

Skyddande ozonskikt

Fördjupad utvärdering
av miljömålen 2023



RAPPORT 7070 | NOVEMBER 2022



Skyddande ozonskikt

Fördjupad utvärdering av miljömålen 2023

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

E-post: natur@cm.se

Postadress: Arkitektkopia AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: www.naturvardsverket.se/publikationer

Naturvårdsverket

Tel: 010-698 10 00

E-post: registrator@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978-91-620-7070-0

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2022

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2022

Omslagsfoto: Lena Granefelt/Johnér



Förord

Sveriges miljömålssystem beslutades av riksdagen år 1999 och har sedan dess varit styrande för det svenska miljöarbetet. Miljömålen följs upp årligen och minst vart fjärde år görs en fördjupad utvärdering av förutsättningarna att nå målen.

Den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2023 är den sjätte i sitt slag och ska fungera som underlag för regeringens politik och prioriteringar, men också till myndigheters och andra aktörers planering och prioritering i deras miljöarbete. Utvärderingen består av en huvudrapport med förslag till regeringen och tillhörande underlagsrapporter.

Rapporten för miljömålet *Skyddande ozonskikt* är ett av underlagen till den samlade slutrapport som Naturvårdsverket redovisar till regeringen i januari 2023. Underlagsrapporten slutfördes under hösten 2022 och bedömningarna baseras på kunskap om befintliga och beslutade styrmedel och åtgärder vid den tidpunkten.

Stockholm, november 2022

Stefan Nyström,
Avdelningschef, klimatavdelningen
Naturvårdsverket

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
1. Nuläget – miljö tillstånd, styrmedel och åtgärder	8
1.1 Miljö tillstånd	8
1.2 Miljöarbete	16
1.3 De centrala problemen för målet	21
2. Gapanalys – analys av förutsättningar och effekter	23
2.1 Aktörer, drivkrafter och beteenden	23
2.2 Centrala styrmedel och åtgärder samt deras effekter på miljö tillståndet	24
2.3 Övrig påverkan	27
2.4 Osäkerheter	28
2.5 Sammanfattande tabell	29
2.6 Sammanfattande gapanalys	30
2.7 Andra aspekter av målet	31
3. Bedömning av måluppfyllelse – når vi miljö kvalitetsmålet?	32
3.1 Bedömning av måluppfyllelse	32
4. Prognos för utveckling – hur långt räcker åtgärdsarbetet?	34
4.1 Utvecklingen av miljö tillståndet till 2030	34
4.2 Utvecklingen av miljö tillståndet på längre sikt, efter 2030	35
5. Behov av styrmedel och åtgärder – vad krävs för att målet ska nås?	37
5.1 Åtgärdsförslag	37

Skyddande ozonskikt

Ozonskiktet ska utvecklas så att det långsiktigt ger skydd mot skadlig UV-strålning.

Regeringen har fastställt två preciseringar:

VÄNDPUNKT OCH ÅTERVÄXT: Vändpunkten för uttunnningen av ozonskiktet har nåtts och början på återväxten observeras.

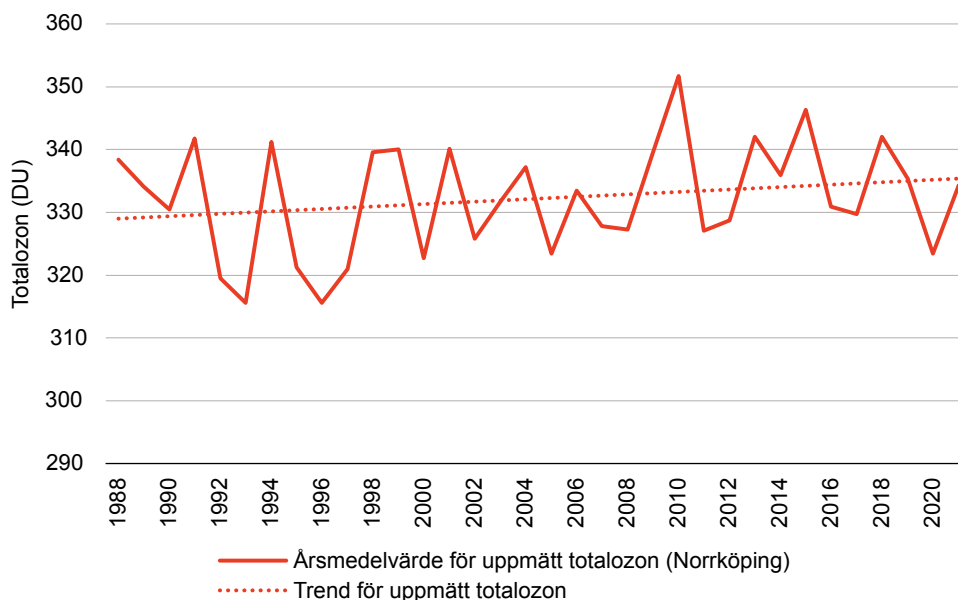
OFARLIGA HALTER OZONNEDBRYTANDE ÄMNEN: Halterna av klor, brom och andra ozonnedbrytande ämnen i de övre luftlagren understiger den nivå där ozonskiktet påverkas negativt.

Sammanfattning

TILLSTÅNDET I MILJÖN

Globalt sett har uttunnningen av ozonskiktet upphört men ozonskiktet är fortfarande två procent tunnare än innan nedbrytningen började. Mätdata indikerar att återväxten kan ha påbörjats samt att utsläppen av flertalet ozonnedbrytande ämnen fortsätter att minska. En säkerställd ökning av ozonhalten har hittills endast konstaterats i övre stratosfären samt över Antarktis. Samtidigt finns indikationer på att ozonhalten i nedre stratosfären, där merparten av ozonet finns, minskar. En globalt säkerställd påbörjad återväxt av ozonskiktet förväntas under perioden 2020–2040.

Ozonskiktets tjocklek över Sverige 1988–2021



Figuren visar ozonskiktets tjocklek vid mätplatser i Sverige. Ozonskiktet varierar mycket i tjocklek (heldragen linje), men är i genomsnitt (prickad linje) tunnare i dag än före introduktionen av ozonnedbrytande ämnen. Trots allt fler indikationer på en påbörjad återhämtning syns ännu ingen säkerställd trend i ozonskiktets tjocklek. Tjockleken på ozonskiktet mäts i Dobsonenheter, DU.

Källa: Svensk miljöövervakning, SMHI¹.

Även över Arktis uppträder emellanåt mycket kraftiga uttunnningar av ozonskiktet, men uttunnningen under våren 2020 var enligt forskare första gången som det varit frågan om ett regelrätt ozonhål. Eftersom de förutsättningar som gynnar nedbrytningen ökar på grund av att växthuseffekten kyler stratosfären finns det även en risk för återkommande kraftiga uttunnningar över Arktis.

¹ Bearbetade data från <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ozon>

FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR ATT NÅ MÅLET TILL 2030

Utsläpp av lustgas, otillåten användning av reglerade ozonnedbrytande ämnen, kortlivade ämnen som kan nå upp till stratosfären samt utsläpp från befintliga och uttjänta produkter utgör kvarstående problem. Globalt ökar utsläppen av lustgas dessutom mer än man tidigare bedömt. Osäkerheterna i bedömningen av miljö-kvalitetsmålet är stora på grund av ozonskiktets naturliga variationer samt klimats fortsatta påverkan.

UTVECKLINGEN EFTER 2030

För att säkerställa återväxten av ozonskiktet, och om möjligt även tidigarelägga den fullständiga återhämtningen, behöver både det internationella och det nationella arbetet inom ramen för Montrealprotokollet fortsätta med oförminskad kraft. Eftersom många kväveföreningar kan omvandlas till lustgas är det även viktigt att minska dessa utsläpp.

FÖRÄNDRINGAR AV INSATSER

På nationell nivå har flera insatser påbörjats eller fortgått de senaste åren. Regionalt har frågan om såväl utsläpp från uttjänta produkter som jordbrukets utsläpp av lustgas fått fortsatt ökad uppmärksamhet och konkreta åtgärder har genomförts.

Här finns dock fortfarande ett behov av mer kunskap och information. Hanteringen av klor-fluor-karboner (CFC) i rivningsavfall samt gödselansvändningen inom jordbruket utgör de två största källorna till ozonnedbrytande ämnen i Sverige och bör därför prioriteras i åtgärdsarbetet.

JA → Miljökvalitetsmålet är uppnått eller kommer att kunna nås.



NEUTRAL. Det går inte att se en tydlig riktning för utvecklingen i miljön. Under de senaste åren har inget av betydelse skett och/eller det går inte att se någon tydlig utveckling för miljötillståndet nu eller till 2030; alternativt positiva och negativa utvecklingsriktningar inom målet tar ut varandra.

1. Nuläget – miljötillstånd, styrmedel och åtgärder

1.1 Miljötillstånd

1.1.1 Precisering 1: Vändpunkt och återväxt

GLOBALT

Nedbrytningen av ozonskiktet som helhet upphörde enligt tillgängliga data omkring år 2000. Tack vare det trendbrottet är ozonskiktet i nuläget endast två procent tunnare än medelvärdet för perioden 1964–1980 (då ozonskiktet fortfarande var opåverkat av mänskliga utsläpp)².

Såväl mark- och satellitmätningar som datamodelleringar har tidigare indikerat att den globala återväxten av ozonskiktet kan ha påbörjats. Men bilden är komplex och tillståndet skiljer sig åt för olika delar av stratosfären:

- En påbörjad säkerställd återhämtning i övre stratosfären mellan 60 grader nord och 60 grader syd³.
- En påbörjad säkerställd ökning av ozonskiktet över Antarktis som blir alltmer tydlig⁴.
- Nedbrytning i den nedre delen av stratosfären⁵ mellan 60 grader nord och 60 grader syd.

Bortsett från de säkerställda ökningarna i den övre stratosfären och ovanför Antarktis är övriga observationer inte säkerställda⁶ och en påbörjad globalt statistisk säkerställd återhämtning förväntas ske under perioden 2020–2040. En fullständig återhämtning av ozonskiktet till referensvärdet⁷ bedöms för norra halvklotet inträffa under 2030-talet medan motsvarande fullständiga återhämtning för södra halvklotet bedöms inträffa runt mitten av detta århundrade⁸. Två

² World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

³ World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

⁴ Neale, R.E. m.fl. Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. Photochemical & Photobiological Sciences. 2021.

⁵ Ball, W. T. m.fl. Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery, Atmos. Chem. Phys., 18, 1379–1394, <https://doi.org/10.5194/acp-18-1379-2018>, 2018.

⁶ Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. Photochem. Photobiol. Sci., 2018.

⁷ Globalt medelvärde 1964–1980.

⁸ World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

nyligen publicerade artiklar^{9,10} understryker den redan etablerade uppfattningen att nedbrytningen av ozonskiktet har upphört och att det till stor del kan tillskrivas minskningen av ozonnedbrytande ämnen. Genom att ta hänsyn till påverkan från några kända naturliga effekter på ozonskikten får man dock en indikation om att ozonets återväxt kan ha påbörjats.

Den globala uppvärmningen har dämpats genom regleringen av de ozonnedbrytande ämnena eftersom flera av dessa också är kraftfulla växthusgaser. Enligt nya uppskattningar har genomförandet av Montrealprotokollet¹¹ förhindrat en uppvärmning mellan 0,5 och 1,0 grader Celsius över stora delar av mellanlatituderna och 1,1 grader Celsius över Arktis¹².

ANTARKTIS OCH ARKTIS

Den årliga variationen över Antarktis är stor. Under 2019 var ozonhålet¹³ över Antarktis det minsta på 20 år medan 2020 års ozonhål enligt SMHI var både tunnare och större än på länge. Överlag har dock ozonuttunnningarna under det senaste decenniet varit mindre allvarliga än de kraftiga uttunnningar som skedde under perioden 1990–2010¹⁴. Så även om det antarktiska ozonhålet 2021 är större än genomsnittet överensstämmer det med en fortsatt minskning av ozonnedbrytande ämnen (som minskar nedbrytningen) och kallare meteorologiska förhållandena i stratosfären som en följd av växthuseffekten (som ökar nedbrytningen)¹⁵. Ozonhålet över Antarktis bedöms vara fullständigt återhämtat under 2060-talet¹⁶.

Förutom att det kraftigt uttunnade ozonskiktet ökar risken för skador på djur och växter så påverkas även klimatet i troposfären. Under främst sommaren har man på södra halvklotet tidigare sett förändringar i fördelningen av både vind och nederbörd. Enligt ny forskning är dessa förändringar nu på väg att bromsas och eventuellt även återställas i takt med ozonets långsiktiga ökning över Antarktis¹⁷. Allt eftersom de förutsättningar som gynnar nedbrytningen ökar (på grund av att växthuseffekten kyler stratosfären) har även Arktis drabbats av ozonhålsliknande episoder under det senaste decenniet. Under 2020 var ozonskiktet över Arktis ovanligt tunt och enligt World Meteorological Organization var det frågan om det tunnaste ozonskiktet sedan mätningarna påbörjades på 1970-talet. Trots att uttunnningen över Arktis är mindre i omfång jämfört med Antarktis var det första gången vi hade ett regelrätt ozonhål¹⁸. Sett som månadsmedelvärde över Arktis (mars–juni)

⁹ Melanie Coldewey-Egbers m.fl. Global, regional and seasonal analysis of total ozone trends derived from the 1995–2020 GTO-ECV climate data record. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2022.

¹⁰ Mark Weber m.fl. Global total ozone recovery trends attributed to ozone-depleting substance (ODS) changes derived from five merged ozone datasets. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2022.

¹¹ Montrealprotokollet om ämnen som bryter ner ozonskiktet.

¹² Neale, R.E. m.fl. Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2021.

¹³ När ozonskiktet blir så tunt att ozonmängden understiger 220 Dobsonenheter brukar man prata om att det uppstått ett ozonhål.

¹⁴ OzoNews Volume XXI – 15–30 October 2021.

¹⁵ OzoNews Volume XXI – 15–30 October 2021.

¹⁶ World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

¹⁷ Antara Banerjee m.fl. A pause in Southern Hemisphere circulation trends due to the Montreal Protocol, *Nature* 2020.

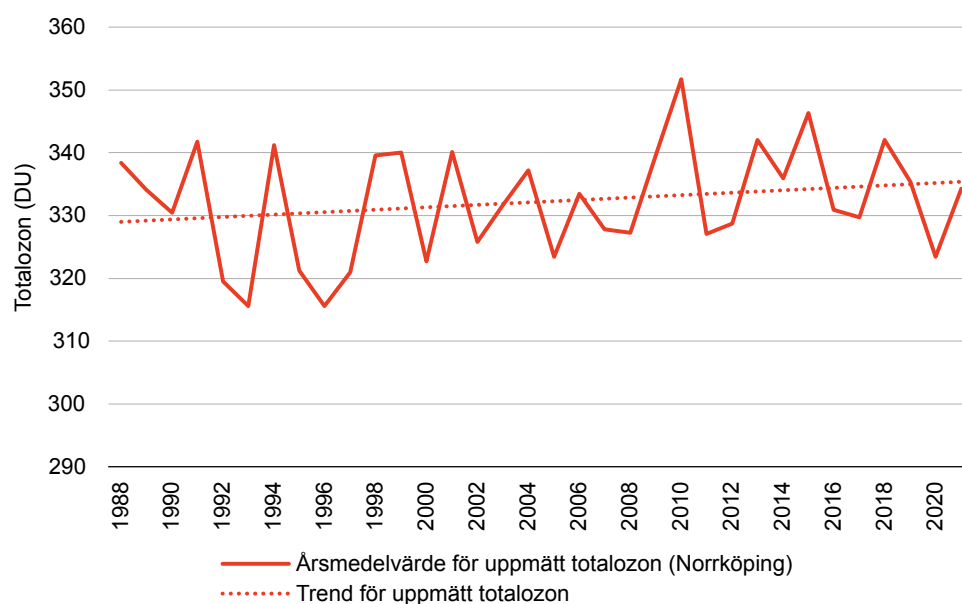
¹⁸ <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00904-w>

så var förtunningen över Arktis som helhet inte lika allvarlig 2021¹⁹. I och med den pågående klimatförändringen finns dock en risk för återkommande kraftiga uttunnningar över Arktis av samma dignitet som under 2020²⁰. Ozonhålet över Arktis bedöms vara fullständigt återhämtat cirka 2050²¹.

NATIONELLT

Ozonskiktet varierar mycket i tjocklek men nationellt framtagna data för 2021 är varken höga eller låga utan placerar sig mitt emellan de senaste årens värden. Samtidigt visar mätningarna att det på längre sikt inte skett några större förändringar beträffande ozonskiktets utveckling över Sverige, som även fortsättningsvis är försiktigt positiv (se figur 1). I Sverige bedöms förtunningen av ozonskiktet vara omkring 4 procent jämfört med referensvärdet²².

Figur 1. Ozonskiktets tjocklek över Sverige 1988–2021



Figuren visar ozonskiktets tjocklek vid mätplatser i Sverige. Ozonskiktet varierar mycket i tjocklek (heldragen linje), men är i genomsnitt (prickad linje) tunnare i dag än före introduktionen av ozonnedbrytande ämnen. Trots allt fler indikationer på en påbörjad återhämtning syns ännu ingen säkerställd trend i ozonskiktets tjocklek. Tjockleken på ozonskiktet mäts i Dobsonenheter, DU.

Källa: Svensk miljöövervakning, SMHI²³

¹⁹ <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/NH.html>

²⁰ Peter von der Gathen m.fl. Climate change favours large seasonal loss of Arctic ozone. *Nature Communications* 12. 2021.

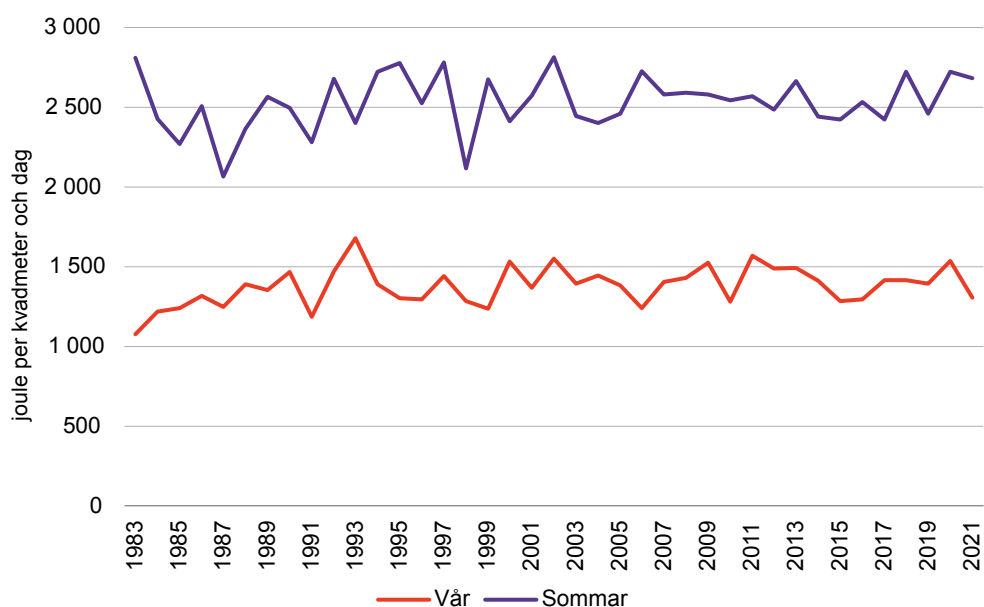
²¹ World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

²² World Meteorological Organization (WMO). Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer: 2018 Update. Scientific Assessment of Ozone Depletion. 2018.

²³ Bearbetade data från <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ozon>

Nationella data för UV-strålningen över Sverige visar på en svagt ökande trend. Variation i molnighet påverkar UV-strålningen vid markytan kraftigt och molnigheten verkar ha minskat över Skandinavien de senaste cirka 35 åren, vilket kan vara en bidragande orsak²⁴. År med hög UV-strålning, såsom våren 1993 och somrarna 1983 och 2002, rådde ett tunt eller mycket tunt ozonskikt samtidigt som molnigheten var låg eller relativt låg. UV-strålningen²⁵ bedöms även fortsättningsvis vara cirka 3–5 procent högre i södra Sverige än den skulle ha varit utan ozonför-tuning²⁶. (se figur 2).

Figur 2. UV-strålning på marknivå 1983–2021



Figuren visar hur UV-strålningen över Sverige har förändrats från 1980-talet, då påverkan från ozonnedbrytande ämnen var som störst. UV-strålningen i Sverige ökar normalt under våren för att vara som högst under sommaren. Trots allt fler indikationer på att ozonskiktet återhämtar sig syns ännu ingen tydlig minskning av UV-strålning. UV-strålningen mäts i joule per kvadratmeter och dag.

Källa: Svensk miljöövervakning, SMHI.

²⁴ Karl-Göran Karlsson och Abhay Devasthale. Inter-Comparison and Evaluation of the Four Longest Satellite-Derived Cloud Climate Data Records: CLARA-A2, ESA Cloud CCI V3, ISCCP-HGM, and PATMOS-x. Remote sensing. 2018.

²⁵ Erytemviktad UV-strålning = Internationellt bestämd viktning av UV-strålningens olika våglängder för att motsvara känsligheten hos mänsklig hud för att utveckla solbränna.

²⁶ World Meteorological Organization (WMO). Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer: 2018 Update. Scientific Assessment of Ozone Depletion. 2018.

1.1.2 Precisering 2: ofarliga halter ozonnedbrytande ämnen

GLOBALT

Reglerade ämnen

Såväl utsläpp som halter i stratosfären av flertalet reglerade ämnen minskar inom ramen för Montrealprotokollets utfasningsschema.

Nya analyser visar på att utsläpp av CFC-11, som till stor del (cirka 60 procent) orsakats av produktion i strid mot Montrealprotokollet och som spårats till Kina, har minskat drastiskt de senaste åren. Detta har uppnåtts genom undersökningar initierade inom ramen för Montrealprotokollet i kombination med myndigheter i Kina som svarat upp genom att förstärka övervakningen samt införa regleringar och högre straff^{27,28}. Varifrån resterande utsläpp (cirka 40 procent) kommer ifrån är i dagsläget inte känt²⁹ (se även vidare avsnitt 1.2.1).

En ny studie visar att haven i framtiden kan komma att läcka ut klor-fluor-karboner (CFC) som absorberats och lagrats där sedan 1930-talet. Forskarna har funnit att haven kommer att förändras från sänka till källa omkring år 2075 för minst en typ av CFC (CFC-11). År 2130 bedöms halterna vara så höga att de är detekterbara med dagens mätutrustning, vilket även skulle kunna ske tidigare på grund av klimatförändringen³⁰.

Arbetet med att förklara avvikelserna som tidigare iakttagits mellan observerade atmosfäriska koncentrationer och rapporterade utsläpp av koltetraklorid (CCl₄) fortsätter³¹. De oredovisade utsläppen uppges vara omkring 15 000–25 000 ton per år. Av dessa bedöms 13 000 ton per år komma från kemiindustrin³².

Icke reglerade ämnen

Beträffande ämnen som inte regleras inom ramen för Montrealprotokollet så fortsätter koncentrationen av lustgas (N₂O) att öka³³. Även utsläppen av lustgas har ökat kraftigt sedan början av 1990-talet men planade ut under 2018 (data finns i dagsläget endast fram till 2018)³⁴. Utsläppen av lustgas, som både bryter ned ozonskiktet och bidrar till växthuseffekten, är sedan många år större än för någon annan ozonnedbrytande gas (med avseende på dess ozonnedbrytande potential)³⁵. Enligt en ny studie kan utsläppen av lustgas dessutom ha underskattats. Ett forskarlag som undersökt tinad permafrost i Sibirien har påvisat att kvävet omvand-

²⁷ Stephen A. Montzka m.fl. A decline in global CFC-11 emissions during 2018–2019. *Nature*. 2021.

²⁸ Sunyoung Park m.fl. A decline in emissions of CFC-11 and related chemicals from eastern China. *Nature*. 2021.

²⁹ OzoNews Volume XXI – 15 February 2021.

³⁰ Peidong Wang m.fl. On the effects of the ocean on atmospheric CFC-11 lifetimes and emissions. *PNAS*. 2021.

³¹ Naturvårdsverket: Mål i sikte. Analys och bedömning av de 16 miljö kvalitetsmålen i fördjupad utvärdering. Volym 1. Rapport 6662. 2015.

³² David Sherry m.fl. Current sources of carbon tetrachloride (CCl₄) in our atmosphere. *Environmental Research Letters*, vol. 13, nr 2. 2018.

³³ <https://agage.mit.edu>

³⁴ climatewatchdata.org/ghg-emissions

³⁵ A. R. Ravishankara, John S. Daniel, Robert W. Portmann. Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. Published online 27 August 2009.

ling till lustgas går betydligt snabbare än man tidigare ansett med ökade utsläpp av lustgas som följd³⁶.

Utsläpp av kväveföreningar som förr eller senare kan omvandlas till lustgas kan även bidra till klimatförändringarna. De globala utsläppen av kväveoxider slutade öka 2013³⁷, medan utsläpp av ammoniak globalt bedöms öka kontinuerligt³⁸.

Enligt en ny forskningsstudie är utsläppen av CFC-11 och CFC-12 från uttjänta produkter större än man tidigare trott och kan stå för en stor del av de i dag uppskattade utsläppen av CFC-er (med undantag för de tidigare nämnda utsläppen av CFC-11). Om dessa utsläpp inte åtgärdas kan de exempelvis försena återhämtningen av ozonhålet över Antarktis med cirka sex år och bidra med nio miljarder ton CO₂-ekvivalenter. Beträffande beräknade utsläpp av CFC-13 råder större osäkerhet, men de verkar vara betydligt större än väntat, vilket reser frågor om dess källor då CFC-13 utgör en betydligt mindre andel av utsläppen från uttjänta produkter och i stället är mer förknippade med insatsvaror inom industrin³⁹.

På senare tid har forskarna insett att kortlivade ozonnedbrytande ämnen kan nå upp till ozonlagret. Specifika väderförhållanden, exempelvis den asiatiska sommarmonsunen, har förmåga att transportera kortlivade ämnen till stratosfären innan de hinner brytas ned. Dessa förhållanden förväntas öka i ett varmare klimat⁴⁰.

Forskning har visat att även havets naturliga innehåll av jod kan spela en roll i nedbrytningen av ozonskiktet⁴¹. Förklaringen är att marknära ozon från land kan reagera med havsytan och föra upp jod till nedre stratosfären. Mycket tyder även på att marknära ozon ökar globalt vilket kan komma att öka mängden jod som förs upp på detta vis⁴². Modeller som simulerar återväxten av ozonskiktet omfattar för närvarande inte jod men om ämnet tas med i beräkningarna så kan det utgöra en stor del av förklaringen till varför ozon i nedre stratosfären fortsätter att minska⁴³. Ny forskning pekar även på att jod har en större potential än klor och bromid att bryta ner ozon när den väl når stratosfären och kan få ökad betydelse, inte minst i en stratosfär med förändrad kemi på grund av pågående klimatförändring⁴⁴.

³⁶ M. E. Marushchak m.fl. Thawing Yedoma permafrost is a neglected nitrous oxide source. *Nature Communications*. 2021.

³⁷ Tianbo Huang m.fl. Spatial and Temporal Trends in Global Emissions of Nitrogen Oxides from 1960 to 2014. *Environmental science and technology*, 2017.

³⁸ Rongting Xu m.fl. Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and processbased estimates and uncertainty, 2018.

³⁹ Lickley Megan m.fl. Quantifying contributions of chlorofluorocarbon banks to emissions and impacts on the ozone layer and climate. *Nature communications*. 2020.

⁴⁰ Naturvårdsverket. Skyddande ozonskikt – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen. Rapport 6858. 2019.

⁴¹ Theodore K. Koenig m.fl. Quantitative detection of iodine in the stratosphere. *PNAS*. 2020.

⁴² Jerry R. Ziemk m.fl. Trends in global tropospheric ozone inferred from a composite record of TOMS/OMI/MLS/OMPS satellite measurements and the MERRA-2 GMI simulation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2019.

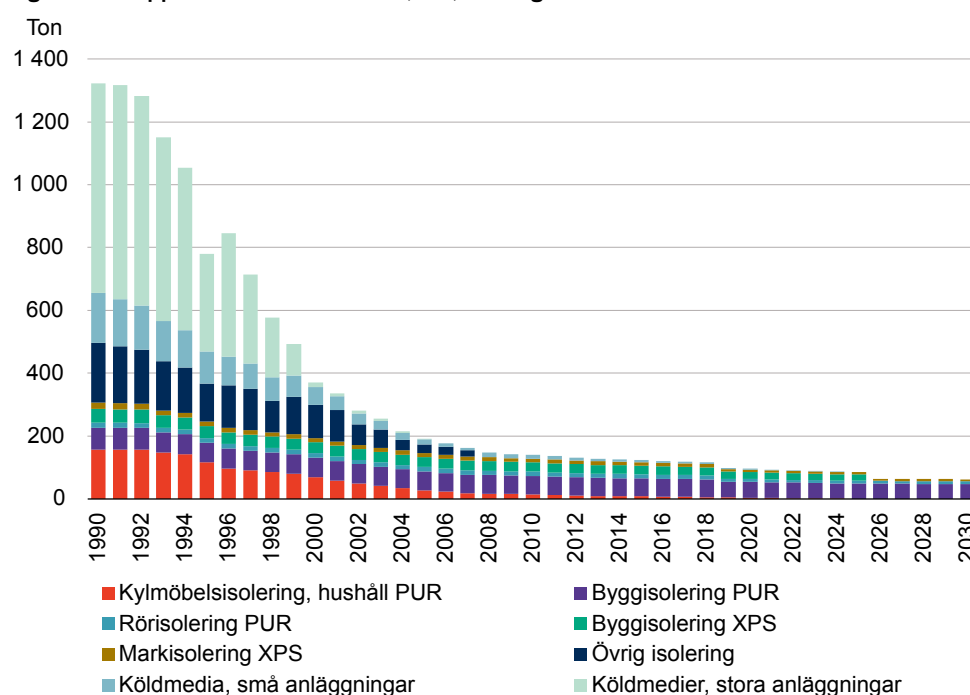
⁴³ Theodore K. Koenig m.fl. Quantitative detection of iodine in the stratosphere. *PNAS*. 2020.

⁴⁴ Klobas JE, m.fl. Sensitivity of Iodine-Mediated Stratospheric Ozone Loss Chemistry to Future Chemistry-Climate Scenarios. *Front. Earth Sci.* 2021.

NATIONELLT

De nationella utsläppen av reglerade ozonnedbrytande ämnen består nästan uteslutande av CFC från befintliga och uttjänta produkter. Utsläppen i sig är dock inte reglerade i Montrealprotokollet, eftersom protokollet endast reglerar produktion och konsumtion av ämnen. Utsläppen från exempelvis kyl- och frysmöbler samt bygg-, rör- och markisolering har minskat kraftigt sedan 1990, och utsläppen har fortsatt att minska under de senaste åren, om än i lägre takt (se figur 3). År 2021 beräknas utsläppen av CFC i Sverige uppgå till cirka 93 ton. Det kan jämföras med utsläppen 1990 som var cirka 1 400 ton. Den absoluta huvuddelen av de kvarvarande nationella utsläppen av CFC uppstår genom bristfälligt omhändertagande av isoleringsmaterial vid rivningar⁴⁵.

Figur 3. Utsläpp av klorfluorkarboner (CFC) i Sverige 1990–2030



Figuren visar utsläppen av det ozonnedbrytande ämnet CFC från olika produktgrupper mellan 1990 och 2030 utifrån modellberäkningar. De nationella utsläppen var 2021 cirka 93 ton per år och de bedöms fortsätta att minska ytterligare till 2030.

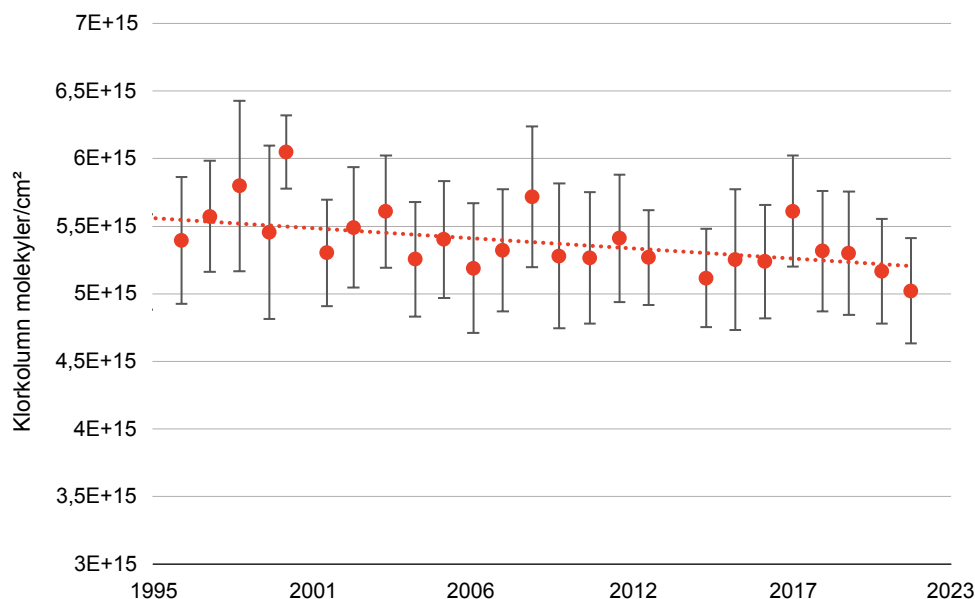
Källa: Naturvårdsverket⁴⁶

Den totala halten klor i atmosfären minskade mellan 1999 och 2008 (se figur 4). Det visar nationella mätningar av väteklorid (HCl) och klornitrat (ClONO₂), de ämnen i vilket merparten av atmosfärens klor finns lagrat. Den nedåtgående trenden för väteklorid har dock avstannat de senaste åren.

⁴⁵ Uppföljning av emissioner och kvarvarande mängder av CFC i Sverige, IVL 2019.

⁴⁶ Uppföljning av emissioner och kvarvarande mängder av CFC i Sverige, IVL 2019.

Figur 4. Nationella mätningar av halter av klor i atmosfären 1995–2021



Figuren visar årsmedelvärdet av klorkolumnen (röd punkt) och dess standardavvikelse (svart streck), mätt som mängd väteklorid (HCl) och klorinitrat (ClONO_2) under ca 20 mättdagar per år under ljusa halvåret (maj tom okt). Kolumnen är uppmätt med infraröd solabsorptionsmätning ovanför Harestua i Norge. Trenden har avstannat de sista 10 åren men i medeltal motsvarar den -0,26 procent, relativt värdet år 2020.

Källa: Chalmers Tekniska Högskola

Nationella mätningar visar även att ökningstakten för ersättningsfreonen HCFC-22 har minskat de senaste åren⁴⁷.

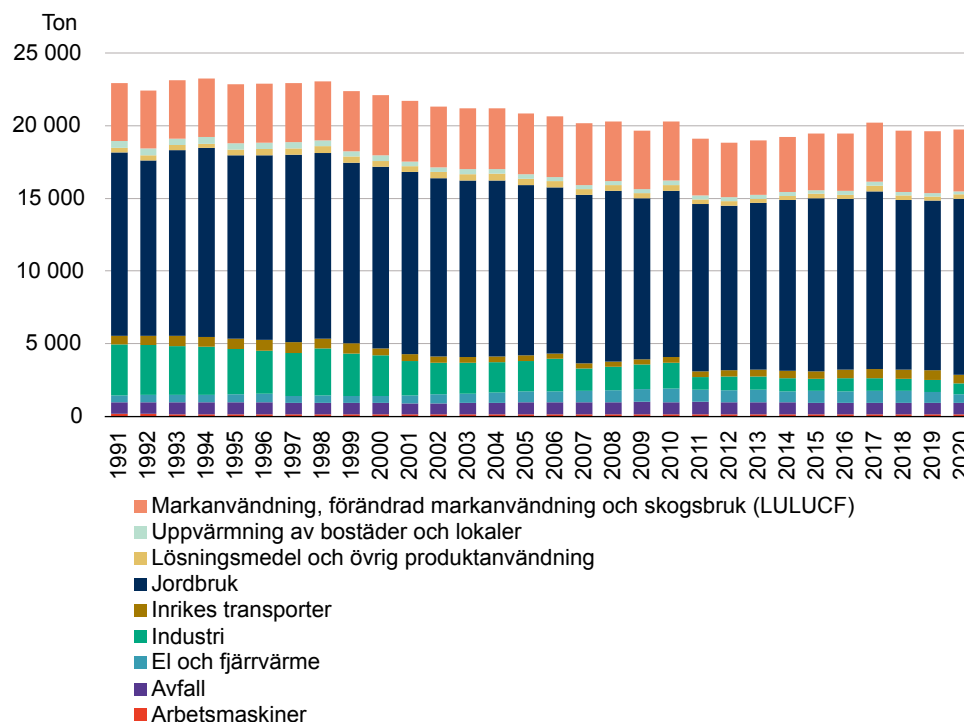
De nationella utsläppen av oreglerade ämnen utgörs framför allt av lustgas. År 2020 var de totala antropogena utsläppen i Sverige cirka 20 000 ton, en minskning med cirka 15 procent jämfört med 1990. Utsläppen av lustgas härrör främst från jordbrukssektorn vars andel av de totala utsläppen under samma period minskat med cirka nio procent (se figur 5). Utsläppsminskningen inom jordbruket beror främst på reducerat antal djur och lägre användning av mineralgödsel samt effektivisering inom sektorn. Eftersom en stor del av växthusgaserna styrs av biologiska processer kan utsläppen variera mycket och osäkerheterna i beräkningarna blir därför stora⁴⁸. Åtgärder som införts för att minska kväveförlusterna inom jordbruket har också bidragit till minskningen, liksom den ökade användningen av flytgödsel. Även om en minskning av utsläppen har skett sedan 1990 så har det skett en ökning av utsläppen under de senaste åren. Sedan 2012 har utsläppen ökat med cirka sju procent och mellan 2019 och 2020 ökade utsläppen från jordbrukssektorn med 3,7 procent (se figur 5) vilket främst förklaras med en ökad försäljning av mineralgödsel gödselåret 2019/2020⁴⁹.

⁴⁷ Svensk miljöövervakning, Chalmers Tekniska Högskola.

⁴⁸ Naturvårdsverket. Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen 2021, rapport 7014, 2022.

⁴⁹ Naturvårdsverket. Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen 2021, rapport 7014, 2022.

Figur 5. Nationella utsläpp av lustgas fördelat på samhällssektorer 1990–2020



Figuren visar utsläpp av lustgas från olika sektorer under åren 1990 till 2020. De nationella utsläppen har minskat sakta från 1990 och är nu nere i cirka 20 000 ton per år.

Källa: Naturvårdsverket, Sveriges officiella statistik.

1.2 Miljöarbete

1.2.1 Montrealprotokollet

Det internationella arbetet inom ramen för Montrealprotokollet är avgörande för att nå miljökvalitetsmålet *Skyddande ozonskikt*. Protokollet har utformats för att minska produktion och konsumtion av ozonnedbrytande ämnen i syfte att minska ämnenas förekomst i atmosfären och på så sätt skydda jordens ozonskikt. Protokollet gör det möjligt för parterna att snabbt reagera på ny vetenskaplig information och på så vis påskynda de minskningar som krävs. Montrealprotokollet har uppnått en global omfattning och antalet deltagande stater är 197 stycken.

Sverige och likasinnade länder strävar efter att minska möjligheterna under protokollet till undantag och dispenser för att till slut helt upphöra med användningen av ozonnedbrytande ämnen. Under 2020 har beslut om vissa process-⁵⁰ agenter reviderats och därigenom har man begränsat undantagen ytterligare. Naturvårdsverket har initierat en dialog inom EU om behovet av en heltäckande reglering och hur man effektivast kan begränsa de undantag som fortfarande finns under Montrealprotokollet.

Utöver de tidigare insatser som Kina genomfört efter 2018, i form av skärpt tillsyn och sanktioner för att hantera illegala utsläpp av CFC-11, har man även

⁵⁰ Ämne som används i en process.

fört in ett antal punkter i ett förslag till en nationell plan för att hitta och minska utsläppen⁵¹. Orsaken till ca 40 procent av utsläppen är dock fortfarande okända och diskussioner pågår nu mellan parterna i Montrealprotokollet för att utöka nätverket av övervakningsstationer för att få svar på vad de resterande utsläppen kommer ifrån (se även avsnitt 1.1.2)⁵². Som ett resultat har ett pilotprojekt med syfte att minska luckorna i den globala övervakningen av reglerade ämnen initierats baserat på ett policydokument framtaget av Montrealprotokollets vetenskapliga panel⁵³.

Under FN:s elfte Ozone Research Meeting (ORM) i juli 2021 granskades pågående internationell forskning samt övervakningsprogram för att säkerställa samordning av dessa och identifiera luckor som behöver hanteras. Det fanns en ökande oro över gapen i de system som övervakar utsläppen och på mötet noterades behovet av fler markbaserade stationer, särskilt de som producerar långvariga tidsserier över ozon och ultraviolett (UV) strålning samt övriga gaser som kan påverka ozonskiktet. Att täcka detta gap kommer att kräva en avsevärd och långvarig finansiering i kombination med ett starkt internationellt samarbete och kapacitetsutveckling. En av de övergripande slutsatserna var att ozonskiktet är på väg att återhämta sig men att det inte finns utrymme för att slappna av på vaksamheten. På det fem dagar långa virtuella mötet diskuterades utvecklingen sedan det senaste mötet 2017. Detta inkluderade effekterna av stigande ytemperaturer i polarområdena på ozonskiktet, oväntade utsläpp av det förbjudna ämnet CFC-11 och internationella åtgärder för att avveckla produktionen och förbrukningen av fluorkolväten (HFC), som är potenta växthusgaser och skadar klimatet. Mätningar av ozon, ozonnedbrytande ämnen och deras ersättningar förblir hörnstenen i stratosfärisk ozonforskning. Dessa mätningar krävs för att övervaka framgången med Montrealprotokollet, för att bedöma nya faktorer som kan bromsa ozonåterhämtningen och för att stödja studier av ozonets utveckling i ett förändrat klimat, enligt ORM-rekommendationerna⁵⁴. WMO:s generalsekreterare betonade dock att resursbegränsningar, som fanns redan innan COVID-19-pandemin, kommer att utgöra en stor utmaning. Under ORM-mötet framhölls även ett fortsatt behov av vaksamhet och forskning beträffande samspelet mellan ozon och klimatförändringar, inte minst med tanke på de senaste rekordstora ozonhålen i både Arktis och Antarktis.

Partsmötena till Montrealprotokollet (MOP-33) och Wienkonventionen (COP-12, del II) hölls den 23–29 oktober 2021. Med anledning av den pågående covid-19 pandemin ställdes det fysiska partsmötet in och hölls i stället digitalt. Beträffande alternativ för att förbättra atmosfärisk övervakning, lämplig lokalisering av mätstationer och alternativ för att förbättra övervakningskapaciteten ska Montrealprotokollets sekretariat vid kommande arbetsgruppsmöten i konsultation med andra experter ge en lägesrapport 2022 samt rapportera till parterna 2023. Europeiska kommissionen har givit sekretariatet ett bidrag för att identifiera luckor och pilotaktiviteter för ytterligare övervakning.

⁵¹ EIA Press Releases. China Proposes Stronger Steps to Protect our Climate and Ozone. 2020.

⁵² OzoNews Volume XXI – 15 February 2021.

⁵³ <https://ozone.unep.org/eu-funded-project-regional-quantification-emissions-substances-controlled-under-montreal-protocol>

⁵⁴ OzoNews Volume XXI – 30 July 2021.

Naturvårdsverket har under 2021 fortsatt gett stöd till regeringen i förhandlingsarbetet, dels inom ramen för Montrealprotokollet och Wienkonventionen, dels inom EU. Naturvårdsverket har deltagit i Montrealprotokollets multilaterala fonds exekutiva kommitté och stöttat processen för en hållbar och kostnadseffektiv avveckling av ozonnedbrytande ämnen och nedfasning av HFC⁵⁵. Naturvårdsverket har även bidragit till kapacitets- och kunskapsuppbyggnad internationellt genom att bistå FN:s nätverk för miljöhandläggare i Sydostasien med svenska och europeiska erfarenheter från arbetet med ozonnedbrytande ämnen och HFC.

1.2.2 EU:s förordning om ozonnedbrytande ämnen

Ett annat viktigt avtal för att minska användningen och utsläpp av ozonnedbrytande ämnen är EU:s förordning 1005/2009 (kompletterad genom svensk förordning 2016:1129) om ämnen som bryter ned ozonskiktet. EU:s förordning är mer långtgående än Montrealprotokollet, dels för att den har ett tidigare avvecklingsdatum för klor-fluor-kolväten (HCFC) dels för att den innehåller ett förbud mot påfyllnad av CFC och HCFC i kyl-, frys och luftkonditioneringsanläggningar. Även redan avvecklade ämnen och användningsområden har fasats ut i snabbare takt. Att en viktig grupp länder (EU) redan vidtagit strängare åtgärder i och med den tidigare lagda avvecklingen har haft stor betydelse för revideringen av Montrealprotokollet. EU:s förordning verkar för att medlemsländerna gemensamt uppfyller Montrealprotokollet.

1.2.3 Styrmedel och åtgärder mot lustgasutsläpp

Parisavtalet anger att länderna ska vidta nationella åtgärder för begränsningar av klimatgaser (uttryckt i koldioxidekvivalenter) utifrån principen om gemensamma men olikartade ansvar och respektive förmåga. Parisavtalet reglerar dock inte hur detta ska göras eller hur mycket varje land ska bidra. Istället bygger Parisavtalet på frivilliga nationella åtaganden som ska uppdateras enligt Parisavtalets ambitionscykel. Det innebär att det inte finns några direkta krav på att minska utsläppen från enskilda ämnen som till exempel lustgas. Man kan följaktligen lika gärna minska utsläppen från andra ämnen, vilket oftast är tekniskt lättare och billigare.

Markanvändning och lantbruk är frågor som diskuterades på FN:s klimatmöte COP26 i Glasgow. Både nationer och företag har gjort åtaganden om att minska utsläppen av växthusgaser men utan att specificera vilka gaser som ska minska.

Ett viktigt styrmedel för att påverka utsläpp av lustgas från jordbrukssektorn och dess markanvändning är EU:s gemensamma jordbrukspolitik (CAP). I Sverige genomförs CAP till stor del genom landsbygdsprogrammet. Inom ramen för det nuvarande landsbygdsprogrammet finns olika stöd och ersättningar för miljö, hållbarhet och innovation. Exempel på i sammanhanget relevanta åtgärder som kan få stöd för är skötsel av våtmarker, vallodling, skydds-zoner samt åtgärder som i övrigt minskar kväveläckaget (exempelvis odling av fånggrödor och vårbearbetning). Investeringstöd genom landsbygdsprogrammet finns också för olika teknikrelaterade åtgärder kopplade till gödselhantering och gödselspridning.

⁵⁵ HFC bidrar inte till att bryta ned ozon, men kan ge en indirekt negativ påverkan via sin klimateffekt (se även uppföljningen av miljökvalitetsmålet Begränsad klimateffekt).

I november 2021 godkände Europaparlamentet reformen av den gemensamma jordbrukspolitikerna för perioden 2023–2027. Enligt parlamentets pressmeddelande⁵⁶ ska den nya politiken stärka den biologiska mångfalden och har anpassats till EU:s lagar och åtaganden på miljö- och klimatområdet. Medlemsländerna måste se till att minst 35 procent av budgeten för landsbygdsutveckling och minst 25 procent av direktstödet går till miljö- och klimatåtgärder. Varje medlemsstat ska redovisa det nationella genomförandet i en strategisk plan som ska godkännas av EU-kommissionen. Planen omfattar stöd och ersättningar som motsvarar dagens jordbrukarstöd, sektorsspecifika stöd samt stöden och ersättningarna i nuvarande landsbygdsprogram. Sveriges förslag till strategisk plan innehåller bland annat ettåriga miljö- och klimatersättningar (s.k. ecoschemes) för precisionsjordbruk i syfte att undvika att det blir outnyttjade gödselmängder kvar i marken och att tillförd växtnäring utnyttjas effektivt. Regeringen fattade i slutet av 2021 beslut om förslaget till Sveriges strategiska plan för perioden 2023 till 2027. I ett nästa steg har regeringen lämnat över förslaget till EU-kommissionen, som ska granska planen under 2022. Sverige och EU-kommissionen kommer att förhandla om innehållet i planen under tiden. Det kan alltså bli ändringar i stöden och ersättningarna innan kommissionen slutligen godkänner planen. Avsikten är att stöd och ersättningar kommer att vara möjliga att söka från 2023. Den slutliga miljöeffekten beror sedan på vilka åtgärder Sverige väljer att införa, hur många lantbrukare som väljer att söka stöd samt hur stor den slutliga budgeten blir.

Det finns ett antal rådgivningsföretag inom jordbrukssektorn varav t.ex. Greppa Näringen, som är ett av de större, erbjuder kostnadsfri rådgivning, bland annat med målen att minska utsläpp av klimatgaser (t.ex. lustgas). Rådgivningarna riktar sig huvudsakligen till växtgårdar med en areal om minst 50 hektar alternativt djurgårdar med minst 25 djurenheter⁵⁷. Småjordbruk är på så sätt till stor del exkluderade från de enskilda rådgivningsbesöken. Företag med mer än 50 hektar åkermark brukade emellertid cirka 83 % av åkerarealen åren 2010–2020⁵⁸. Projektet som påbörjades 2001 drivs av Jordbruksverket, Lantbrukarnas riksförbund och Länsstyrelserna.

Inom ramen för Naturvårdverkets arbete med det klimatpolitiska ramverket och luftvårdsfrågor bedrivs tillsammans med andra myndigheter ett regeringsuppdrag med uppgiften att ta fram åtgärds- och styrmedelsförslag för olika sektorer. Inom jordbrukssektorn har under 2021 externa studier initierats angående åtgärder som bland annat har potential att minska utsläppen av kväveföreningar, däribland lustgas. Två exempel:

- *Informationsinsatser för minskad klimatpåverkan inom jordbruket*⁵⁹. Studien syftar till att utvärdera befintliga informationsinsatser avseende jordbrukets klimatpåverkan riktade mot jordbrukare.

⁵⁶ Europaparlamentets pressmeddelande. 23-11-2021, 16:29, 20211118IPR17613

⁵⁷ Djurenhet beräknas utifrån djurslag. Exempelvis motsvarar en mjölkko en djurenhet och en slaktkyckling 0,005 djurenheter. De flesta län ställer kravet om 50 hektar alternativt 25 djurenheter.

⁵⁸ Christian Jörgensen och Kristian Sundström. Goda råd för att minska klimat- och luftpåverkan - hur fungerar informationsinsatser riktade till jordbruket? Agrifood Economics Centre - Rapport 2022:3. 2022.

⁵⁹ Ibid.

- *Kan nitrifikationshämmare⁶⁰ vara ett alternativ i Sverige för att minska lustgasutsläppen?⁶¹*

Beträffande åtgärder som kan leda till minskade utsläpp av kväveföreningar har Jordbruksverket initierat en utredning om proteingrödor. Inom ramen för regeringsuppdrag inför kommande CAP analyseras även stöd för precisionsodling. Jordbruksverket har även ett regeringsuppdrag om metoder för ökad kolsänka där framför allt åtgärderna mellangrödor samt biokol kan vara relevanta⁶².

Jordbruket är en fortsatt prioriterad sektor inom ramen för Klimatklivet där man exempelvis kan söka stöd till investeringar i syfte att öka produktionen av gödselbaserad biogas. Åtgärden leder till minskade utsläpp av främst metan men även lustgas från både lagring och spridning av gödseln samtidigt som kväveutnyttjandegraden ökar (vilket minskar behovet av mineralgödsel och därmed lustgas).

I Sverige pågår forskning om lustgasutsläpp vid flera universitet. Exempelvis bedrivs studier vid Göteborgs universitet och Sveriges lantbruksuniversitet.

Eftersom många kväveinnehållande ämnen dessutom orsakar en mängd miljöproblem kopplat till bland annat luftföroreningar, övergödning och försurning har utsläppen av dessa ämnen aktualiserats allt mer. Det går ofta under benämningen ”kvävekaskaden” och en rad initiativ har tagits som kan motverka den negativa utvecklingen. Bland annat ska EU-kommissionens strategi ”Farm to Fork”, en del av EU:s gröna giv, visa vägen mot ett mer hållbart livsmedelssystem med målet att skapa en klimatneutral union till 2050⁶³. Strategin innehåller bland annat målet att minska näringsförlusterna med 50 procent inom jordbruket samt att användningen av gödselmedel ska minska med minst 20 procent senast fram till 2030.

Beträffande insatser i övrigt för att minska utsläpp av kväveföreningar till luft och vatten hänvisas till uppföljningen av miljö kvalitetsmålen *Ingen övergödning*, *Bara naturlig försurning* och *Frisk luft*.

1.2.4 Utsläpp från Befintliga och uttjänta produkter

Utsläppen av ozonnedbrytande ämnen från befintliga och uttjänta produkter (så kallade banker) regleras inte av Montrealprotokollet, men inom EU är destruktion av ozonnedbrytande ämnen reglerat genom EU-förordningen 1005/2009, i vilken överblivna mängder hanteras som miljöfarligt avfall. I Sverige är EU:s reglering framförallt genomförd genom förordningen om fluorerade växthusgaser och ozonnedbrytande ämnen (2016:1129), avfallsförordningen (2020/614), och Plan- och bygglagen (2010:900).

Den absoluta huvuddelen av de kvarvarande nationella utsläppen av CFC kommer från bristfälligt omhändertagande av isoleringsmaterial vid rivningar. Mycket tyder på att den informationssatsning som Naturvårdsverket och Boverket tillsammans har genomfört under de senaste åren har resulterat i en ökad kunskap men

⁶⁰ Genom att tillsätta ett kemiskt ämne (nitrifikationshämmare) vid spridning av gödsel hindras mikroorganismernas omvandling av ammonium till nitrat vilket bland annat minskar bildningen av lustgas från åkermark.

⁶¹ Johansson, Helena. Nitrifikationshämmare – ett sätt att minska förlusten av kväve från jordbruksmarken? Agrifood Economics Centre Rapport 2022:2. 2022.

⁶² Personlig kommunikation. Jordbruksverket 2021-12-14.

⁶³ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_sv

också lett till att faktiska åtgärder ökat i omfattning. Detta framgår till exempel i den regionala årliga uppföljning som länsstyrelserna gör (se vidare avsnittet Regional uppföljning nedan).

1.2.5 Regional Uppföljning

Enligt länsstyrelsernas regionala årliga uppföljning 2021 av miljömålet *Skyddande ozonskikt*⁶⁴ jobbar flertalet län med rådgivningsinsatser inom ramen för *Greppa Näringsen* samt har en fungerande kontroll och insamling av köldmedieanläggningar. Flertalet länsstyrelser tar även upp behovet av ökad information och tillsyn beträffande arbetet med omhändertagande av CFC-haltigt isolermaterial. De rapporterar dessutom att samarbete sker mellan de kommunala byggnads- och miljönämnderna i samband med ärenden om rivningslov samtidigt som flera uppmärksammar behovet av att detta samarbete ökar. Flera länsstyrelser har i samband med detta lyft fram den nya avfallsförordningen med krav på källsortering av bygg- och rivningsavfall i ett antal fraktioner samt förbud mot att förbränna eller deponera avfall som samlats in separat för att materialåtervinnas. Dessa krav har förbättrat förutsättningarna att ta hand om avfall som innehåller CFC vid rivningar. Många har även uppmärksammat synergieffekterna till andra miljömål vid minskande utsläpp av såväl reglerade ozonnedbrytande ämnen som lustgas och kväveföreningar. Pandemin har i flera fall orsakat fördröjningar i insatser som till exempel kontroll av gränsöverskridande transporter, rådgivningsbesök inom ramen för *Greppa Näringsen* och projekt i syfte att destruera lustgas. För en fullständig redogörelse över länens insatser se Länsstyrelsernas regionala årliga uppföljning 2021⁶⁵.

1.3 De centrala problemen för målet

1.3.1 Vändpunkt och återväxt

För preciseringen om ozonskiktets vändpunkt och återväxt är ozonskiktets tjocklek det viktigaste uppföljningsmåttet. Preciseringen bedöms som uppnådd när trenden för ozonuttunnningen är bruten, och det går att observera att en återväxt av ozonskiktet har påbörjats. En vändpunkt i ozonuttunnningen samt påbörjad tillväxt av ozonskiktet är lättare att säkerställa än en fullständig återhämtning. Om man utgår från att en påbörjad tillväxt av ozonskiktet är ett resultat av minskad påverkan från ozonnedbrytande ämnen, antas den önskvärda miljökvaliteten – fullständig återhämtning till naturliga nivåer – uppnås vid ett senare tillfälle.

Det referensvärde som använts inom ramen för Montrealprotokollet utgörs av ett globalt medelvärde för det tillstånd som rådde innan ozonskiktet var utsatt för nämnvärd mänsklig påverkan. Referensvärdet är för närvarande ozonskiktets tillstånd 1980 (medelvärde 1964–1980). På senare tid har det konstaterats att det över vissa områden fanns en påverkan redan 1960, men man har ändå valt att ha kvar 1980 som referensvärde, framför allt på grund av att data före 1980 är mindre säkra.

⁶⁴ <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning>

⁶⁵ <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning>

Att bättre förstå de komplexa kopplingarna mellan mängden ozon i atmosfären, atmosfärens kemi och storskaliga cirkulation samt klimatförändringen är av hög prioritet. Insikten om behovet av ytterligare forskning och systematisk övervakning inom detta område har ökat de senaste åren.

1.3.2 Ofarliga halter ozonnedbrytande ämnen

Det önskvärda miljötilståndet för preciseringen om ofarliga halter ozonnedbrytande ämnen uppnås när de av människan orsakade halterna i atmosfären av sådana ämnen – mätt som effektiva klorekvivalenter i stratosfären, EESC – återgår till sådana nivåer att ozonskiktet inte längre påverkas negativt. Enligt WMO⁶⁶ utgår man fortfarande från de halter som rådde 1980, trots att forskarna nu anser att halterna var över det naturliga redan 1960. Bedömningen är dock att 1980 års värden ändå anses vara tillräckliga för att det inte ska föreligga någon risk för uppkomst av ett så kallat ozonhål. Halten EESC har enligt internationell expertis ansetts som en god indikator på tillståndet när det gäller ozonnedbrytande ämnen. Montrealprotokollet har i dagsläget resulterat i en 98-procentig utfasning av de ozonnedbrytande ämnen som regleras. De återstående två procenten utgörs i huvudsak av HCFC (ersättning för CFC)⁶⁷.

Preciseringen förutsätter även en minskning av andra ozonnedbrytande ämnen. I dagsläget är till exempel utsläppen av lustgas, som regleras av Parisavtalet, större än för någon annan ozonnedbrytande gas med avseende på ämnets ozonnedbrytande potential. De globala utsläppen av lustgas ökar, även om siffrorna är osäkra. Utsläpp och halter av lustgas följs upp genom att analysera trenderna för nationella och globala utsläpp samt halter i atmosfären.

Både globalt och nationellt utgör utsläppen från befintliga och uttjänta produkter ett av de stora återstående problemen. Beträffande de svenska utsläppen så uppstår dessa i första hand som läckage av CFC från isoleringsmaterial, som använts i väggar, tak, golv samt runt varmvattenberedare och fjärrvärmerör. Läckaget uppstår främst när byggnader som uppförts eller tilläggsisolerats från 1960 till mitten av 1990 ska rivs. I stället för att förbrännas på anläggningar som klarar av att destruera CFC, hamnar en stor andel av isoleringsmaterialet på vanliga sopförbränningsanläggningar eller läggs på deponier. I Sverige kan destruktionsanläggningar. Här särredovisas emellertid inte varifrån de ozonnedbrytande ämnena kommer, varför uppföljningen av de nationella utsläppen i stället får göras i form av beräkningar och utredningar⁶⁸.

Insikten att även kortlivade ozonnedbrytande ämnen kan nå upp till ozonlagret och där bidra till uttunnningen av ozonskiktet är relativt ny. Dessa ämnen utgörs av både syntetiska klorerade föreningar och naturliga bromerade föreningar. Detta innebär att ett antal kortlivade ämnen, som ännu inte regleras under Montrealprotokollet, måste räknas in som potentiellt ozonnedbrytande ämnen.

⁶⁶ Assessment for Decision-Makers: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 56, Geneva, Switzerland, 2014.

⁶⁷ <http://ozone.unep.org/en/focus/montreal-protocol-achievements-date-and-challenges-ahead>

⁶⁸ IVL. Emissioner och kvarvarande mängder CFC i Sverige, B2016, version 2, 2012.

2. Gapanalys – analys av förutsättningar och effekter

2.1 Aktörer, drivkrafter och beteenden

Globalt sett är det produktionen av ozonnedbrytande ämnen som i första hand lett till nedbrytningen av ozonskiktet. Ämnena har bland annat använts i kyl- och frysutrustning, klimatanläggningar, isoleringsmaterial, brandsläckningsutrustning och bekämpningsmedel inom jordbruket.

I takt med att produktion och utsläpp av flertalet av de ozonnedbrytande ämnena successivt minskat inom ramen för Montrealprotokollets utfasnings-schema, har utsläpp av ämnen som inte omfattas av protokollet fått en ökad betydelse. Framför allt har utsläppen av lustgas fått en alltmer framträdande roll. De globala, antropogena utsläppen av lustgas kommer främst från jordbrukets gödselhantering och djurhållning. Detta sker främst genom att kväve tillförs via mineralgödsel, stallgödsel och kvävefixerande växter för att sedan omvandlas till lustgas i marken. Även industriell produktion, främst tillverkning av salpetersyra och adipinsyra tillsammans med förbränning av fossila bränslen, skogsbränder inklusive förbränning av skörderester samt reningsverk står för betydande direkta utsläpp av lustgas⁶⁹. Dessutom bidrar jordbrukets kvävehantering samt all förbränning av fossila bränslen även indirekt genom utsläpp av kväveoxider, som efter deposition på mark och vatten kan omvandlas till lustgas.

Det finns även kvar stora mängder ozonnedbrytande ämnen i befintliga och uttjänta produkter. Här är det framför allt brister i omhändertagandet av dessa som leder till utsläppen.

Flera kortlivade ämnen som tidigare inte bedömts utgöra ett hot mot ozonskiktet regleras inte inom Montrealprotokollet. En stor andel av dessa består av naturliga emissioner från mark och vatten och förväntas öka i samband med klimatförändringen. Resterande är dock industrikemikalier och används till exempel som lösningsmedel eller vid framställandet av andra ämnen.

Nationellt är det utsläppen från befintliga och uttjänta produkter som står för merparten av våra kvarvarande utsläpp. Även i Sverige domineras dock utsläppen totalt sett av lustgas. I första hand kommer dessa från jordbruket men även energisektorn, industriprocesser och produktanvändning samt hantering av avloppsvatten bidrar.

⁶⁹ UNEP. Drawing Down N2O to Protect Climate and the Ozone Layer, 2013.

2.2 Centrala styrmedel och åtgärder samt deras effekter på miljötillståndet

2.2.1 Utsläpp som regleras under Montrealprotokollet

Montrealprotokollet utgör tillsammans med EU-förordningen (2009/1005) och den nationella förordningen (2007:846) de centrala styrmedlen för att nå det önskade miljötillstånd som miljö kvalitetsmålet eftersträvar. Samtliga tre styrmedel har varit i bruk sedan länge och bedöms i stora drag ha lett till förväntade effekter. Sedan 1987, då protokollet beslutades, har produktionen av ozonnedbrytande ämnen, mätt som ODP⁷⁰, minskat med ca 98 procent⁷¹.

Modelluppskattningar gjorda av United States Environmental Protection Agency indikerar att ett fullständigt genomförande av Montrealprotokollet förväntas förhindra 432 miljoner fall av keratinocyt cancer (icke-melanom hudcancer) och 11 miljoner fall av melanom i USA för personer födda åren 1890–2100. Det förväntas också förhindra 2,3 miljoner dödsfall av hudcancer (främst melanom, men också kutan skivepitel cancer) och 63 miljoner fall av grå starr. Dessa siffror är större än tidigare uppskattningarna på grund av uppdaterade fysikalisk-kemiska parametrar, förbättrade UV-strålningsberäkningar och uppdaterade befolkningsdata⁷².

Även om avvecklingsarbetet under Montrealprotokollet i det hela fortskrider enligt schemat finns det fortfarande möjligheter för undantag och dispenser från förbud att använda ozonnedbrytande ämnen. Detta gäller bland annat metylbromid, CFC-er, koltetraklorid (CCl₄) och HCFC-er. Behovet av att få kontroll på och hantera dessa utsläpp demonstreras till exempel av CCl₄, för vilken stora globala utsläpp återfinns, varav en stor del inte rapporteras och tros komma från pågående industriella produktionsprocesser⁷³.

Ett ytterligare problem utgörs av de utsläpp som sker i strid mot Montrealprotokollet som till exempel de utsläpp av CFC-11 som nu till stor del åtgärdats. Utsläppen har minskat betydligt de senaste åren och om den nuvarande positiva utvecklingen fortsätter kommer skadorna på ozonskiktet från flera års olagliga utsläpp att vara relativt små⁷⁴.

2.2.2 Övrig reglering

De globala utsläppen av lustgas har ökat sedan 90-talet även om ökningen avstannat under 2018 (som är det senaste året med tillgängliga data). Det är emellertid viktigt att tydliggöra att lustgasutsläppen inte bedöms hindra uppfyllandet av miljö kvalitetsmålet (påbörjad återväxt). Utsläppen kan däremot försena en fullständig återhämtning betydligt. Detta är allvarligt nog, med tanke på de ytterligare fall av

⁷⁰ ODP (Ozone Destructive Potential) står för den ozonnedbrytande potential en förening har jämfört med CFC-11 (CFC-11 har ett ODP-värde = 1).

⁷¹ Solomon, S. M.fl. Unfinished business after five decades of ozone-layer science and policy. *Nature Communications*. 2020.

⁷² Neale, R.E. m.fl. Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2021

⁷³ Martin K. Vollmer m.fl. Unexpected nascent atmospheric emissions of three ozone depleting hydrochlorofluorocarbons. *PNAS*. 2021.

⁷⁴ Sunyoung Park m.fl. A decline in emissions of CFC-11 and related chemicals from eastern China. *Nature*. 2021.

exempelvis hudcancer och ögonstarr som ett uttunnat ozonskikt medför. Resultat från en global inventering av lustgasutsläpp visar att Afrika står för de största utsläppen av lustgas under det senaste decenniet följt av Sydamerika och södra Asien. Inventeringen pekar även på ökande lustgasutsläpp i tillväxtekonomier, särskilt Brasilien, Kina och Indien mellan 2007 och 2016.⁷⁵ Lustgas regleras under Parisavtalet. Här finns emellertid inte några direkta krav på minskningar av specifika ämnen (se avsnitt 1.2.3). Förhoppningarna om att klimatkonventionen ska leda till minskade utsläpp av lustgas har dock ökat sedan Parisavtalet trädde i kraft i november 2016. Inte minst eftersom många av ländernas fastställda nationella åtaganden (Nationally Determined Contributions, NDC) omfattar åtgärder som kan leda till minskade utsläpp. Även flera utvecklingsländer med stora lustgasutsläpp lämnade in åtaganden som innehöll sådana åtgärder. Markanvändning och lantbruk var också frågor som diskuterades på FN:s klimatomöte COP26 i Glasgow och kan komma att få en positiv inverkan på lustgasutsläppen. En global översyn för att följa upp framstegen mot Parisavtalets mål kommer att ske med start 2023. I en vetenskaplig artikel publicerad under 2020 görs bedömningen att man nu har tillräckligt med kunskap och teknologi för att länder, i sina kommande NDC-er, ska kunna ta fram specifika mål och strategier för att minska lustgasutsläppen⁷⁶. Detta anses, enligt samma artikel, även bli kostnadseffektivt om man räknar hem alla de synergier som minskade utsläpp av kväve för med sig. Forskarna bakom en annan vetenskaplig artikel visar samtidigt att många länders kvävepolicy har brister, som bland annat beror på svårigheten att hantera frågans komplexitet. Bland annat har länder generellt sett fler styrmedel och policyer inom jordbrukets matproduktion som främjar kväveanvändning än som förhindrar dess miljöpåverkan⁷⁷.

Ett annat viktigt styrmedel för att påverka utsläpp av lustgas från jordbrukssektorn och dess markanvändning är EU:s gemensamma jordbrukspolitik (CAP). I Sverige genomförs CAP till stor del genom landsbygdsprogrammet. Ett nytt program håller på att tas fram för perioden 2023–2027 (se avsnitt 1.2.3) och den slutliga miljöeffekten beror sedan på vilka åtgärder Sverige väljer att införa, hur många lantbrukare som väljer att söka stöd samt hur stor den slutliga budgeten blir. Det är emellertid viktigt att tydliggöra att lustgasutsläppen inte bedöms hindra uppfyllandet av miljö kvalitetsmålet (påbörjad återväxt), men kan tillsammans med andra faktorer försena en fullständig återhämtning.

Beträffande reglering i övrigt för att minska utsläpp av kväveföreningar till luft och vatten hänvisas till uppföljningen av miljö kvalitetsmålen *Ingen övergödning, Bara naturlig försurning* och *Frisk luft*.

2.2.3 Befintliga och uttjänta produkter

Utsläpp från befintliga och uttjänta produkter beräknas ur ett globalt perspektiv nu bidra till en större andel av den framtida ozonnedbrytningen än utsläppen från samtliga de ämnen som regleras under Montrealprotokollet⁷⁸. I en rapport framtida-

⁷⁵ Hanqin Tian m.fl. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*. 2020.

⁷⁶ David R Kanter m.fl. Building on Paris: integrating nitrous oxide mitigation into future climate policy. *Science-Direct* 2020.

⁷⁷ David R. Kanter m.fl. Gaps and opportunities in nitrogen pollution policies around the world. *Nature Sustainability*, 2020.

⁷⁸ Assessment for Decision-Makers: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 56, Geneva, Switzerland, 2014.

gen av Naturvårdsverket⁷⁹, görs bedömningen att endast 10 procent av CFC i isoleringsmaterial i Sverige tas om hand vid rivning och ombyggnationer. Den främsta orsaken är, enligt rapporten, bristande kunskap. Bristerna berör en rad områden, exempelvis vilken miljöpåverkan CFC har, hur man ska göra för att identifiera det, och hur det ska tas om hand. Vidare berör den bristande kunskapen så gott som alla aktuella aktörer: fastighetsägare, inventerare, inblandade entreprenörer, tillsynsmyndigheter, sorteringsanläggningar och förbränningsanläggningar. Det finns ingen som tyder på att detta skulle vara ett unikt problem för Sverige – övriga länder brottas förmodligen med en liknande problematik.

Det informationsarbete som har bedrivits från Naturvårdsverket och Boverket har ökat kunskapen om problemet, och har även fått genomslag i åtgärdsarbetet. Det framgår bland annat av de senaste årliga regionala uppföljningarna av miljömålen⁸⁰. Det finns dock behov av ytterligare insatser främst inom kommunerna samt genom Sveriges medverkan inom ramen för Montrealprotokollet. Bidrag till den multilaterala fonden för utfasningen av ozonnedbrytande ämnen samt kunskapsöverföring blir därmed fortsatt viktigt.

2.2.4 Summering

De centrala styrmedlen Montrealprotokollet, EU-förordningen (2009/1005) och den nationella förordningen (2007:846) har gett den effekt som behövs för att nå det miljötillstånd som eftersträvas. Samtliga tre styrmedel har varit i bruk sedan länge och sedan 1987, då protokollet beslutades, har produktionen av reglerade ozonnedbrytande ämnen, minskat med ca 98 procent.

Beträffande utsläpp av lustgas som regleras under Parisavtalet har detta ännu inte lett till de förändringar av de beteenden eller aktiviteter som eftersträvas. Ett annat viktigt styrmedel för att påverka utsläpp av lustgas från jordbrukssektorn är EU:s gemensamma jordbrukspolitik (CAP). I Sverige genomförs CAP till stor del genom landsbygdsprogrammet. Ett nytt program håller på att tas fram för perioden 2023–2027 (se avsnitt 1.2.3) och den slutliga miljöeffekten beror sedan på vilka åtgärder Sverige väljer att införa, hur många lantbrukare som väljer att söka stöd samt hur stor den slutliga budgeten blir. Det är emellertid viktigt att tydliggöra att lustgasutsläppen inte bedöms hindra uppfyllandet av miljö kvalitetsmålet (påbörjad återväxt), men kan tillsammans med andra faktorer försena en fullständig återhämtning.

Sammanfattningsvis bedöms de aktiviteter och åtgärder, som är en följd av de centrala styrmedlen, påverka miljötillståndet så att det på sikt kan nås. Detta understryks av det faktum att nedbrytningen av ozonskiktet har upphört och allt fler indikationer pekar på en återväxt samtidigt som de ozonnedbrytande ämnena fortsätter att minska i stort.

⁷⁹ WSP. Utvärdering av återvinning av CFC i byggisoleringsmaterial, 2013.

⁸⁰ Regional uppföljning av miljömålen: <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/>

2.3 Övrig påverkan

2.3.1 Klimatets och växthusgasernas påverkan på ozonskiktet

Den fortsatta utvecklingen av ozonskiktet beror inte enbart på mängden ozonnedbrytande ämnen. Genom sin förmåga att hålla kvar jordens värmeutstrålning påverkar mängden växthusgaser stratosfärens temperatur och cirkulation. En ökning av växthusgaserna bedöms på så vis leda till en fortsatt nedkylning av stratosfären. Nedkylningen minskar nedbrytningshastigheten av ozon och bidrar till en förstärkt transport av ozonrik luft till polarområdena. Under förutsättning att klor- och bromhalterna i atmosfären hålls låga, bedöms båda dessa förändringar (minskad nedbrytning av ozon samt transport av ozonrik luft) tillsammans leda till en ökning av ozonet över polarområdena. Om halterna av klor och brom i stället fortsätter att vara förhöjda kan det leda till en ökad nedbrytning av ozonet. Nedkylningen av stratosfären ökar nämligen förutsättningarna för bildandet av polarstratosfäriska moln. Dessa moln katalyserar ozonnedbrytningen samtidigt som stora mängder ozonnedbrytande ämnen ackumuleras. Detta har störst betydelse för Arktis på grund av att stratosfärens temperatur där, till skillnad från Antarktis, normalt sett inte är så låg att polarstratosfäriska moln bildas. De kraftiga uttunningsarna över Arktis 2011 och 2020 var lika stora i omfång som över Antarktis i mitten av 1980-talet. En fortsatt ökning av växthusgaserna riskerar att öka förutsättningarna för liknande framtida episoder.

Högre temperaturer kan även leda till ökande utsläpp av naturliga kortlivade bromerade föreningar från hav utmed ekvatorn. Dessutom förstärks specifika väderförhållanden, exempelvis den asiatiska sommarmonsunen vilket ökar risken för att både naturliga och antropogena kortlivade ämnen hinner nå stratosfären innan de bryts ner. Vidare kan ett varmare klimat medföra en ökad frekvens av vegetationsbränder, som i sin tur ger upphov till ökade utsläpp av kortlivade föreningar som klormetan (CH_3Cl) och brommetan (CH_3Br) samt lustgas⁸¹. Högre temperaturer som medför allt allvarigare skogsbränder kan enligt en ny forskningsstudie även leda till att partiklarna i röken till slut når upp till stratosfären ovanför såväl nord- som sydpolen för att där bidra till bildandet av polarstratosfäriska moln som katalyserar nedbrytningen av ozon⁸².

Samtidigt som den positiva utvecklingen för de reglerade ämnen i stora drag fortsätter, ökar vikten av att hantera de återstående problemen. Det framgår allt tydligare att framtida utsläpp av koldioxid, metan och lustgas kommer att spela en väldigt viktig roll för ozonskiktets fortsatta utveckling, genom den effekt dessa växthusgaser har på klimatet och den kemiska sammansättningen i atmosfären. Modeller visar att ökade halter av koldioxid och metan sannolikt kommer att bidra till en ökning av ozonhalterna, medan ökade halter av lustgas kommer att bidra till en minskning⁸³.

⁸¹ Qing Liang, m.fl. Concerns for ozone recovery Climate change mitigation and compliance with the Montreal Protocol are crucial for ozone layer recovery. *Science* vol. 358, 2017.

⁸² Kevin Ohneiser m.fl. The unexpected smoke layer in the High Arctic winter stratosphere during MOSAiC 2019–2020. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2021.

⁸³ World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

2.3.2 Vulkanutbrott och Geoingenjörskonst

Så länge halterna av ozonnedbrytande ämnen fortfarande är höga, skulle en kraftig tillförsel av svaveldioxid till stratosfären kunna åstadkomma en ökad nedbrytning av ozonskiktet genom bildandet av polarstratosfäriska moln (se även avsnitt 2.3.1). Svaveldioxid skulle kunna nå stratosfären efter exempelvis ett större vulkanutbrott. Tillförsel av svaveldioxid eller andra partiklar skulle också kunna ske avsiktligt i framtiden genom så kallad geoingenjörskonst, där man på storskalig nivå försöker manipulera klimatet för att begränsa den pågående uppvärmningen av jorden. Trots de uppenbara riskerna med en sådan avsiktlig manipulering i stor skala, har intresset för geoingenjörskonst ökat de sista åren som en sista utväg att balansera klimatet. En ökad mängd partiklar i syfte att manipulera klimatet kommer dock sannolikt att öka den globala ozonnedbrytningen⁸⁴.

2.3.3 Rymdturism

I dagsläget utgör rymdresor en mycket liten källa till ozonnedbrytande ämnen. Rymdturism är i sin linda men skulle kunna utgöra ett potentiellt problem i framtiden. Beroende på vilket bränsle som används kan dock klor och kväveoxider frigöras direkt i stratosfären. En studie väntas snart vara klar där man beräknar vad en växande rymdturism kan komma att betyda för luft och klimat, baserat på bränslen som används och företagens prognoser om antalet rymdresor⁸⁵. En möjlig åtgärd skulle till exempel kunna vara att reglera vilka bränslen som får användas för rymdresor i framtiden.

2.4 Osäkerheter

Redan tidigare har det funnits en osäkerhet kring frågan om ozonskiktets påbörjade återhämtning som grundar sig i naturliga variationer i ozonskiktets tjocklek och klimatets fortsatta påverkan. Denna osäkerhet har på senare tid ökat i takt med ökad kunskap om frågans komplexitet. Särskilt svårt är det att jämföra befintliga data om ozonskiktet, som vanligtvis sträcker sig några decennier bakåt i tiden, med prognoser om ozonskiktet hundratals år i framtiden – så som förutsågs av de modeller som används. Flera andra faktorer ökar osäkerheten, bland annat:

- att förekomsten av vissa utfasade ämnen under Montrealprotokollet inte minskar som förväntat samt osäkerheter beträffande uppskattningen av nutida och framtida utsläpp av dessa ämnen,
- upptäckten att oreglerade kortlivade ämnen kan nå stratosfären,
- att lustgasutsläppen fortsätter att öka,
- att befintliga eller uttjänta produkter, så kallade banker, fortsätter att läcka ozonpåverkande ämnen till omgivningen samt
- indikationer på att ozonskiktet minskar i den nedre stratosfären (där merparten av ozonet finns).

⁸⁴ <https://ozone.unep.org/meetings/11th-meeting-ozone-research-managers-part-ii>. Session 7: Discussion on and adoption of the recommendations.

⁸⁵ Rockets and Air Pollution. Robert Ryan, University College London

2.5 Sammanfattande tabell

Tabell 1. Miljöarbetet utifrån centrala styrmedel⁸⁶

Tabellen sammanfattar analysen av miljöarbetet och tydliggör eventuellt genomförandeunderskott, det vill säga var i kedjan brister finns. Tabellen utgör utgångspunkt och stöd till tabell 2 nedan. Ett (x) sätts i en av kolumnerna 3–5, beroende på var styrmedlet befinner sig i implementeringskedjan. Ett (x) anges i kolumn 6 och 7 om effekten av styrmedel är tillräcklig för att miljö kvalitetsmålet ska kunna nås på sikt. Otillräcklig kunskap anges som (-).

Precisering / centralt uppföljningsmått	Centralt styrmedel	Styrmedel utformas	Införande planeras	Förvaltningsåtgärder genomförs	Effekt i samhället, förändrad aktivitet	Miljöeffekt, förändrat miljö tillstånd
Ozonskiktets vändpunkt och återväxt	Montreal-protokollet			x	x	x
	EU-förordning 1005/2009			x	x	x
	Nationell förordning 2007:846			x	x	x
Ofarliga halter ozonedbrytande ämnen	Montrealprotokollet			x	x	x
	EU-förordning 1005/2009			x	x	x
	Nationell förordning 2007:846			x	x	x
Nationella utsläpp av CFC	Nationell förordning 2007:846			x	x	x
	Plan- och bygglagen			x	-	
	Informationsinsatser			x	x	

⁸⁶ Styrmedel för att motverka utsläpp av kväveföreningar (som kan omvandlas till lustgas) hanteras framför allt inom miljömålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*.

2.6 Sammanfattande gapanalys

Tabell 2. Sammanfattande gapanalys

Tabellen sammanfattar bedömningen av målets olika delar utifrån avsnitt 1 och 2. Kolumn 1–4 utgörs av information om tillståndet i miljön, kolumn 5 beskriver rådigheten över måttets utveckling och kolumn 6–9 utgörs av bedömning av vilka förutsättningar kommer finnas på plats 2030. Ett mål bedöms som möjligt att nå om antingen tillståndet i miljön kan nås, eller om beslutade styrmedel leder till att tillräckliga åtgärder blir genomförda för att på sikt nå miljö kvaliteten. Styrmedels och åtgärders effekt anges på fallande skala 2–5, där 5 anger att styrmedel respektive åtgärder är fullt ut tillräckliga. 1 visar att kunskapen är bristfällig.

Precisering/ centralt uppföljningsmätt	Uppföljningsmåtts bidragande andel till mål-uppfyllelsen	Nivå som behövs nås	Aktuell situation / nivå som är nådd idag	Rådighet över måttets utveckling	Målfyllelse 2030 per uppföljningsmätt om styrmedel och åtgärder är på plats och fungerar som tänkt	Bedömning av effekt av styrmedel på plats till 2030	Bedömning av effekt av åtgärder på plats till 2030	Bedömning som helhet
Ozonskiktets vändpunkt och återväxt	Hög	Återväxten av ozonskiktet ska ha påbörjats, vilket följs upp via ett referensvärde (tillståndet 1980) och trend	Medel ^a	Svenskt: 1% EU/internationellt: 99%	Stor utsträckning	4	4	Ja
Ofarliga halter ozonnedbrytande ämnen	Hög	Förändring, vilket följs upp via ett referensvärde (tillståndet 1980) och trend	Medel ^b	Svenskt: 1% EU/internationellt: 99% ^c	Stor utsträckning	4	4	Ja

a) I övre stratosfären, mellan 60 grader nord och 60 grader syd, liksom över Antarktis har en säkerställd ökning kunnat påvisas. I nedre stratosfären (där det mesta ozonet finns ansamlat) finns en tendens till minskning (ej säkerställd). För totalcolumnen ozon globalt finns en tendens till ökning (ej säkerställd).

b) Även om flertalet av de reglerade ozonnedbrytande ämnen minskar enligt Montrealprotokollets nedfasningsplan så uppvisar t.ex. koltetraklorid (CCl₄) och CFC-11 oförklarligt höga utsläpp. Samtidigt sker oreglerade utsläpp av lustgas, kortlivade ämnen samt utsläpp från befintliga och uttjänta produkter.

c) De kvarvarande utsläppen i Sverige är mycket små jämfört med de globala utsläppen (betydligt mindre än 1% för såväl CFC som lustgas).

2.7 Andra aspekter av målet

På våra breddgrader är UV-strålning under molnfria förhållanden förhöjd med cirka fem procent jämfört med referensvärdet för 1980⁸⁷. Eventuella effekter på UV-strålningen som en följd av ozonskiktets positiva utveckling från år 2000 och framåt, har ännu inte kunnat fastställas då de naturliga variationerna är stora. Antalet fall av hudcancer fortsätter emellertid att öka⁸⁸. Förändringar i UV-strålningen, såväl observerade historiska förändringar som framtida uppskattade förändringar, bedöms på våra breddgrader emellertid vara små i förhållande till den överexponering som olämpliga solvanor medför.

I områden med kraftig uttunning av ozonskiktet pekar forskningsresultat på att ökad UV-strålning kan minska växtproduktionen på land⁸⁹.

Resultat från modeller baserade på ozonskiktets förändringar under perioden 2000–2100 indikerar att det kan ske en ökning av UV-strålning över tropikerna och en minskning över de mellersta och högre breddgraderna. Detta kan i sin tur medföra en risk för en ökning av antalet hudcancerfall i tropikerna, samtidigt som det finns en möjlig risk för att UV-strålningen på de mellersta och högre breddgraderna kommer att vara för låg för produktion av tillräckligt med D-vitamin⁹⁰.

⁸⁷ Jay R. Herman. Global increase in UV irradiance during the past 30 years (1979–2008) estimated from satellite data. *Journal of geophysical research*, vol. 115, D04203, doi:10.1029/2009JD012219. 2010.

⁸⁸ <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/6-Saker-stralmiljo/>.

⁸⁹ Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2018.

⁹⁰ 9th Meeting of the Ozone Research Managers of the Vienna Convention (recommendations). 2014.

3. Bedömning av måluppfyllelse - när vi miljökvalitetsmålet?

3.1 Bedömning av måluppfyllelse

JA → Miljökvalitetsmålet är uppnått eller kommer kunna nås.

3.1.1 Gemensam bedömning för miljökvalitetsmålet två preciseringar

För att miljökvalitetsmålet preciseringar ska anses vara uppnådda ska återväxten av ozonskiktet ha påbörjats, och orsaken ska vara kopplad till att halterna av ozonnedbrytande ämnen inte längre påverkar ozonskiktet negativt. Eftersom de båda preciseringarna på så vis är beroende av varandra görs nedan en gemensam bedömning av de båda preciseringarna.

3.1.2 Analys

Trots osäkerheter och delvis negativa trender är det Naturvårdsverkets bedömning att Montrealprotokollet på sikt har kapacitet att hantera dessa utmaningar. Detta kan ske genom fortsatta insatser på ett antal områden:

- Miljöövervakning – som ger bättre mätdata och längre tidsserier.
- Forskning och utveckling – som bland annat leder till bättre modeller och ökad datakvalitet.
- Åtgärder i syfte att hantera utsläpp av ämnen i strid mot Montrealprotokollet.
- Att till Montrealprotokollet införliva nya ämnen som hotar ozonskiktet.
- Att säkerställa ekonomiska resurser till den multilaterala fonden, som syftar till att stödja utvecklingsländernas genomförande av Montrealprotokollet.
- Fortsatt nationellt arbete med att öka kunskapen om vikten att omhänderta rivningsavfall.
- Fortsatt arbete med att minska utsläpp av kväveföreningar.

Tidigare bedömningar har utgått från att minskningen av ozon i nedre stratosfären kan ha orsakats av antingen förändringar i luftutbytet mellan troposfär och stratosfär, naturliga mellanårsvariationer eller kortlivade ozonnedbrytande ämnen. Om det, så som ny forskning antyder, visar sig att jod från havet spelar en roll i nedbrytningen av ozonet i nedre stratosfären – genom att marknära ozon från land kan reagera med havsytan – kan även det framöver leda till en bekymmersam utveckling för ozonskiktets utveckling.

Eftersom kväveföreningar i atmosfären kan omvandlas till lustgas, är det viktigt att minska utsläppen även av dessa, framför allt ammoniak och kväveoxider. Den pågående ökningen av utsläppen av såväl ammoniak som lustgas kan komma att försena en fullständig återhämtning av ozonskiktet.

Det är i sammanhanget viktigt att poängtera att åtgärder som leder till minskade utsläpp av kväveföreningar även ökar förutsättningarna att nå många andra miljökvalitetsmål, bland annat *Begränsad klimatpåverkan*, *Ingen övergödning*, *Bara naturlig försurning* och *Frisk luft*.

Nationellt behöver åtgärdsarbetet mot utsläpp från uttjänta produkter och utsläpp av lustgas fortsätta. Inte minst i syfte att få genomslagskraft i det fortsatta internationella förhandlingsarbetet, där det är viktigt att kunna visa på ett framgångsrikt nationellt åtgärdsarbete. Genom att föregå med gott exempel kan Sverige påverka det internationella arbetet och påskynda nödvändiga tekniska omvandlingar på ett sätt som maximerar den globala insatsen.

Utifrån länens regionala uppföljningar av miljökvalitetsmålet *Skyddande ozonskikt* framgår att frågan om de kvarstående utsläppen får fortsatt ökad uppmärksamhet. Här redovisades även ett antal konkreta åtgärder för att minska utsläpp av CFC, HCFC och lustgas, och synergieffekterna med andra miljömål lyfts allt oftare. Samtidigt pekar de regionala uppföljningarna även på brister där behovet av ökad tillsyn, samordning och mer information fortfarande utgör de vanligaste. Särskilt viktigt i sammanhanget är att den kunskap och information som finns tillgänglig också förs vidare till de kommunala aktörerna som i olika steg är inblandade i hanteringen av rivningsavfall. Detta kan exempelvis ske med stöd av länsstyrelserna som har ansvar för tillsynsvägledning mot kommunerna. Här finns fortfarande en förbättringspotential som kan åtgärdas med relativt enkla och kostnadseffektiva medel och som även ger klimatnytta.

4. Prognos för utveckling – hur långt räcker åtgärdsarbetet?

4.1 Utvecklingen av miljötillståndet till 2030



NEUTRAL. Det går inte att se en tydlig riktning för utvecklingen i miljön. Under de senaste åren har inget av betydelse skett och/eller det går inte att se någon tydlig utveckling för miljötillståndet nu eller till 2030; alternativt positiva och negativa utvecklingsriktningar inom målet tar ut varandra.

4.1.1 Analys

Det går i nuläget inte med statistisk säkerhet se att återhämtningen av ozonskiktet har påbörjats. Forskare bedömer att en säkerställd återväxt av ozonskiktet förväntas inträffa någon gång under perioden 2020–2040⁹¹.

De flesta reglerade ozonnedbrytande ämnen uppvisar en minskande trend beträffande både utsläpp och halter i atmosfären, det gäller såväl nationellt som globalt. De utsläpp av ozonnedbrytande ämnen som inte regleras av Montreal-protokollet ökar dock samtidigt i betydelse. Hit hör utsläppen från befintliga och uttjänta produkter samt utsläppen av kortlivade ozonnedbrytande ämnen och lustgas. Denna utveckling bedöms fortsätta.

Dessutom har kunskapen om frågans komplexitet ökat. Framför allt handlar det om osäkerhet om hur den pågående klimatförändringen kan påverka ozonskiktet genom:

- den storskaliga atmosfärens dynamik (cirkulationen) och atmosfärens kemi,
- ökade utsläpp av lustgas och naturliga kortlivade ämnen från vatten och mark samt
- förstärkta väderförhållanden, exempelvis monsuner, som kan transportera upp kortlivade ämnen till stratosfären inklusive jod.

Ovan nämnda osäkerhetsfaktorer innebär dock att utvecklingen av miljötillståndet, som tidigare varit positiv, har ändrats. Det går i nuläget inte att se en tydlig trend för miljötillståndet. Detta ställer krav på ytterligare globala atmosfärkemiska mätningar samt ett ökat behov av att utveckla modeller som kan hantera en större komplexitet.

⁹¹ WMO Global Ozone Research and Monitoring Project Report No. 57, 2017.

4.2 Utvecklingen av miljötillståndet på längre sikt, efter 2030

4.2.1 Halten klor i stratosfären

Halterna av de reglerade ämnena (räknat som effektiva klorekvivalenter, EESC) kommer enligt modellberäkningar till 2100 att fortsätta att minska även efter 2030. Globalt (mellan 60 grader nord och 60 grader syd) kommer halterna att vara tillbaka till referensvärdet⁹² ca 2060 medan Antarktis och Arktis når referensvärdet några år senare⁹³. Fortsatta utsläpp i strid mot Montrealprotokollet samt utsläpp från oreglerade ämnen kan dock komma att senarelägga de beräknade årtalen.

4.2.2 Halten Lustgas i atmosfären

Utsläpp av lustgas är i dag större än för någon annan ozonnedbrytande gas, och såväl utsläpp som halter fortsätter att öka globalt. Under de kommande decennierna förväntas utsläppen fortsätta att öka till följd av den ökande efterfrågan på t.ex. mat, foder och energi samt en ökning av källor från avfallsproduktion och industriprocesser. En stor andel utgörs även av naturliga källor som även dessa bedöms öka i takt med stigande temperaturer som en följd av klimatförändringen. Enligt samtliga scenarios i IPCC:s femte utvärderingsrapport ökar den globala halten lustgas⁹⁴.

4.2.3 Fullständig återväxt globalt

Utvecklingen av ozonskiktet på längre sikt kommer att vara komplex, med förväntade ökning och minskningar i olika regioner. Förutsatt en fullständig efterlevnad av Montrealprotokollet förväntas ozonskiktet över norra halvklotet (på breddgrader mellan 30 grader nord och 60 grader nord) återgå till referensvärdet⁹⁵ kring 2030 och för södra halvklotet (på breddgrader mellan 30 grader syd och 60 grader syd) kring 2050⁹⁶.

4.2.4 Återväxt över Antarktis och Arktis

Ozonhålet över Antarktis bedöms vara fullständigt återhämtat under 2060-talet medan ozonhålet över Arktis bedöms vara fullständigt återhämtat före mitten av århundradet⁹⁷. I denna bedömning inkluderas dock inte effekten av kortlivade ozonnedbrytande ämnen. Om till exempel nuvarande ökning av halten diklorometan i atmosfären fortsätter kan ozonskiktets återhämtning riskera en förse-

⁹² År 1980 då ozonskiktet ännu ansågs opåverkad av mänskliga utsläpp av ozonnedbrytande ämnen.

⁹³ World Meteorological Organization (WMO), Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer: 2018 Update. Scientific Assessment of Ozone Depletion. 2018.

⁹⁴ Hanqin Tian m.fl. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. Nature. 2020.

⁹⁵ Medelvärdet 1964–1980.

⁹⁶ World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

⁹⁷ World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland, 2018.

ning med upp till 30 år enligt en ny forskningsrapport⁹⁸. Bedömningen innehåller många osäkerheter och det finns dessutom flera andra kortlivade ämnen som kan komma att påverka utvecklingen. Enligt en ny vetenskaplig rapport bedöms till exempel återhämtningen av ozonhålet över Antarktis ske mellan 2060 och 2080⁹⁹. Till skillnad från Antarktis, kommer tidpunkten för återhämtningen av ozonet över Arktis även att vara starkt påverkat av den pågående klimatförändringen.

⁹⁸ Ryan Hossaini m.fl. The increasing threat to stratospheric ozone from dichloromethane. *Nature Communications* 8, Article number: 15962 doi:10.1038/ncomms15962, 2017.

⁹⁹ Susan E. Strahan and Anne R. Douglass. Decline in Antarctic Ozone Depletion and Lower Stratospheric Chlorine Determined From Aura Microwave Limb Sounder Observations. *Geophysical Research Letters*, Volume 45, 2018.

5. Behov av styrmedel och åtgärder – vad krävs för att målet ska nås?

5.1 Åtgärdsförslag

De centrala styrmedlen Montrealprotokollet, EU-förordningen (2009/1005) och den nationella förordningen (2007:846) har gett den effekt som behövs för att nå det miljötillstånd som eftersträvas. Samtliga tre styrmedel har varit i bruk sedan länge och sedan 1987, då protokollet beslutades, har produktionen av reglerade ozonnedbrytande ämnen, minskat med ca 98 procent.

Beträffande utsläpp av lustgas som regleras under Parisavtalet har detta ännu inte lett till de förändringar av de beteenden eller aktiviteter som eftersträvas. Ett annat viktigt styrmedel för att påverka utsläpp av lustgas från jordbrukssektorn är EU:s gemensamma jordbrukspolitik (CAP). I Sverige genomförs CAP till stor del genom landsbygdsprogrammet. Ett nytt program håller på att tas fram för perioden 2023–2027 (se avsnitt 1.2.3) och den slutliga miljöeffekten beror sedan på vilka åtgärder Sverige väljer att införa, hur många lantbrukare som väljer att söka stöd samt hur stor den slutliga budgeten blir. Det är emellertid viktigt att tydliggöra att lustgasutsläppen inte bedöms hindra uppfyllandet av miljökvalitetsmålet (påbörjad återväxt), men kan tillsammans med andra faktorer försena en fullständig återhämtning.

Sett ur ett globalt perspektiv återstår det fortfarande mycket att göra för att säkerställa en positiv utveckling för ozonskiktet. Framför allt är det i utvecklingsländerna det resterande åtgärdsarbetet behöver ske. Det är följaktligen främst internationellt, inom ramen för Montrealprotokollet och EU, som Sverige i dag kan verka för att minska de totala utsläppen av ozonnedbrytande ämnen. Genom att fortsätta bidra med ekonomiskt stöd, relevant forskning och övervakning samt kunna visa på ett verkningsfullt, praktisk och kostnadseffektivt nationellt åtgärdsarbete ökar vår trovärdighet och möjligheterna att få gehör i internationella sammanhang. Sådana nationella utsläpp kommer främst från:

- hantering av uttjänta produkter
- förbränning av fossila bränslen (kväveföreningar som kan omvandlas till lustgas)
- jordbruket (lustgas)

Flertalet av nedanstående åtgärdsförslag var aktuella redan i den fördjupade utvärderingen 2019.

5.1.1 Förhandlingsarbetet

Regeringen föreslås ha följande övergripande inriktning i det internationella arbetet inom ramen för Montrealprotokollet och EU:s nationella expertgrupp, som förbereder EU:s position inför förhandlingarna:

- Utvecklingsländer bör inom ramen för Montrealprotokollet få hjälp med att

dels fasa ut användningen av klor-fluor-kolväten (HCFC) dels ersätta HCFC med alternativ som inte har någon negativ miljö- och klimatpåverkande effekt, alternativt så liten effekt som möjligt, enligt redan fattade beslut.

- Användning av metylbromid vid karantän och utskeppning (Quarantine and Pre-shipment, QPS) bör regleras under Montrealprotokollet.
- Insamling och destruktion av upplagrade mängder (så kallade banker) ozonnedbrytande ämnen (i utrustning och material) bör inom ramen för Montrealprotokollet stimuleras för att motverka att dessa ämnen släpps ut i atmosfären.
- Ozonnedbrytande ämnen som råmaterial omfattas inte av Montrealprotokollet, dock bör utsläpp från råmaterialprocesser kartläggas av Montrealprotokollets expertpaneler.
- Verka för en förstärkning av de globala mät- och övervakningssystemen i enlighet med rekommendationerna från FN:s elfte Ozone Research Meeting i syfte att övervaka efterlevnaden av Montrealprotokollet, upptäcka nya ämnen som kan bromsa ozonskiktet återhämtning samt bidra till studier av ozonets utveckling i ett förändrat klimat.
- Montrealprotokollets möjligheter till undantag och dispenser från förbud att använda ozonnedbrytande ämnen bör successivt minska och till slut helt upphöra. Det gäller framför allt metylbromid men även andra ozonnedbrytande ämnen som används som insatsvaror.
- Åtgärder bör vidtas internationellt för att stävja illegal handel med ozonnedbrytande ämnen. Framför allt behöver rutiner gällande rapportering av import och export ses över.
- Nya ämnen som har ozonnedbrytande egenskaper, liksom ozonnedbrytande ämnen som inte är reglerade under Montrealprotokollet, till exempel n-propylbromid, lustgas och kortlivade ozonnedbrytande ämnen, bör utvärderas. Vid behov bör produktion och konsumtion regleras under Montrealprotokollet.

Beträffande förhandlingsarbete i övrigt internationellt och inom EU med koppling till minskade utsläpp av kväveföreningar är det viktigt att Sverige fortsätter att verka för ett internationellt samarbete (se fördjupad utvärdering av miljö kvalitetsmålen *Ingen övergödning*, *Frisk luft* och *Bara naturlig försurning*).

5.1.2 Nationellt åtgärdsarbete

År 2020 var de nationella utsläppen från CFC 96 ton medan motsvarande utsläpp för lustgas var 335 ton (i båda fallen räknat som ODP). Dessutom minskar de nationella utsläppen av CFC kontinuerligt medan utsläppen för lustgas ökat svagt de senaste åren. De utsläpp av CFC som återstår att åtgärda är utsläpp från rivningsmaterial där bedömningen görs att det kvarvarande arbetet i huvudsak handlar om fortsatt informationsarbete på läns- och kommunnivå. Behovet att vidta åtgärder för att minska utsläppen av lustgas från jordbruket är däremot större och utöver nedanstående förslag hänvisas till styrmedel och åtgärder i andra miljömål som till exempel *Ingen övergödning*.

- I syfte att få till ett ökat nationellt omhändertagande och destruktion av kvarvarande CFC i isoleringsmaterial, föreslås att kommunerna ser över samordning och kommunikation mellan de nämnder som ansvarar för tillsynen enligt plan- och bygglagen och tillsynen enligt miljöbalken. Samordningen är särskilt viktig

i samband med att byggnadsnämnden upprättar beslut om rivningslov samt vid beslut om slutbesked. Detta för att säkerställa att avfallet, särskilt det farliga avfallet, omhändertas på ett korrekt sätt. I detta arbete kan länsstyrelserna bistå i sin tillsynsvägladande roll genom att informera och samordna kommunernas tillsynsarbete som rör hantering av CFC-avfall.

- I syfte att minska utsläppen av kväveföreningar är det viktigt att regeringen säkerställer resurser för åtgärder som leder till minskade kväveutsläpp och fortsatt rådgivning till jordbrukare inom ramen för den strategiska plan som utgör det nationella genomförandet av EU:s jordbrukspolitik.

5.1.3 Forskning och övervakning

- Naturvårdsverket bör fortsatt ansvara för att driva de nationella övervakningsprogrammen *Ozonskiktets tjocklek* och *Ozonnedbrytande ämnen* samt delta inom befintliga internationella nätverk för övervakning.
- Det finns behov av forskning som syftar till bättre förståelse av hur utsläppen av lustgas kan minskas i jordbruksverksamhet. Det är en utmaning för både forskningen och jordbruksnäringen att utveckla jordbruksmetoder som effektivt minskar utsläppen av reaktiva kväveföreningar och på så vis motverka bildandet och utsläppen av lustgas från jordbruksmark. Kunskapen är även bristfällig när det gäller avgången av lustgas från det svenska jordbruket eftersom det finns dåligt med mätdata.

Skyddande ozonskikt

Fördjupad utvärdering av miljömålen 2023

Skyddande ozonskikt är ett av de 16 miljö kvalitetsmål som ska visa vägen till ett hållbart samhälle. Miljö kvalitetsmålen är antagna av riksdagen och ska fungera som riktlinjer för det konkreta miljöarbetet.

Rapporten för *Skyddande ozonskikt* utgör underlag till Naturvårdsverkets fördjupade utvärdering av miljö kvalitetsmålen. Innehållet beskriver ozonskiktets tillstånd i dag, vilka åtgärder som genomförts, analys av förutsättningar att nå målet och en prognos för den fortsatta utvecklingen med förslag på ytterligare insatser.

Prognosen för miljö kvalitetsmålet är god, bedömningen är att målet kommer att klaras inom uppsatt tidsram. Enligt prognoserna kommer man att kunna observera en vändpunkt för ozonuttunnningen omkring 2020–2040. En viktig förutsättning för detta är att arbetet under Montrealprotokollet fortsätter att vara framgångsrikt. Däremot har utvecklingen för miljön ändrats, från positiv till neutral. Detta beror på en ökad osäkerhet, inte minst beträffande växthuseffektens påverkan samt påverkan från ämnen som ännu inte regleras av Montrealprotokollet. Rapporten är ett av underlagen till den samlade slutrapport om arbetet med att nå miljömålen som Naturvårdsverket kommer att redovisa för regeringen i januari 2023.