elektronikindustrien, fordi de er vandafvisende, har en lav overfladespænding, ikke er strømførende og har en høj dielektrisk nedbrydningsstyrke, f.eks. i kondensatorer. PFAS anvendes generelt set til overfladebehandling og som loddemidler, binde-midler og i maling eller farve. Forbindelserne anvendes under produktionen af en række forskellige komponenter til elektronik, herunder i produktionen af printplader, PVDF-film i højtalere, transduktorer, telefoner, printere, scannere, satellitkommunikationssystemer, bagsidefolie anvendt til solceller, radarsystemer og mange andre produkter /2/, /4/, /5/, /9/, /11/. Udenfor EU var det i 2015 fortsat tilladt at anvende PFOS i farveprintere og kopimaskiner /2/.

Anvendelsen af PFAS-forbindelser i elektronikindustrien kan deles op i to overordnede grupper /5/:

- 1) PFAS anvendt i fremstillingsprocessen
- 2) PFAS anvendt i selve den elektroniske enhed

Jf. 1) Under fremstilling af elektronikprodukter anvendes bl.a. PFAS-holdige stoffer i proceskemikalier, og de færdige produkter er for hovedparten fri for PFAS, der stammer fra proceskemi-

kalierne. PFAS har mange anvendelser i elektronikindustrien og involveres i mange produktionsprocesser. Det kan både være ved åbne processer (f.eks. lodning, anvendelse af klæbemidler og maling) og ved lukkede processer (bl.a. ætsning, dispersioner, afstrygning og overfladebehandling) /2/, /9/.

Under fremstillingen af elektronik, især halvledere, kan anvendelse af PFAS, især i form af fluorpolymer, hjælpe med /10/:

- Beskyttelse mod ætsningsprocesser af udstyr til fremstilling, som rør, ventiler og pumper
- Kemisk og forureningsmæssig modstandsdygtighed
- Modstandsdygtighed af komponenterne mod slid, stress-revner og gennemskæring
- Opløsningsmidler til rengøring af præcisionskomponenter

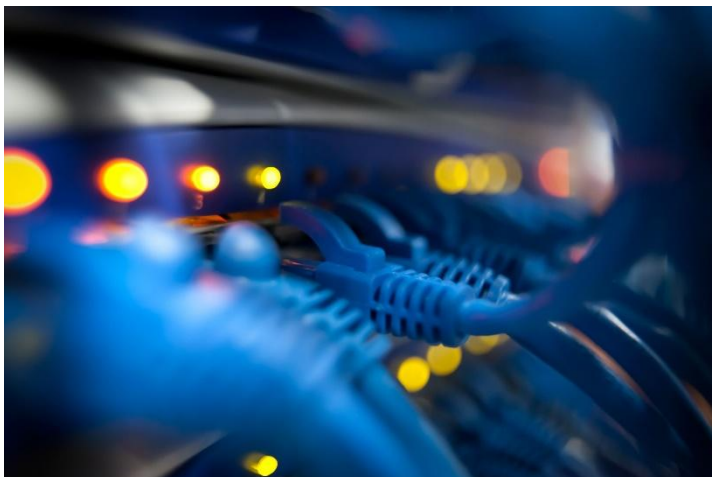
Jf. 2) Ved anvendelse af PFAS-forbindelser i selve den elektroniske enhed kan stofferne bidrage til /10/:

- Modstandsdygtighed mod bl.a. fugt og forurening som en coating af komponenterne
- Gode varmeoverførende egenskaber i halvledere

Mængder og forbrug af PFAS i elektronikindustrien

I årene 1983-2016 har elektronikindustrien indberettet anvendelse af samlet 24,9 tons PFAS-forbindelser, hvoraf størstedelen er anvendt i 2003 med ca. 19 tons indberettet /4/. Ifølge en kortlægning foretaget i 2016 /4/ omfatter hovedafdelingen for den danske elektronikindustri 47 forskellige erhvervsbrancher inden for fremstilling af forskellige elektronikprodukter. Heraf er det branchen elektronikindustri, der står for hovedparten af de anvendte PFAS-forbindelser i Danmark /4/. Det fremgår ikke af /4/, hvad underbranchen elektronikindustri dækker over, men det må formodes at være elektronikbrancher, som ikke er angivet selvstændigt som de øvrige underbrancher under hovedafdelingen elektronikindustri. I perioden 2007-2013 er den indberettede mængde af PFAS relativt lille og stabil med 0,9-1,5 tons indberettet. Det samme er gældende for antallet af indberettede stoffer, hvor der i 2007-2013 er indberettet 25-36 enkeltstoffer. I 2016 er der kun indberettet anvendelse af 230 kg og 16 enkeltstoffer i elektronikindustrien /4/.

Den store mængde, indberettet fra branchen elektronikindustri, skyldes, at der i 2003 er indberettet anvendelse af relativt store mængder af et enkelt stof (CAS nr. 9011-17-0, en fluoreret copolymer), som er indberettet af en enkelt virksomhed. Hvis man ser bort fra den store indberetning af CAS nr. 9011-17-0 i 2003 er der for branchen elektronikindustri samlet indberettet 7,3 tons PFAS i de undersøgte år /4/.



De næstmest indberettende brancher under Hovedafdelingen Elektronikindustri er 'fremstilling af computere, elektroniske og optiske produkter', 'fremstilling af computere og ydre enheder', 'fremstilling af elektriske fordelings- og kontroltavler' og 'fremstilling af andet elektrisk udstyr', der hver har indberettet ca. 0,8-1 tons samlet anvendelse af PFAS-forbindelser i perioden 1983-2016 /4/.

PFAS' egenskaber i elektronik og ved fremstilling af elektronik

PFAS-forbindelser kan indgå i smudsafvisende belægninger for at sikre gennemsigtigheden af en glasoverflade som på smartphones og solceller, fordi fluorerede stoffer er ufarvede. Dermed forstyrres stofferne ikke de optiske egenskaber, som er nødvendige for at en underliggende anti-reflekterende belægning skal kunne fungere /2/.

Ved fremstilling af dele i halvledere og keramiske filtre kan PFOS have været anvendt som et overfladeaktivt middel i ætsnings-processen. I processen blev PFOS tilføjet som en ætsende agent, men blev efterfølgende rensed ud i en vaskebehandling af produktet /9/.

Ved afstrygningsprocesser udglattes overfladen af dele af printplader. Her blev PFOS anvendt som overfladeaktivt middel tilsat afstrygningsagenten og rensed ud i den efterfølgende vaskeproces /9/.

Brug af specifikke PFAS-forbindelser

De to mest indberettede stoffer i elektronikindustrien er to polymerer (CAS nr. 9011-17-0¹ og CAS nr. 69991-67-9²). Af disse to stoffer er den mest anvendte CAS nr. 9011-17-0, og ifølge /4/ kan denne fluorerede copolymer bl.a. benyttes til overtræk på kabler og ledninger. I 2003 er der anvendt 17,3 tons af dette stof. Anvendelsen af stoffet er dog kun indberettet af én virksomhed, og den aktuelle anvendelse i 2003 er ukendt. Det næstmest indberettede stof, CAS nr. 69991-67-9², er anvendt med op til 1,4 tons i 2003. Den indberettede mængde af dette stof har været relativt konstant over tid, og stoffet anvendtes som loddemiddel /4/.

I 2003 er der indberettet anvendelse af 0,04 tons PFOS samt meget små mængder (under 3 kg/år) af fem enkeltstoffer³, der ifølge /4/ er precursorer til PFOS, PFOA og andre perfluoralkyl carboxylsyrer (PFCA'er) /4/.

Test af printplader har vist indhold af 6:2 FTS (CAS nr. 27619-97-2), perfluoroktansulfonamider (FOSA'er, CAS nr. 754-91-6), perfluoroktansulfonsyre (PFOS, CAS nr. 1763-23-1) og perfluorbutansyre (PFBA, CAS nr. 375-22-4) /5/.

Under fremstillingsprocessen af elektronik er der f.eks. anvendt en PFAS med CAS nr. 132182-92-4 (en fluoreret forgrenet alkan) til fremstilling af computer- og elektroniske enheder i USA i perioden 2012-2015 /5/.

I /8/ er 16 forbrugerprodukter testet for indhold af PFAS-forbindelser. Alle materialeprøver af produkter fra gruppen 'rester af elektronik og elektronikudstyr' indeholdt PFOS i størrelsesordenen 0,07-0,43 µg/kg. Desuden indeholdt produkter også andre PFAS'er og PFCA'er i målbare niveauer.

Kilder til forurening med PFAS

Ved fremstilling af elektronikprodukter, hvor der anvendes PFAS-holdige proceskemikalier, som renses af produktet i den efterfølgende vaskeproces, må det formodes, at der kan ske spild eller udvaskning med PFAS-holdigt vaskevand. Desuden vil der ved skrotning af PFAS-holdige elektronikprodukter være risiko for udvaskning af PFAS fra elektronikken til miljøet.

Potentielle forureningskilder til PFAS ses i skemaet herunder.

¹ 1,1-Difluorethen/Hexafluorpropen Polymer (copolymer)

² Propene, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoro-, Oxidized, Polymid

³ CAS nr. 143372-54-7, 4151-50-2, 3825-26-1, 53515-73-4 og 24448-09-7

Hvor på virksomheden (forureningskilde)	Årsag til forurening
Opbevaring, håndtering af hjælpestoffer og kemikalier mv. med indhold af PFAS	Spild, lækage, udvaskning
Områder, hvor der har foregået overfladebehandling med PFAS og efterfølgende vask af produktet	Spild, udvaskning
Kloaksystemer og gulv afløb	Lækage, udvaskning
Opbevaring af tømte emballage indeholdende PFAS-holdige produkter før bortskaffelse	Spild, udvaskning

PFAS' skæbne i miljøet er vist i skemaet herunder.

Hvor ender stofferne	Hvad sker der med stofferne
Spredes til spildevand og bundfældes i spildevandsslam samt udledes i rensed spildevand til overfladevand.	Nogle PFAS-forbindelser er precursorer, som kan omdannes (delvist nedbrydes) til andre persistente PFAS-forbindelser. PFAS-forbindelser kan dog ikke nedbrydes fuldstændigt i naturen
Spredes til eller spildes på jorden og udvaskes herfra til grundvand og overfladevand	

Særlige forhold at være opmærksom på

Mange af de PFAS-forbindelser, som er nævnt i litteraturkilderne /2/, /3/, /4/ og /5/, er ikke omfattet af Miljøstyrelsens kvalitetskriterier for 22 PFAS-forbindelser i grundvand (juli 2021) og heller ikke i udvidede analysepakker for PFAS-forbindelser i jord eller grundvand, se også bilag 1. Oversigt over de 22 PFAS-forbindelser, der findes kriterier for, ses i tabellen nedenfor. Det skal noteres, at der med undtagelse af 6:2 FTS og PFOSA er tale om en række PFSA'er og PFCA'er med kulstofkæder fra C4 til C13, dvs. persistente PFAS-forbindelser.

22 PFAS-forbindelser omfattet af Miljøstyrelsens kvalitetskriterier (juli 2021)
PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS, PFTTrDS, PFOSA, 6:2FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA

Blandt de 22 PFAS-forbindelser er der desuden et særligt lavt kvalitetskriterium for sum af de 4 PFAS-stoffer PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS.

Der henvises til håndbog om undersøgelse og afværgelse af forurening med PFAS-forbindelser /6/ for opslag om forkortelser og stofnavne samt andre oplysninger om PFAS-forbindelser.

Ved undersøgelser af virksomheder, hvor flere af de anvendte stoffer ikke er en del af de 22 PFAS-forbindelser, der er omfattet af Miljøstyrelsens kvalitetskriterier, bør andre analysemetoder overvejes ved en evt. undersøgelse, jf. /6/.

Litteratur

- /1/ Oplyst i mail fra Danske Regioner 1. oktober 2021 ang. erfaringsopsamling udført i forbindelse med udarbejdelse af notat: Regionernes indsats over for PFAS-relateret jordforurening 2014-2021. Udarbejdet af Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer.
- /2/ Kemikalieinspektionen: Förekomst och användning av högfluorerade ämnen och alternativ. Rapport 6/15 2015.
- /3/ Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS- forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder. Af Tsitonaki, K., Jepsen, T.S. & Larsen, T.H. Miljøprojekt nr. 1600, 2014.
- /4/ Miljø- og Fødevarerministeriet. Kortlægning af brancher der anvender PFAS. Af Nicolajsen, E.S. & Tsitonaki, K. Miljøprojekt nr. 1905, november 2016.
- /5/ Electronic Supplementary Material for Environmental Science: Processes & Impacts. Royal Society of Chemistry. An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Af Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I.T., DeWitt, J.C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C.A., Trier, X., & Wang, Z. Environmental Science. 2020. <https://doi.org/10.1039/DOEM00291G>.
- /6/ Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer. Håndbogen om undersøgelse og afværgelse af forurening med PFAS-forbindelser. Teknik og Administration nr. 2, 2018
- /7/ SPIN - Substances in Preparations in Nordic Countries. 2020. <http://www.spin2000.net/spinmyphp/>. Senest besøgt 14/02 2022.
- /8/ Screening for perfluoroalkylacids in consumer products, building materials and wastes. Af Bečanová, J, Melymuk, L., Vojta, S., Komprdová, K. og Klánová, J. Chemosphere. 164, 322-329. 2016
- /9/ Per- and polyfluorinated substances in the Nordic Countries. Use, occurrence and toxicology. Norden. ISBN 978-92-893-2562-2. 2013.
- /10/ 3M News Center: PFAS in Electronics Industry. Udgivet januar 2019. <https://news.3m.com/PFAS-in-the-Electronics-Industry>. Besøgt 10-06 2022.
- /11/ Ingeniøren. Advarsel: Solcelle-bagsider vil ophobe sig – kan hverken genanvendes eller brændes. Udgivet august 2021. <https://ing.dk/artikel/advarsel-solcelle-bagsider-vil-ophobe-sig-kan-hverken-genanvendes-eller-braendes-249084>

PFAS-forbindelser der kan findes i relation til elektronikindustrien

For forbindelser der ifølge /7/ har været anvendt i Danmark, er der efter CAS nummeret angivet årstal for seneste indberetning i parentes.

* Cas nr. med **rød** markering er omfattet af Miljøstyrelsens kvalitetskriterier

Stofnavn	CAS nr. (årstal for sidste anvendelse i DK)	Produkt/proces	Kilde
Ammoniumperfluorooctanoat (APFO)	3825-26-1 (2019)	Er en salte af PFOA -Precursor til PFOA	/4/
6:2 FTS	27619-97-2 (2020)	Printplader	/5/
Perfluorooctane sulfonamide	754-91-6		/5/
PFOS	1763-23-1		/5/
Perfluorobutanoic acid	375-22-4		/5/
PTFE	9002-84-0 (2020)		/5/
Ethene, 1,1,2,2-tetrafluoro-,polymer with 1,1'-oxybis[ethene]	102646-47-9		/5/
(n:2) Fluorotelomer sulfonic acid (FTSA)	27619-97-2 (2020)	Fremstilling af elektrisk udstyr, apparater og komponenter	/5/
Potassium perfluoroalkane sulfonate	2795-39-3 (2016)		/5/
Diethanolammonium perfluoroalkane sulfonate	70225-14-8 (2006)		/5/
1H-Perfluoroalkane	354-33-6 (2020)		/5/
Pentane, 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-	138495-42-8 (2020)		/5/
Methyl perfluorobutyl ether	163702-07-6 (2015)		/5/
Methyl perfluoroisobutyl ether	163702-08-7 (2016)		/5/
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0 (2020)	/5/	
1,1-Difluo-rethen/Hexafluorpropen Polymer	9011-17-0 (2006)	Overtræk til kabler og ledninger, og belægning til rør og tanke	/4/
1-Propene, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoro-, Oxidized, Polymid	69991-67-9 (2020)	Loddemidler	/4/
Ethanaminium, N,N,N-Triethyl-, Salt With 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Heptadecafluoro-1-Octanesulfonic Acid (1:1)	56773-42-3 (2020)	Galvanotekniske produkter overfladeaktive stoffer og produkter	/4/
Alkoholer, C8-14-, .Gamma.-.Omega.-Perfluor- (Ethylenoxid/Propylenoxid Polymer, Diacrylat)	68391-08-2 (2020)	Loddemidler, rengøringsmidler	/4/
/(Ethylenoxid/Propylenoxid Polymer, Monoa-crylat)/1-Octanesulfonamide, N-Butyl-1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Heptadecafluoron-(2-Hydroxyethyl)-, Acrylate (Ester) /2-Propenoic Acid, 2-(Butyl((Pentadecafluorohe	68298-62-4 (2020)	Bl.a. bindemidler, flotationsmidler, glansændrende midler, loddemidler,	/4/

Bilag 1: Liste over PFAS-forbindelser i relation til elektronikindustrien (ikke udtømmende)

Siloxanes and Silicones, (3,3,4, 4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,10-Heptadecafluorodecyl)Oxy Me, Hydroxy Me, Me Octyl, Ethers With Polyethylenegly-col Mono-Met Ether	143372-54-7 (2018)	Overfladeaktive stoffer, potentiel precursor til PFCA	/4/
1-Octanesulfonamide, N-Ethyl-1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Heptadecafluoro-(EtFOSA)	4151-50-2 (2006)	Rengøringsmidler, precursor til PFOS	/4/
Acrylsy-re/2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Pentadecafluoro-octylmethacrylat Polymer	53515-73-4 (2003)	Overfladebehandlingsmidler til ikke-metaller , precursor til PFOA	/4/
1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Heptadecafluoro-N-(2-Hydroxyethyl)-N-Methyl-1-Octanesulfonamid (MeFOSE)	24448-09-7 (2010)	Precursor til PFOS	/4/
Pentane, 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-Linear perfluoroalkanes	138495-42-8 (2020)	Kondensatorer	/5/
Perfluoromethylcycloalkane	355-42-0 (2008)	Flydende imprægnering af kondensatorer	/5/
Perfluoro-1,3-dimethylcycloalkane	1805-22-7 (2008)		/5/
Perfluorotrialkyl amine	355-02-2		/5/
Perfluorotrialkyl amine	335-27-3		/5/
Pentane, 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-3-methoxy-4-(trifluoromethyl)-Methyl perfluoroalkyl ether	311-89-7	Fremstilling af elektronikprodukter	/5/
Methyl perfluoroisobutyl ether	132182-92-4	Funktionelle væsker i et lukket system	/5/
Methyl perfluoroisobutyl ether	375-03-1		/5/
Ethyl perfluorobutyl ether	163702-07-6 (2015)		/5/
Ethyl perfluoroisobutyl ether	163702-08-7 (2016)		/5/
3-Ethoxy-1,1,1,2,3,4,4,5,5,6,6,6-dodecafluoro-2-(trifluoro methyl)hexane	163702-05-4		/5/
Perfluoro compounds, C5-18	163702-06-5		/5/
Perfluoro-2-methyl-3-pentanone	297730-93-9		/5/
Perfluorotrialkyl amine	86508-42-1 (2015)		/5/
Morpholine, 2,2,3,3,5,5,6,6-octafluoro-4-(trifluoromethyl)-Ammonium perfluoroalkane sulfonamidoethanol	756-13-8 (2020)		/5/
Linear perfluoroalkanes	311-89-7		/5/
Perfluoroperhydrofluorene	382-28-5	Overfladeaktive stoffer	/5/
Perfluoropropyl methyl ether	484024-67-1		/5/
Methyl perfluorobutylether	76-16-4 (2020)	Test af elektroniske enheder og udstyr	/5/
Methyl perfluoroisobutyl ether	307-08-4		/5/
Perfluoroisohexane	375-03-1		/5/
Perfluoro-1,3-dimethylcycloalkane	163702-07-6 (2015)		/5/
	163702-08-7 (2016)		/5/
	355-04-4		/5/
	355-27-3	/5/	

Bilag 1: Liste over PFAS-forbindelser i relation til elektronikindustrien (ikke udtømmende)

Perfluoromethyldecalin	306-92-3		/5/
Perfluoroperhydrofluorene	307-08-4		/5/
Perfluorotetradecahydrophenanthrene	306-91-2		/5/
Perfluoromethylcycloalkane	355-02-2		/5/
Perfluoro-1,2-dimethylcycloalkane	306-98-9 (2008)		/5/
Perfluoroperhydrofluoranthene	662-28-2		/5/
Linear perfluoroalkanes	76-19-7 (2008)		/5/
Pentane, 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-	138495-42-8 (2020)		/5/
Methyl perfluorobutyl ether	163702-07-6 (2015)		/5/
Methyl perfluoroisobutyl ether	163702-08-7 (2016)		/5/
Ethyl perfluorobutyl ether	163702-05-4		/5/
Ethyl perfluoroisobutyl ether	163702-06-5		/5/
Perfluoroindane	374-80-1		/5/
Linear perfluoroalkanes	335-57-9		/5/
1H-Perfluoroalkane	355-04-4		/5/
Perfluoro-2-methyl-3-ethylpentane	354-97-2		/5/
Perfluoro-2,4-dimethyl-3-ethylpentane	50285-18-2		/5/
Perfluoromethylcycloalkane	1805-22-7 (2008) 355-02-2	Afkøling af elektronisk udstyr	/5/
Perfluoro-1,2-dimethylcycloalkane	306-98-9 (2008)		/5/
Perfluoro-1,3-dimethylcycloalkane	335-27-3		/5/
Perfluorodecalin	306-94-5 (2008)		/5/
Perfluoromethyldecalin	306-92-3		/5/
Perfluoroperhydrofluorene	307-08-4		/5/
Perfluorotetradecahydrophenanthrene	306-91-2		/5/
Perfluoroperhydrofluoranthene	116265-66-8		/5/
Methyl perfluoroalkyl ether	375-03-1		/5/
Ethyl perfluoroalkyl ether	297730-93-9		/5/
1H-Perfluoroalkane	354-33-6 (2020)		/5/
Ethene, 1,1,2,2-tetrafluoro-, oxidized, polymd., reduced, decarboxylated	161075-02-1		/5/
1-Hexene, 3,3,4,4,5,5,6,6-octafluoro-	159148-08-0		/5/
Pentane, 1,1,1,2,3,4,5,5,5-nonafluoro-2-(trifluoromethyl)-	85720-78-1		/5/
Pentane, 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-	138495-42-8 (2020)	Rengøring af elektronisk udstyr	/5/

Bilag 1: Liste over PFAS-forbindelser i relation til elektronikindustrien (ikke udtømmende)

Methyl perfluoroalkyl ether	22410-44-2 375-03-1 163702-07-6 (2015)		/5/
Methyl perfluoroisobutyl ether	163702-08-7 (2016)		/5/
Ethyl perfluorobutyl ether	163702-05-4		/5/
Ethyl perfluoroisobutyl ether	163702-06-5		/5/
Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-1-(2,2,2-trifluoroethoxy)-	406-78-0		/5/
Linear perfluoroalkanes	76-19-7 (2008)		/5/