



Naturskyddsföreningen

Ge oss kraft
att förändra
Pg.90 1909-2

Rapport

Utsläppsbanor för ett
1,5°C-mål

Innehåll

Förord	1
Sammanfattning	2
1. Introduktion	3
2. Olika typer av utsläppskrediter	4
3. Utsläppsbanor förenliga med 1,5 °C mål Klimatneutralitet internationellt	5
4. Fördelning av utsläppsutrymme enligt ”Contraction & Convergence”-metoden.	7
5. Jämförelse mellan ett 1,5°C mål och ett 2 °C mål	10
6. Avslutande diskussion	12
Referenser	13
Appendix 1	14
Appendix 2	17
References	20

Text: Christian Azar & Daniel J.A. Johansson

Fysisk resursteori, Energi och miljö, Chalmers, 412 96 Göteborg

Projektsamordning och textgranskning: Göran Ek, Naturskyddsföreningen

Layout: Carina Grave-Müller, Naturskyddsföreningen

Omslagsfoto: Istockphoto

ISBN: 978-91-558-0065-9

"Producerad med ekonomiskt stöd från Sida. Sida har ej medverkat i utformningen av publikationen och tar ej ställning till de åsikter som framförs."

Förord

Denna rapport beställdes som ett led i Naturskyddsföreningens analysarbete inför FN:s Klimatkonventions COP 17 i Durban 28 November -9 December 2011. Vi bad Christian Azar och Daniel Johansson vid institutionen för fysisk resursteori på Chalmers beräkna hur stora antropogena utsläpp av växthusgaser som på global och nationell nivå är förenliga med att nå ett mål för den globala medeltemperaturen vid jordytan på max 1,5 grader C över den förindustriella nivån.

Forskarna har uppmanats att beräkna utsläppsbanorna utifrån tre olika värden på klimatkänslighet - 2, 3 resp. 4,5 grader. Klimatkänsligheten definieras som den uppvärmning vi kan vänta om atmosfärens koldioxidhalt fördubblas i förhållande till sin förindustriella nivå. Värdena är hämtade från IPCCs fjärde ”Assessment Report” från 2007 som troliga uppskattningar för klimatkänslighet. Författarna har därutöver givits fria händer att kommentera i rapporten det värde för känsligheten de bedömer som mest troligt, dvs 3 grader.

Naturskyddsföreningen respekterar forskarnas val av detta värde men då vi vill hävda försiktighetsprincipen – med tanke på de stora risker mänskligheten står inför i ett förändrat klimat – som styrande för ambitionsnivå för vår nationella klimatpolitik och den linje vi vill Sverige ska driva internationellt anser vi att behovet av framtida ut-

släppsminskningar ska utgå från en klimatkänslighet på 4,5 grader (se forskarnas beräkningar på sid 13.15). Att föreningen också av försiktighetsskäl vill sätta en lägre tilltro till de inneboende trögheterna i klimatsystemet - som först och främst beror på havets värmeupptag - och de framtida utsläppen av kylande aerosoler än vad forskarna gör i rapporten så talar det också för vikten av att utgå från en utsläppsbana i linje med den som ges för en hög klimatkänslighet.

En beräkning utifrån en klimatkänslighet på 4,5 grader innebär att Sverige måste minska sina växthusgasutsläpp med 45 % till 2020, 81 % till 2040 och med närmare 100 % till 2030 jämfört med 1990 års nivå. Motsvarande siffror för EU är 49, 83 och 100 % samt för världen som helhet 21, 68 och 100 %. Det är en tuff utmaning men vi är övertygade om att vi med politisk handlingskraft understödd av en strak folkopinion kan nå dessa mål och samtidigt dra fördelar av det innovationstryck som uppstår inom industrin för att främja svenska företags konkurrenskraft internationellt!



Svante Axelsson,
generalsekreterare Naturskyddsföreningen

Sammanfattning

I den här rapporten har vi beräknat hur stora antropogena utsläpp av växthusgaser (koldioxid, metan och dikväveoxid) som på global och nationell nivå är förenliga med att nå ett mål för den globala medeltemperaturen vid jordytan på max 1,5°C över den förindustriella nivån. Exakt hur mycket man kan släppa ut är osäkert och beror framför allt på värdet på klimatkänsligheten, alltså hur mycket temperaturen förväntas öka för en fördubbling av CO₂-halten i atmosfären. Antar vi att klimatkänsligheten är sitt mest troliga värde, dvs 3°C per CO₂-fördubbling, krävs en utsläppsminskning på cirka 75% från år 2000 till år 2050. Fram till år 2100 måste utsläppen i grova drag minska med 90%.

På kort sikt innebär 1,5°C målet att Sverige och EU behöver minska sina utsläpp från 2005 med 28% respektive 31% (givet en klimatkänslighet på 3°C per CO₂-fördubbling). Det utgör en skärpning med cirka 7 procentenheter jämfört med vad som skulle krävas för ett 2°C mål. De nationella målen har beräknats med den så kallade "contraction & convergence"-metoden, där lika utsläpp per person på global nivå uppnås år 2050. Då behöver utsläppen vara nere på cirka 1 ton CO₂-ekvivalenter per person och år, jämfört med drygt 6 ton CO₂-ekvivalenter idag. Detta innebär att även kraftiga minskningar av utsläppen krävs i utvecklingsländer som Indien och Kina fram till år 2050.

1. Introduktion

Den övergripande målsättningen för FNs klimatkonvention är att ”förhindra farlig mänsklig påverkan på klimatsystemet” (UNFCCC, 1992). Vad som är ”farligt” är i grund och botten ingen vetenskaplig fråga utan något som världens medborgare och politiska ledare måste ta ställning till.

EU argumenterade redan 1996 för att den globala medeltemperaturen inte borde få öka med mer än 2°C över den förindustriella nivån. På senare tid har världens nationer, inklusive USA, Kina, Indien, Brasilien m fl, anslutit sig till denna målsättning (se överenskommelserna från de internationella klimatförhandlingarna i Köpenhamn (UNFCCC, 2009) och Cancún (UNFCCC, 2010)).

En del menar dock att det finns risker för farliga klimatförändringar för temperaturhöjningar under 2°C och har argumenterat för mål på max 1,5°C över den förindustriella nivån (AOSIS, 2009). I Cancún-avtalet nämns specifikt att man i framtida bedömningar av långsiktiga mål för klimatpolitik ska beakta ett mål på 1,5°C över den förindustriella nivån (UNFCCC, 2010).

Vetenskapens roll är att tillhandahålla vetenskapligt underlag, till exempel beskrivningar av vad effekterna kan vara för olika temperaturförändringar eller ta fram utsläppsbanor förenliga med olika klimatmål. Många tidigare studier har fokuserat på utsläppskurvor för att nå 2°C-målet, men få studier har tittat på vilka utsläppsbanor som är förenliga med ett 1,5°C-mål.

Målsättningen med denna studie är att

- presentera globala utsläppsbanor förenliga med 1,5°C målet (avsnitt 3),
- analysera vilka utsläppsminskningar som krävs på nationell och regional nivå, i Sverige, EU, USA, Indien, Latinamerika, Afrika söder om Sahara och Kina om 1,5°C målet ska nås (avsnitt 4),
- samt jämföra våra resultat för 1,5°C målet med de utsläppsminskningar som krävs för att nå ett 2°C mål (avsnitt 5).

2. Metod

I denna studie använder vi oss av MiMiC, en climatekonomimodell, för att ta fram utsläppsbanor som är förenliga med en målsättning att stabilisera den globala medeltemperaturen vid jordytan på 1,5°C över den förindustriella nivån (Johansson et al, 2006 och Johansson, 2010). I modellen beaktas kostnaderna för att minska utsläppen av koldioxid (CO_2), metan (CH_4) och dikväveoxid (N_2O), tillsammans med gasernas uppehållstider i atmosfären och de globala temperaturförändringarnas tröghet och känslighet för förändringar av halterna av växthusgaser. Modellen söker den lägsta globala kostnaden för att klara ett givet

klimatmål. Modellen är kalibrerad så att kostnaderna för att minska utsläpp och att klimatresponsen av utsläpp är liknande de man får från mer detaljerade energi-ekonomi-modeller respektive klimatmodeller. I den version av MiMiC som används i den här studien antar vi att koldioxidinfångning och lagring kommer bli en tillgänglig teknik. I fall då bioenergi används i anläggningar med koldioxidinfångning kan negativa utsläpp av CO_2 erhållas (Azar et al 2006). MiMiC har använts i en rad vetenskapliga sammanhang, t.ex. Johansson et al (2006) och Johansson (2010), och är utförligt beskriven i ett appendix till den här rapporten.

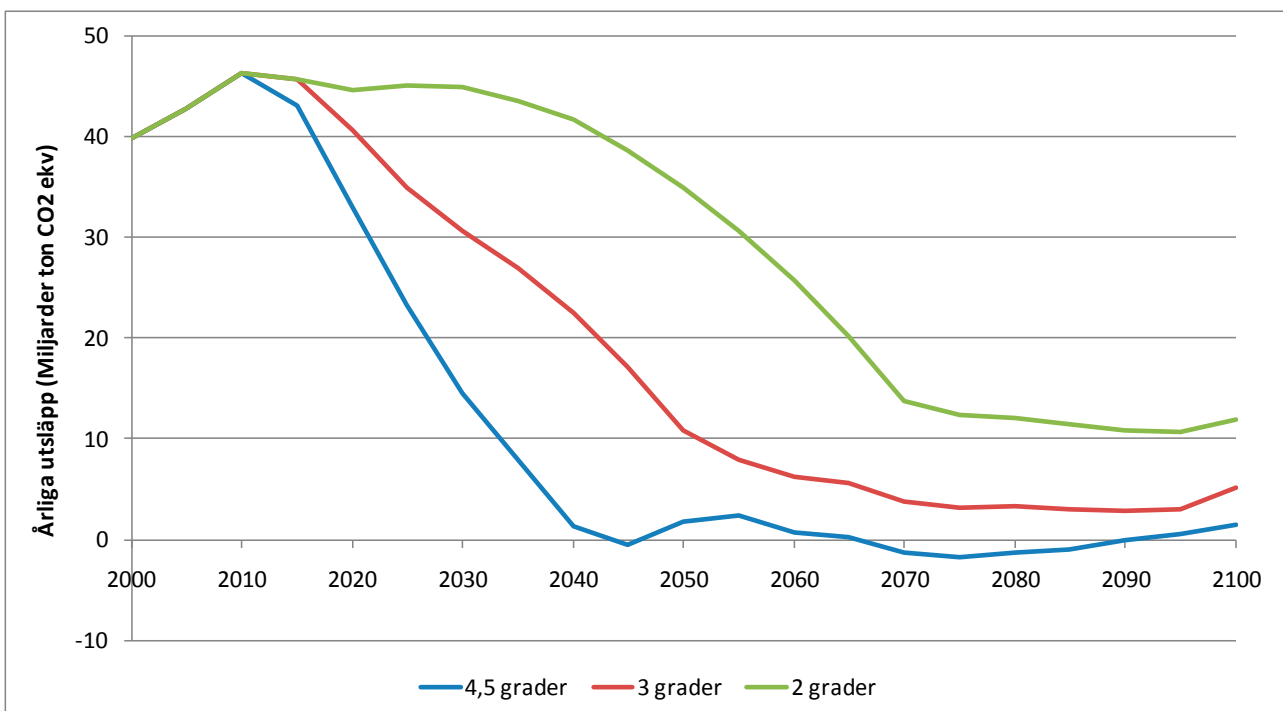
3. Utsläppsbanor förenliga med 1,5 °C mål

Den vetenskapliga grunden för klimatförändringarna är robust (IPCC, 2007). Vi vet med säkerhet att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären har ökat, och att detta beror på mänskliga aktiviteter, framför allt användningen av fossila bränslen, avskogning och metan och dikväveoxid från jordbruket. Vi vet också att växthusgaserna påverkar balansen mellan ingående solstrålning och utgående värmestrålning och att om en långsiktig strålningsbalans ska återetableras måste den globala medeltemperaturen öka som ett resultat av höjda halter av växthusgaser i atmosfären. Vi vet också att den globala medeltemperaturen har ökat och att detta med stor sannolikhet beror på mänskligt aktiviteter som leder till utsläpp av växthusgaser (IPCC 2007). Dock råder fortfarande betydande osäkerhet kring hur känslig den globala medeltemperaturen är för ökade halter av växthusgaser i atmosfären. När temperaturen ökar i at-

mosfären kan den nämligen hålla mer vattenånga, som också är en växthusgas, varpå den initiala uppvärmningen förstärks. Även exempelvis moln, isar och utbredning av snötäcke påverkas av den initiala uppvärmningen och kan i sin tur påverka den. Sammantaget förväntas dessa återkopplingar förstärka uppvärmningen. Det hela är ett mycket komplext problem.

Klimatkänsligheten utgör ett mått på hur stor den långsiktigt stabila höjningen av den globala medeltemperaturen vid jordytan skulle bli till följd av en fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären jämfört med den förindustriella nivån. Klimatkänsligheten sammanfattar alltså effekten av alla dessa positiva och negativa återkopplingsmekanismer. FN:s klimatpanel IPCC uppskattar i sin senaste rapport att klimatkänsligheten sannolikt är mellan 2°C och 4,5°C, med 3°C som bästa uppskattning, men att varken lägre eller

Figur 1. Årliga CO₂-ekvivalenta utsläpp av CO₂, CH₄ and N₂O förenliga med ett globalt temperaturmål på 1,5°C över den förindustriella nivån och med olika antaganden om klimatkänsligheten (2, 3 eller 4,5°C för en fördubbling av koldioxidhalten).



högre känsligheter kan uteslutas. Den huvudsakliga orsaken till varför osäkerhetsintervallet är så stort är osäkerhet kring hur molntäcke och molnhöjd kommer att förändras i takt med ett ändrat klimat.

I figur 1 presenterar vi möjliga utsläppsbanor för att nå 1,5°C-målet. Beroende på värdet på klimatkänsligheten ställs det fundamentalt olika krav på vad som behöver göras för att nå målet för den globala medeltemperaturen. Vi presenterar utsläppsbanor för tre olika värden på klimatkänsligheten: 2, 3 och 4,5°C för en fördubblad koldioxidhalt i atmosfären. I figuren kan man notera följande:

- Är klimatkänsligheten hög (runt 4,5°C per CO₂ fördubbling) måste utsläppen minska mycket snabbt de kommande decennierna och framåt (den lägre kurvan i figuren, minskning med cirka 100 procent till år 2050).
- Är värdet på klimatkänsligheten 3°C per CO₂ fördubbling behöver de globala utsläppen minska med cirka 75% från 2000 till 2050
- Är klimatkänsligheten låg (2°C per CO₂ fördubbling) räcker det med att utsläppen minskar med cirka 15% från år 2000 till 2050.

I dessa beräkningar är utsläppen av CH₄ och N₂O är omräknade till CO₂-ekvivalenta utsläpp med de "Global Warming Potential"-värden som används inom Kyoto-protokollet (UNFCCC, 1997). Utsläpp av 1 kg CH₄ räknas här alltså som 21 kg CO₂ och 1 kg N₂O som 310 kg CO₂.

Vi har i figur 1 och i resten av rapporten antagit att 1,5°C målet är ett absolut tak för temperaturökningen som inte för överstigas. Hade vi valt att tillåta så kallade "overshoots", alltså att temperaturökningen får överstiga 1,5°C fram till ett visst år, säg 2100, hade högre utsläpp varit möjliga. Istället för ett utsläpp på 10 Gton CO₂ ekvivalenter år 2050 hade man kunnat släppa ut 25 Gton CO₂ ekvivalenter det året. Å andra sidan hade vi då också fått en temperaturökning som nått sin topp på 1,7 grader över den förindustri-

ella nivån (för att därefter sjunka till 1,5 grader till år 2100), och de högre utsläppen fram till 2050 hade man varit tvungna att kompensera med negativa utsläpp på global nivå från 2070 och framåt (utsläppen skulle nå en lägsta nivå på minus 12 Gton CO₂-ekvivalenter år 2080).

3.1 Jämförelse med Cancún-målsättningar

I resten av den här studien fokuserar vi på det fall där klimatkänsligheten antas vara 3°C per CO₂ fördubbling (och vi tillåter inga overshoots). För detta värde på klimatkänsligheten minskar utsläppen redan nu och är nere på cirka 40 Gton CO₂-ekvivalenter år 2020, det vill säga på den globala nivån som rådde runt år 2000, se figur 1. Detta är en stor utmaning med tanke på hur snabbt utsläppen växt världen över sedan 1990, till exempel i Kina, Turkiet, Spanien, för att nämna några länder, och hur trögt de internationella klimatförhandlingarna fortskridit. I scenarier för år 2020 utan klimatpolitik förväntas utsläppen ligga runt 55 Gton CO₂-ekvivalenter per år (UNEP, 2010; Fee et al, 2010). Om man beaktar utsläppsmålen som presenterades i samband med klimatkonferensen i Köpenhamn (COP-15) skulle utsläppen vara nere på någonstans mellan 45-52 Gton CO₂ ekvivalenter per år vid 2020 (UNEP, 2010; Fee et al, 2010). Alltså, även om den mest optimistiska tolkningen av Köpenhamnsmålen (45 Gton CO₂-ekvivalenter per år) skulle besannas skulle de globala utsläppen med stor sannolikhet ändå vara över den nivå som behöver uppnås om vi ska klara av ett 1,5°C mål givet en klimatkänslighet på 3°C. Beräkningar presenterade i en rapport utgiven av FNs miljöprogram UNEP, "The emissions gap", visar på liknande resultat (UNEP, 2010).

4. Fördelning av utsläppsutrymme enligt "Contraction & Convergence"-metoden.

Låt oss nu illustrera hur mycket enskilda länder kan släppa ut om vi följer den globala utsläppsbana som presenterades i figur 1 där klimatkänsligheten är 3°C per CO₂-fördubbling. Det existerar en rad metoder för att fördela utsläppen mellan olika nationer, se t ex Gupta m fl (2007) eller MVB-SOU (2007). En av de metoder för att fördela utsläppsmål som har fått störst uppmärksamhet kallas på engelska "contraction & convergence". Det handlar alltså om att minska de globala utsläppen (contract) och en strävan att fördela de årliga utsläppen efter en "lika utsläpp per person"-princip (converge). Inledningsvis utgår man från att utsläppen per person startar på de nivåer som råder idag, och sedan låter man utsläppen konvergera mot lika stora utsläpp per person till ett visst år. I dessa beräkningar inkluderas utsläpp av CO₂ från avskogning och utrikes luft- och sjöfart i den globala utsläppsbanan, men de tas inte med i de nationella målen (de antas alltså ligga i en separat post som måste hanteras separat).

"Contraction & convergence" metoden har använts i flera sammanhang, den var exempelvis central vid framräkningen av de utsläppsmål för Sverige och EU som presenterades i rapporten från det Vetenskapliga rådet för klimatfrågor (MVB-SOU, 2007). I det Vetenskapliga rådets arbete var dock den globala målsättningen en stabilisering av den globala medeltemperaturen på 2°C och inte 1,5°C över den förindustriella nivån.

Notera att med "contraction & convergence"-metoden beräknar man utsläppsmål. Om handel med utsläppsrätter är en möjlighet så kommer de faktiska utsläppen i respektive nation med stor sannolikhet bli annorlunda än den beräknade målsättningen.

I beräkningarna som ligger bakom denna studie antar vi att utsläppen per person konvergerar år 2050 och att strävan mot denna konvergens börjar år 2013. Fram till och med 2012 beräknas de nationella utsläppen utifrån ett scenario baserat på dagens nivåer. Efter 2012 bestäms utsläppen av det globala utsläppsscenarioet för att klara 1,5°C målet med en klimatkänslighet på 3°C, tillsammans med en "contrac-

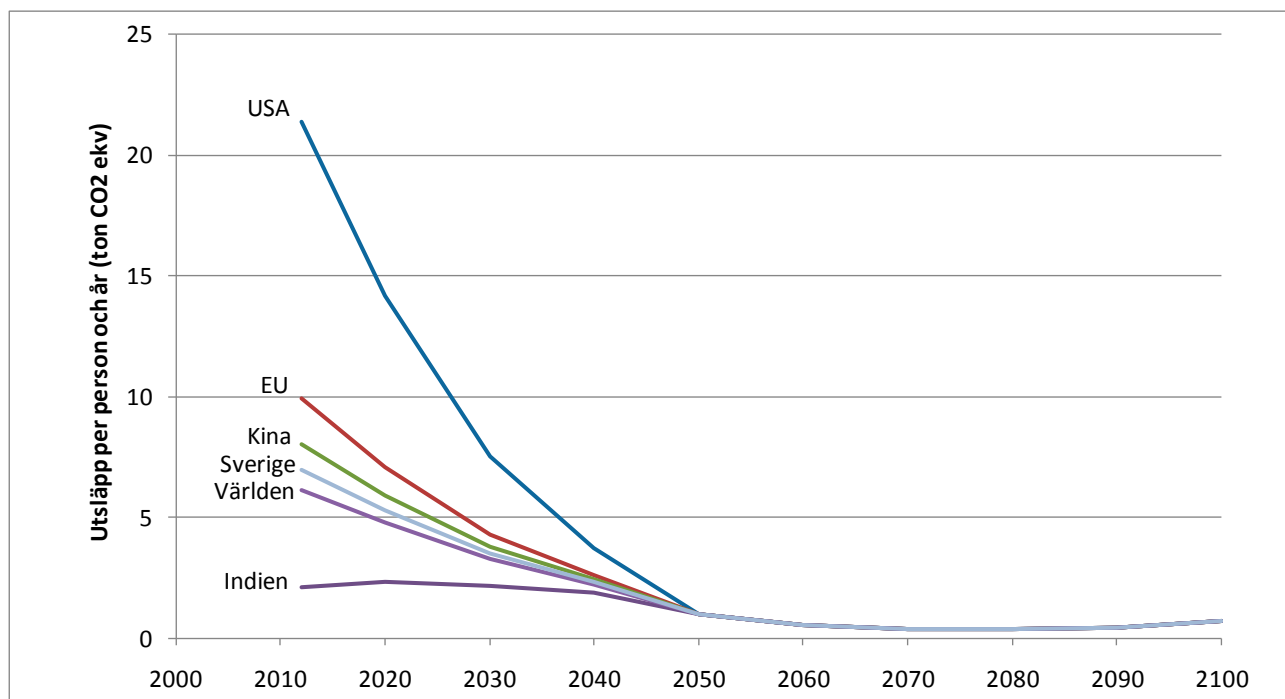
tion & convergence"-fördelning av utsläppsutrymmet. I beräkningarna som ligger bakom våra resultat beaktar vi hela världens befolkning men i de resultat vi visar har vi valt att fokusera på några nyckelregioner och nationer, nämligen Afrika Söder om Sahara (exkluderat Sydafrika), EU-27, Indien, Kina, Latinamerika, Sverige och USA samt världen som helhet. Det befolkningsscenario vi använder oss av i beräkningarna är IIASAs B2 scenario (IIASA, 2009).

Utsläppen per person skiljer sig idag mycket åt. Nivåerna beror starkt på inkomstnivån och energimixen i de olika länderna. Av de länder vi valt ut studera närmare har USA högst utsläpp per person, drygt 20 ton CO₂-ekvivalenter per person och år, följt av EU med cirka 10 ton CO₂-ekvivalenter per person och år, Kina på cirka 8 ton CO₂-ekvivalenter per person och år, Sverige på cirka 7 ton CO₂-ekvivalenter per person och år, världens genomsnitt på drygt 6 ton CO₂-ekvivalenter per person och år och slutligen Indien på drygt 2 ton CO₂-ekvivalenter per person och år, se figur 3. Utsläppen per person i Afrika söder om Sahara och Latinamerika visas inte i figur 2 på grund av utrymmesskäl, dock kan man säga att utsläppen per person i Afrika söder om Sahara är i princip de samma som de för Indien och utsläppen per person i Latinamerika är i princip de samma som världsgenomsnittet.

Om vi ska nå 1,5°C målet (för en klimatkänslighet på 3°C per CO₂-fördubbling) behöver utsläppen år 2050 enligt våra beräkningar vara nere på cirka 1 ton CO₂-ekvivalenter per person och år. Med en "contraction & convergence"-metod med konvergens år 2050 innebär det att utsläppen per person i USA behöver falla med mer än en faktor 20 och att utsläppen per person i ett låginkomst land som Indien behöver halveras i runda termer fram till 2050 jämfört med idag, se figur 3. På motsvarande sätt behöver utsläppen per person i EU minska med en faktor 10 och utsläppen per person i Sverige med en faktor 7.

4.1 Nationella utsläppsmål

Om vi multiplicerar utsläppsmålen per person med befolk-



Figur 3: Utsläppsmål per person bestämda utifrån "contraction & convergence"-metod där utsläppen konvergerar till lika utsläpp per person nivå år 2050 och där de globala utsläppen följer den utsläppsbana för att nå 1,5°C-målet (givet en 3oC klimatkänslighet) som presenterades i figur 1.

ningen i varje nation får vi utsläppsmålen på nationsnivå. I tabell 1 anger vi hur mycket de olika länderna behöver minska sina utsläpp under perioden 2020-2050. EU behöver minska utsläppen till 2020 med drygt 30% under 2005 års nivå enligt våra beräkningar, medan Sverige behöver minska sina utsläpp med knappt 30% till 2020 jämfört med nivån

år 2005. Redan år 2030 behöver utsläppen ha minskats med över 50 % i Sverige och EU för att till år 2050 ha minskat med cirka 90%. Om vi använder 1990 som basår istället för 2005 måste den relativa utsläppsminskningen vara några procentenheter större i EU och Sverige än om vi använder 2005, se tabell 1.

Tabell 1. Relativa förändringar i årligt utsläppsutrymme för ett antal olika regioner/nationer jämfört med 2005 års nivå och inom parentes för Annex-1 nationer jämfört med 1990 års nivå. Beräkningen inkluderar CO₂, CH₄ och N₂O, men omfattar inte nettoutsläpp av CO₂ från avskogning eller utrikes luft- och sjöfart.

Region	Utsläppsmål relativt år 2005 (& 1990 för Annex-1 länder inom parentes)			
	2020	2030	2040	2050
Världen	-1 %	-26 %	-46 %	-75 %
USA	-32 % (-22 %)	-62 % (-57 %)	-81 % (-78 %)	-95 % (-94 %)
EU	-31 % (-35 %)	-58 % (-61 %)	-75 % (-77 %)	-91 % (-92 %)
Sverige	-28 % (-31 %)	-52 % (-54 %)	-69 % (-70 %)	-87 % (-88 %)
Kina	+17 %	-23 %	-50 %	-80 %
Indien	+58 %	+59 %	+47 %	-19 %
Latin Amerika	+5 %	-22 %	-42 %	-73 %
Afrika söder om Sahara	+53 %	+65 %	+62 %	-5 %

På lång sikt (år 2050) måste utsläppen i alla de nationer vi studerat falla under den utsläppsnivå de hade 2005 (se tabell 1). På kortare sikt kan dock utsläppen öka något i de fattigaste regionerna i världen, se t.ex. Indien och Afrika söder om Sahara i tabell 1. Ett land med snabb ekonomisk utveckling och redan relativt höga utsläpp som Kina behöver redan 2020 vara under den nivå de har idag, men högre än de hade 2005 och redan 2030 vara mer än 20 % under de utsläpp de hade 2005. Kina är ett tydligt exempel på att även om utsläppen behöver minska kraftigt i Annex-1 länder så behöver de icke-Annex-1 länder med relativt höga utsläpp per person börja minska sina utsläpp relativt kraftigt inom en snar framtid. Detta belyser vilken utmaning ett 1,5°C mål verkligen innebär. (Annex-1-länderna utgörs av de klassiska i-länderna emedan icke-annex-1-länderna utgörs av de "klassiska" utvecklingsländerna i Asien, Latinamerika och Afrika, länder som inte har åtaganden att minska utsläppen i Kyotoprotokollet).

Det kan vara värt att notera att även om Kina har högre per capita utsläpp än Sverige år 2013 så är Kinas utsläppsmål för 2020 +17%, medan det för Sverige är -28 % jämfört med 2005. Det kan tyckas förvånande men det beror först och

främst på att de i vår modell beräknade per capita utsläppen växer kraftigt (+45 %) för Kina mellan 2005 och 2013 medan de minskar i Sverige (-7%) och att "konvergens" mot lika utsläpp per capita påbörjas först år 2013. Hade man jämfört 2020 års utsläpp med utsläppen år 2013 istället för 2005 hade utsläppsminskningen i relativa termer varit större för Kina än för Sverige.

Ett annat sätt att presentera utsläppsmål är att använda kumulativa utsläppsbudgetar, det vill säga budgetar som visar på hur stora de kumulativa utsläppen kan vara i en given region under en viss tidsperiod. Det är viktigt att vara medveten om att den globala medeltemperaturen inte endast beror på hur stora de kumulativa utsläppen är under en viss tidsperiod utan också beror på när utsläppen sker under denna tidsperiod. Man ska också vara försiktig med att tolka sådana budgetar när koldioxid och metan läggs ihop. Dessa budgetar ska alltså endast ses som en indikation på hur stora de kumulativa utsläppen kan vara givet ett visst klimatmål. Vi väljer här att uttrycka budgeterna för två tidsperioder, åren 2010-2049 och åren 2050-2099, och baserar budgetberäkningen på "contraction & convergence"-metoden som beskrivs ovan, se tabell 2.

Region	Kumulativ utsläppsbudget (Gton CO ₂ -ekvivalenter)	
	2010-2049	2050-2099
Världen	1090	260
USA	119	9
EU	94	11
Sverige	1,4	0,2
Kina	232	39
Indien	105	41
Latin Amerika	93	22
Afrika söder om Sahara	99	52

Tabell 2. Kumulativa utsläppsbudgetar för världen som helhet och för ett antal utvalda nationer och regioner. Beräkningen inkluderar CO₂, CH₄ och N₂O, men omfattar inte nettoutsläpp av CO₂ från avskogning eller utrikes luft- och sjöfart.

5. Jämförelse mellan ett 1,5°C mål och ett 2 °C mål

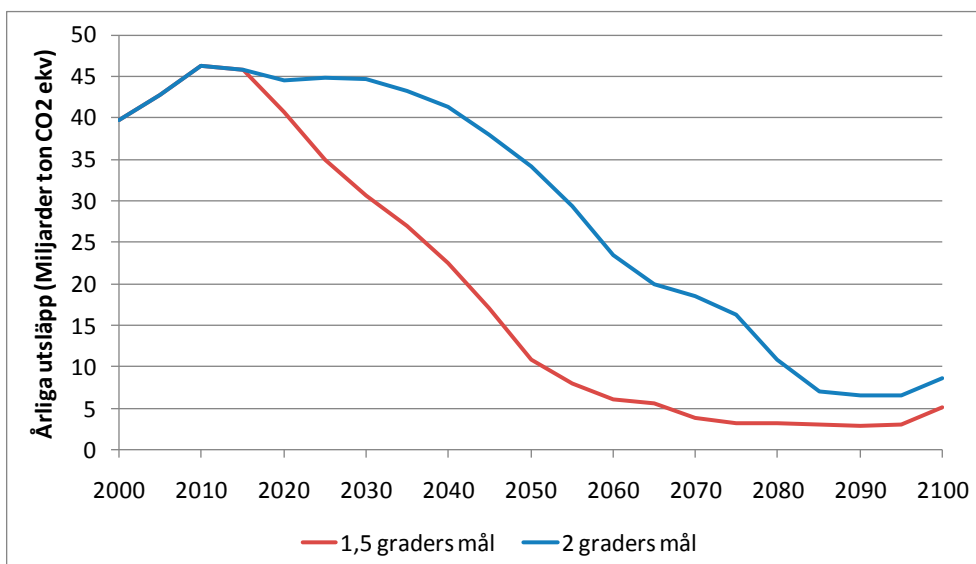
De flesta av de utsläppsmål som presenterats för EU och Sverige till år 2020 och 2050 baseras på att den globala medeltemperaturen vid jordytan ska stabiliseras på maximalt 2°C över den förindustriella nivån. I det här avsnittet jämför vi vad ett 1,5°C mål innebär i relation till ett 2°C mål (vi använder oss av samma beräkningsmetodik i båda fallen).

Ett temperaturmål på 2°C ger världen ett större utrymme att gradvis minska utsläppen av växthusgaser jämfört med ett 1,5°C mål (se figur 4). Givet ett antagande om att klimatkänsligheten är 3°C per CO₂ fördubbling blir de globala utsläppen i MiMiC cirka 45 Gton CO₂-ekvivalenter år 2020 och 34 Gton CO₂-ekvivalenter år 2050 vid ett 2°C mål. Siffrorna kan jämföras med cirka 40 Gton CO₂-ekvivalenter år 2020 och 10 Gton CO₂-ekvivalenter år 2050 vid ett mål

på 1,5 graders temperaturhöjning. Det kan dock vara värt att notera att oavsett om världen siktar på ett 2°C mål eller ett 1,5°C mål så måste utsläppen mot slutet av århundradet minska ned till väldigt låga nivåer.

2°C målet ger alltså möjlighet att ha signifikant högre utsläpp under en övergångsperiod under ett halvt århundrade.¹ Utöver detta så finns det en större flexibilitet i utsläppsbanan för att nå ett 2°C mål jämfört med den för ett 1,5°C mål. Anledningen till detta är att om 1,5°C målet ska nås måste utsläppen minska snabbt på kort sikt, annars missas temperaturmålet. För 2°C målet finns en större möjlighet att ha något högre utsläpp år 2020 än vad som visas i figur 4 men då måste utsläppen därefter minska i en högre takt.

Figur 4: Årliga CO₂-ekvivalenta utsläpp av CO₂, CH₄ and N₂O förenliga med ett globalt temperaturmål på 1,5°C över den förindustriella nivån och med ett globalt temperaturmål på 2°C över den förindustriella nivån.



1. Om man jämför utsläppsbanorna från MiMiC (figur 4) med de framtagna i UNEPs rapport "The Emissions Gap" (UNEP, 2010) så kan man observera att utsläppsbanorna genererade i MiMiC för en klimatkänslighet på 3°C stämmer väl överens med de utsläppsbanor som har en "medium chance" att nå respektive temperaturmål. I denna studie får vi dock något högre utsläpp för att nå 2°C målet än Johansson (2010). Det beror bland annat på

att vi här har valt ett basscenario för aerosoler som innehåller något större kylande effekt. Denna kylande effekt möjliggör alltså en något högre halt av växthusgaser (givet att samma temperaturmål ska nås), och därför också något högre utsläpp. Vi har även en mer uppdaterad kolcykel som möjliggör något högre utsläpp för samma koncentrationsmål.

En aspekt som kan vara värd att notera är att utsläppsbanan för att klara ett 2°C-mål där klimatkänsligheten är 3°C (se figur 4) har likheter med utsläppsbanan för att klara ett 1,5°C mål men där klimatkänsligheten är 2°C per CO₂ fördubbling (se figur 1). Även en utsläppsbana som är förenlig med ett 2°C mål där klimatkänsligheten är 4,5°C per CO₂ fördubbling (visas ej i figur) har likheter med en utsläppsbana förenlig med ett 1,5°C mål där klimatkänsligheten är 3°C per CO₂ fördubbling.

De här sambanden kan grovt även uttryckas på följande sätt: om man eftersträvar att med relativt stor chans (cirka 80%) klara 2°C målet har man ungefär 50% chans att klara 1,5°C målet. Om man eftersträvar att nå 2°C med cirka 50% chans har man en ungefärlig chans på 20% att klara 1,5°C målet.

5.1 Nationella mål för 1,5 °C målet jämfört med 2 °C målet.

På samma vis som vi gjorde för 1,5°C målet så har vi även räknat fram nationella utsläppsmål för ett globalt 2°C mål givet en klimatkänslighet på 3 °C per CO₂ fördubbling.

Resultaten av denna beräkning visas i tabell 3. Det framgår, som väntat, att behovet av utsläppsminskningar blir mindre för ett högre temperaturmål. De länder som har låga medelutsläpp per person idag (Indien, men även många afrikanska länder som ligger på liknande eller betydligt lägre nivå) kan fortsätta att öka utsläppen de kommande decennierna utöver nivån 2005. Dock innebär ett 2°C mål fortsatt hårda krav för utsläppsminskningar i länder som idag har relativt höga utsläpp (jämför med tabell 1). Utsläppen i Sverige behöver minska med ungefär 20% till år 2020 och med 55% till år 2050 jämfört med utsläppen år 2005 om vi ska följa ”contraction & convergence”-beräkningen. Motsvarande siffror för EU innebär en minskning med cirka 25% till år 2020 och cirka 70 % till år 2050.

Tabell 3. Relativa förändringar i årligt utsläppsutrymme för ett antal olika regioner/nationer jämfört med 2005 års nivå och inom parentes för Annex-1 nationer jämfört med 1990 års nivå. Beräkningen inkluderar CO₂, CH₄ och N₂O, men omfattar inte nettoutsläpp av CO₂ från avskogning eller utrikes luft- och sjöfart

Utsläppsmål relativt år 2005 (et 1990 för Annex-1 länder inom parentes)				
Region	2020	2030	2040	2050
Världen	+10%	+11%	+4%	-13%
USA	-25% (-14%)	-43% (-35%)	-64% (-58%)	-82% (-80%)
EU	-24% (-29%)	-37% (-42%)	-53% (-56%)	-69% (-71%)
Sverige	-21% (-24%)	-28% (-31%)	-40% (-43%)	-55% (-57%)
Kina	+29%	+16%	-4%	-29%
Indien	+74%	+140%	+182%	+183%
Latin Amerika	+15%	+17%	+10%	-1%
Afrika Söder om Sahara	+69%	+148%	+211%	+232%

6. Avslutande diskussion

Att begränsa ökningen av den globala medeltemperaturen vid jordytan till 1,5 °C över den förindustriella nivån är en stor utmaning. Utsläppen på global nivå fram till år 2050 behöver minska med cirka 15%, 75% eller 100% för en klimatkänslighet på 2, 3 eller 4,5 grader per CO₂-fördubbling (se figur 1).

Dessa krav på minskningar av utsläppen skulle innebära kraftiga förändringar i världens energisystem, transporter och jordbruk. Det finns inte utrymme i denna korta rapport, och det var inte heller avsikten, att analysera den ekonomiska, tekniska och politiska realiserbarheten av dessa scenarier.

Scenarier som undersöker möjligheten att nå låga utsläppsmål för växthusgaser finns beskrivna i t.ex. Azar et al (2003, 2006, 2010), Magné (2010) och van Vuuren et al (2007). För att förverkliga sådana utsläppsminskningar krävs starka politiska styrmedel världen över.

Få eller inga scenarier har analyserat möjligheten att förverkliga den utsläppsbana som krävs för att klara av ett 1,5°C mål då klimatkänsligheten är hög (4,5°C per CO₂

fördubbling). Det beror på att de minskningar som skulle krävas närmast ligger bortom det rimligas gräns. De globala utsläppen av växthusgaser skulle i princip behöva gå ned till noll på 30 år, och koldioxidutsläppen skulle behöva minska med 80% fram till år 2030, alltså om 20 år.

Vill man själv testa utsläppsscenarier och se vad de leder till för koncentration av koldioxid och temperaturförändringar, kan man köra vår enkla klimatmodell, Chalmers Climate Calculator, som finns tillgänglig på www.chalmers.se/ee/ccc (globalt aggregerad modell), och www.chalmers.se/ee/ccc2 (en version där utsläpp i annex-1 och icke-annex-1 hanteras separat). Vill man undersöka hur det globala energisystemet kan utvecklas för att nå låga koldioxidutsläpp kan man köra vår globala energisystemmodell (den så kallade GET modellen, Azar et al (2003, 2006)), som finns tillgänglig på www.chalmers.se/ee/getonline.

Avslutningsvis, i den här rapporten tar vi inte ställning till huruvida 1,5°C målet bör eftersträvas eller inte, utan har begränsat oss till att beräkna vilka utsläppsbanor som skulle krävas för att nå detta mål.

Referenser

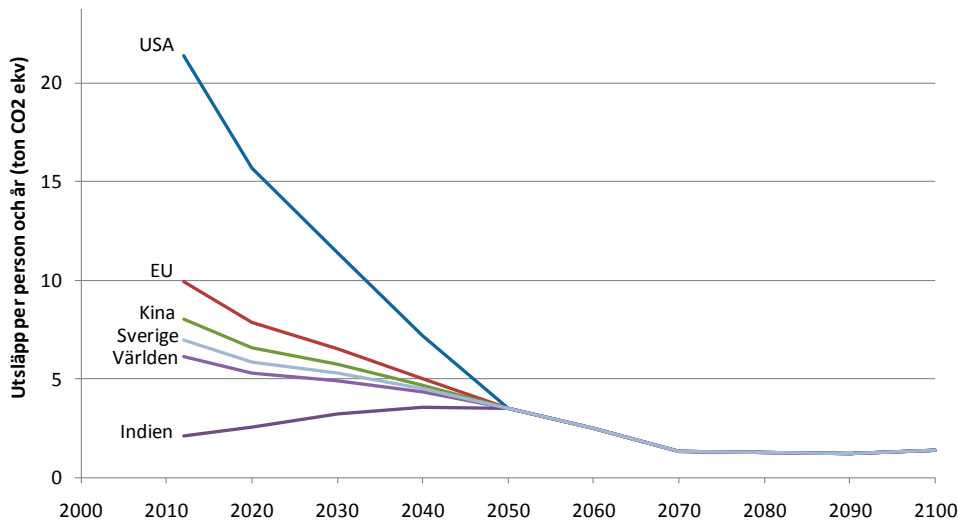
- AOSIS (2009) Alliance of Small Island States (AOSIS) declaration on climate change 2009, New York, Alliance of Small Island States.
- Azar, C, Lindgren, K., Andersson, B. (2003) Global energy scenarios meeting stringent CO₂ constraints – cost effective fuel choices in the transportation sector. *Energy Policy* 31 (10): 961-976.
- Azar, C., Lindgren, K., Larson, E, Möllersten, K. (2006) Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass – Costs and potential role in stabilizing the atmosphere. *Climatic Change* 74: 47-79.
- Azar, C, Lindgren, K, Obersteiner, M, Riahi, K, van Vuuren, D, den Elzen, M.G.J, Möllersten, K, Larson, E.D. (2010) On the Attainability of Low CO₂ Concentration Targets, *Climatic Change* 100:195-202.
- Fee E., Johansson D.J.A., Lowe J., Marbaix P., Meinshausen M., Smith B. (2010) Scientific perspectives after Copenhagen, Report written for EG Science, European Commission.
- Gupta, S., D. A. Tirpak, N. Burger, J. Gupta, N. Höhne, A. I. Boncheva, G. M. Kanoan, C. Kolstad, J. A. Kruger, A. Michaelowa, S. Murase, J. Pershing, T. Saijo, A. Sari, (2007) Policies, Instruments and Co-operative Arrangements. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IIASA (2009) International Institute for Applied System Analysis (IIASA) GGI Scenario Database Version 2.0, Available at: <http://www.iiasa.ac.at/Research/GGI/DB/>
- IPCC (2007) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Johansson D.J.A., Persson U.M. and Azar C. (2006) The cost of using Global Warming Potentials. *Climatic Change* 77(3-4): 291-309.
- Johansson D.J.A. (2010) Temperature stabilization, ocean heat uptake and radiative forcing overshoot profiles. Accepted for publication in *Climatic Change*.
- Magné B., Kypreos S., Turton H. (2010) Technology Options for Low Stabilization Pathways with MERGE, *The Energy Journal* 31(special issue): 83-108
- MVB-SOU (2007) Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken, Rapport från det Vetenskapliga rådet för klimatfrågor, Miljövårdsberedningens rapport 2007:03
- UNEP (2010) The Emissions Gap Report: Are the Copenhagen Pledges Sufficient to Limit Global Warming to 2°C or 1,5°C? – A preliminary assessment, United Nation Environmental Program.
- UNFCCC (1992) United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC (1997) Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC (2008) Consideration of relevant methodological issues, Document: FCCC/KP/AWG/2008/L.14.
- UNFCCC, (2009), Copenhagen Accord.
- UNFCCC, (2010), Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on long-term Cooperative Action under the Convention.
- van Vuuren, D., den Elzen M., Lucas P., Eickhout B., Strengers B., van Ruijven B., Wonink S., van Houdt R. (2007) Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change* 81(2):119-159

Appendix 1. Känslighetsanalys när det gäller utsläppsbanor förenliga med 1,5°C målet

För att ge en mer heltäckande bild över hur mycket utsläppen behöver minska de kommande decennierna för några nyckelnationer vid ett mål på den globala medeltemperaturen över den förindustriella nivån på max 1,5°C presenterar

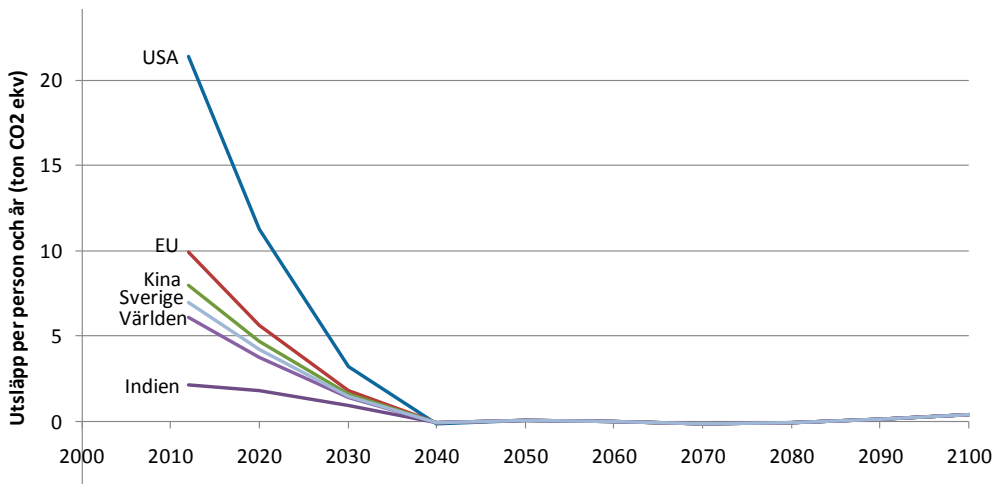
vi även utsläppsmål för en låg (2°C per CO₂-fördubbling) och en hög (4,5°C per CO₂-fördubbling) klimatkänslighet i detta appendix.

Per capita utsläppsmål (för en klimatkänslighet på 2°C per CO₂ fördubbling)



Figur A1.1: Utsläppsmål per person bestämda utifrån "contraction & convergence"-metod där utsläppen konvergerar till lika utsläpp per person nivå år 2050 och där de globala utsläppen följer den utsläppsbana för att nå 1,5°C-målet (givet en klimatkänslighet på 2°C för en CO₂-fördubbling) som presenterades i figur 1 i huvudrapporten.

Per capita utsläppsmål (för en klimatkänslighet på 4,5°C per CO₂ fördubbling)



Figur A1.2: Utsläppsmål per person bestämda utifrån "contraction & convergence"-metod där utsläppen konvergerar till lika utsläpp per person nivå år 2050 och där de globala utsläppen följer den utsläppsbana för att nå 1,5°C-målet (givet en klimatkänslighet på 4,5°C för en CO₂-fördubbling) som presenterades i figur 1 i huvudrapporten.

Nationella utsläppsmål

Tabell A1.1. Relativa förändringar i årligt utsläppsutrymme för ett antal olika regioner/nationer jämfört med 2005 års nivå och inom parentes för Annex-1 nationer jämfört med 1990 års nivå då klimatkänsligheten är 2°C per CO₂-fördubbling. Beräkningen inkluderar CO₂, CH₄ och N₂O, men omfattar inte nettoutsläpp av CO₂ från avskogning eller utrikes luft- och sjöfart.

Utsläppsmål relativt år 2005 (ft 1990 för Annex-1 länder inom parentes)				
Region	2020	2030	2040	2050
Världen	+10%	+12%	+5%	-10%
USA	-25% (-14%)	-42% (-34%)	-63% (-58 %)	-82% (-80%)
EU	-23% (-28%)	-37% (-41%)	-52% (-56%)	-68% (-70%)
Sverige	-20% (-24%)	-28% (-31%)	-40% (-42%)	-54% (-56%)
Kina	+30%	-17%	-3%	-28%
Indien	+75%	+141%	+185%	+190%
Latin Amerika	+15%	+18%	+12%	-5%
Afrika söder om Sahara	+70%	+150%	+214%	+240%

Tabell A1.2. Relativa förändringar i årligt utsläppsutrymme för ett antal olika regioner/nationer jämfört med 2005 års nivå och inom parentes för Annex-1 nationer jämfört med 1990 års nivå då klimatkänsligheten är 4,5°C per CO₂-fördubbling. Beräkningen inkluderar CO₂, CH₄ och N₂O, men omfattar inte nettoutsläpp av CO₂ från avskogning eller utrikes luft- och sjöfart.

Utsläppsmål relativt år 2005 (ft 1990 för Annex-1 länder inom parentes)				
Region	2020	2030	2040*	2050*
Världen	-21%	-68%	-100%	-100%
USA	-46% (-38%)	-84% (-81%)	-100%	-100%
EU	-45% (-49%)	-82% (-83%)	-100%	-100%
Sverige	-43% (-45%)	-80% (-81%)	-100%	-100%
Kina	-6%	-67%	-100%	-100%
Indien	+26%	-32%	-100%	-100%
Latin Amerika	-17%	-67%	-100%	-100%
Afrika söder om Sahara	+22%	-30%	-100%	-100%

*2040 och framåt är utsläppen i princip noll i alla nationer, se figur 1.

Tabell A1.3. Kumulativa utsläppsbudgetar för världen som helhet och för ett antal utvalda nationer och regioner då klimatkänsligheten är 2°C per CO₂-fördubbling. Beräkningen inkluderar CO₂, CH₄ och N₂O, men omfattar inte nettoutsläpp av CO₂ från avskogning eller utrikes luft- och sjöfart.

Kumulativ utsläppsbudget (Gton CO ₂ -ekvivalenter)		
Region	2010-2049	2050-2099
Världen	1570	860
USA	153	31
EU	125	38
Sverige	1,9	0.8
Kina	321	129
Indien	168	138
Latin Amerika	134	74
Afrika söder om Sahara	163	168

Tabell A1.4. Kumulativa utsläppsbudgetar för världen som helhet och för ett antal utvalda nationer och regioner då klimatkänsligheten är 4,5°C per CO₂-fördubbling. Beräkningen inkluderar CO₂, CH₄ och N₂O, men omfattar inte nettoutsläpp av CO₂ från avskogning eller utrikes luft- och sjöfart. Efter år 2050 är utsläppen i princip noll, se figur1.

Kumulativ utsläppsbudget (Gton CO ₂ -ekvivalenter)		
Region	2010-2049	2050-2099
Världen	609	-
USA	80	-
EU	60	-
Sverige	0,8	-
Kina	139	-
Indien	47	-
Latin Amerika	52	-
Afrika söder om Sahara	42	-

Appendix 2. Model and method description

In this technical appendix, we present the MiMiC model (Multigas Mitigation Climate model) developed by Johansson et al (2006) and the assumptions we have made when constructing the global emissions pathways compatible with the 1.5°C and 2°C targets. The implications these global climate targets have on national emissions target are subsequently constructed with a contraction & convergence approach. We start by presenting the global aggregate MiMiC model in section 1 and then present the contraction & convergence calculations in section 2.

1. The MiMiC model

The MiMiC model is an integrated climate-economy model that emulates the global response of more detailed climate models as well as energy-economy models. Emissions of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) are determined endogenously in the model so that the net present value abatement cost of stabilizing the global average surface temperature at an exogenously set level (1.5°C or 2 °C in this study) above the pre-industrial level is minimized.

The model runs between 1880 and 2300 with annual time steps over the period 1880 to 2004 and 5-year time-steps over the period 2005 to 2300. The period 1880 to 2004 is used to calibrate the forcing strength of aerosols (both direct and indirect effects) and to initialize the carbon cycle and energy balance model.

1.1 Scenario and economic module

Baseline emissions for the well-mixed greenhouse gases CO₂, CH₄, and N₂O for the period 2015-2100 are taken from the IIASA B2 scenario, which is an updated version of the SRES B2; see Riahi et al. (2006) and IIASA (2009). The B2 scenario can be characterized as a scenario with medium population growth and medium per capita economic growth. After 2100 the baseline emissions are assumed to remain constant and eventually decline due to a constraint

that the cumulative carbon emissions from fossil sources cannot exceed 5000 Gton C due to limitations on extractable fossil fuel resources. However, this constraint will never be binding in the stabilization scenarios studied in this study; the cumulative carbon emissions are considerably less than 5000 Gton C. CO₂ emissions from land use change follow the B2 baseline scenario.

The economic module estimates the costs of reducing emissions of greenhouse gases through the use of so called marginal abatement cost functions (see Johansson et al, 2006 for details). Abatement of emissions is only allowed from the year 2015 and onwards.

Constraints on how fast emissions can fall over a given period of time are also implemented in the model so that the emissions do not fall at a higher rate than what have been observed in several energy-economy models (UNEP, 2010). However, in the case when the climate sensitivity is 4.5°C for a doubling of the CO₂ concentration and with the 1.5°C target for the global average surface temperature above the pre-industrial level the constraints have been relaxed so that the optimization model can find a solution

The future radiative forcing for fluorinated gases, stratospheric O₃, tropospheric O₃ and surface albedo is assumed to follow the RCP3PD scenario (van Vuuren, et al, 2007; Meinshausen et al, 2011b).

The direct and indirect global average radiative forcing of anthropogenic aerosols follows the path presented in RCP3PD. However, the forcing levels in each year is scaled up or down with a constant the value which is set so that the squared difference between the modeled global average surface temperature and the historical measured global average surface temperature is minimized. For a climate sensitivity of 3°C per CO₂ doubling, we get a value for the forcing from aerosols in the year 2005 that lies very close to the IPCC best estimate of the aerosol forcing in 2005.

Since MiMiC is a cost minimizing model, future costs have to be made comparable with costs occurring now.

Discounting is used for this and the discount rate is set to 5 % per year.

1.2 Gas cycles

To model the sink of atmospheric CO₂ in oceans, we use a non-linear response function presented in Joos et al. (1996). We adopt the use of the response function estimated for the Princeton 3-D carbon cycle model. This approach is an efficient representation of the carbon cycle that takes into account the change in the CO₂ buffer factor (Revelle factor) of the ocean surface layer when the partial pressure of CO₂ is altered.

For the terrestrial sink we use a non-linear response function presented in Tanaka (2008). The carbon fertilization factor is set to 0.55, and the carbon fertilization is assumed to depend logarithmically on atmospheric CO₂ concentration.

Temperature feedbacks on the carbon cycle are taken into account in MiMiC. When the global average surface temperature increases, the uptake of CO₂ in oceans will drop and the rate of respiration of organic carbon in the ecosystem will increase, both having the effect that larger fraction of the anthropogenically emitted CO₂ will stay in the atmosphere. For the temperature effect on carbon chemistry in oceans we use the same approach as Joos et al (2001) – and for the temperature effect on carbon in ecosystem we adopt a Q10 approach with parameters based on Tanaka (2008).

The response of the carbon cycle has been assessed, and it is found that it gives responses in line with those obtained from more complex carbon cycle models (Friedlingstein et al, 2006).

CH₄ and N₂O concentrations are modeled using the global mean mass-balance equations in Prather et al. (2001), taking into account the feedback effect CH₄ has on its own atmospheric lifetime.

1.3 Radiative forcing

The equations for radiative forcing are the expressions given in IPCC's Third Assessment Report (Ramaswamy et al., 2001). We include the indirect forcing effect of methane on tropospheric ozone and the concentration of stratospheric water vapor.

1.4 Energy balance model and global average surface temperature

A global average Energy Balance Model (EBM) is used to estimate the temperature response of changes in radiative forcing. The EBM that is used in the optimization is a three-box model which consists of a mixed ocean-atmosphere layer, an intermediate ocean layer and a bottom ocean layer. This three-box EBM model is calibrated to emulate a linear Upwelling Diffusion EBM (UDEBM) with polar overturning. The main assumptions for the UDEBM is the climate sensitivity, which is either 2.3 or 4.5 °C per CO₂ equivalent doubling, a heat diffusivity of 2 cm²/s, upwelling rate of 4 m/year and a ratio of polar water warming to average ocean warming of 0.2. The assumptions are in line with standard assumptions for UDEBMs, see Raper et al. (2001), Meinshausen et al. (2011a), Baker & Roe (2009), Hoffert et al. (1980), and Shine et al. (2005). The response of our UDEBM has been assessed, and it gives a response close to that obtained by MAGICC for similar levels for the heat diffusivity and the climate sensitivity. This is an indication that our model works well in the sense that it reproduces results from more advanced climate models. MAGICC is calibrated to emulate three-dimensional AOGCMs (Meinshausen et al, 2011a).

2. Assumptions made for the contraction & convergence calculations

In our contraction & convergence calculation, we include all anthropogenic CH₄ and N₂O emissions and anthropogenic CO₂ emissions except those from land use change and

international bunkers fuels. How land use change emissions and emissions from international bunkers will be treated in future international climate treaties is an open issue and for that reason we leave them out in our contraction & convergence calculation. We do not include the fluorinated gases included in the Kyoto protocol in our contraction and convergence calculation either. The reason for this is that these gases are not explicitly represented in MiMiC and that they only contribute with less than 2% of the global greenhouse gas emissions in 2005 (CAIT, 2011). Hence, the effect of this exclusion will be minimal.

The nation/regions we consider in the contraction & convergence calculation are: Sweden, EU, USA, India, China, Sub-Saharan Africa (without South Africa), Latin America, other Annex-1 countries and other non-Annex-1 countries. Population estimates and scenarios for these nations/regions are based on the B2 scenario (IIASA, 2009).

The CAIT-WRI emissions database is the main source of emissions data. The latest year for which emissions for CH₄ and N₂O are presented in the database is 2005, while 2007

is the last year for which CO₂ emissions from fossil fuel are available (CAIT, 2011). Since we base the contraction & convergence calculation on that the convergence starts 2013, we have made an emissions scenario for the last year for which we have data from CAIT to 2013. This scenario was based on latest reporting to the UNFCCC for EU, Sweden and USA (EEA, 2010; US EPA, 2011). Beyond the last reporting year the emissions (CO₂, CH₄, N₂O) were assumed to remain constant throughout to 2013 for these annex-1 countries/regions. For the other nations/regions, being China, India, Latin America, Sub-Saharan Africa (without South Africa), other Annex-1 countries and other non-Annex-1 countries we extrapolated the CO₂ emissions from fossil fuel based on actual emissions growth rates between 2007 and 2008 taken from IEA (2010) and estimated growth rates obtained in International Energy Outlook's reference scenario (EIA-DOE, 2010), while for CH₄ and N₂O we assumed that these emissions remained constant at their 2005 level through out to 2013.

References

- Baker M.B., Roe G.H. (2009) The shape of things to come: why is climate change so predictable? *Journal of Climate* 22(17): 4574–4589.
- CAIT (2011) Climate Analysis Indicators Tool, World Resources Institute (WRI), available via cait.wri.org, visited 2011-05-15.
- EEA (2010) Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2008 and inventory report 2010, Submission to the UNFCCC Secretariat, EEA Technical report No 6/2010, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- EIA-DOE (2010) International Energy Outlook 2010 (IEO2010), Report #:DOE/EIA-0484(2010), Energy Information Agency, US Department of Energy, Washington DC, USA.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Bernsten, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland (2007) Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (ed) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Friedlingstein, P., Cox P., Betts R., Bopp L., Von Bloh W., Brovkin V., Cadule P., Doney S., Eby M., Fung I., Bala G., John J., Jones C., Joos F., Kato T., Kawamiya M., Knorr W., Lindsay K., Matthews H.D., Raddatz T., Rayner P., Reick C., Roeckner E., Schnitzler K.G., Schnur R., Strassmann K., Weaver A.J., Yoshikawa C., Zeng N. (2006) Climate-carbon cycle feedback analysis: Results from the C4MIP model intercomparison. *Journal of Climate* 19: 3337–3353.
- Hoffert, M. I., Callegari A. J., Hsieh C.T. (1980) The Role of Deep Sea Heat Storage in the Secular Response to Climatic Forcing. *Journal of Geophysical Research* 85 (C11): 6667–6679.
- IEA (2010) CO₂ Emissions from Fuel Combustion – Highlights, International Energy Agency, OECD/IEA, Paris, France.
- IIASA (2009) International Institute for Applied System Analysis (IIASA) GGI Scenario Database Version 2.0, Available at: <http://www.iiasa.ac.at/Research/GGI/DB/>.
- Johansson D.J.A., Persson U.M., Azar C. (2006) The cost of using Global Warming Potentials: Analysing the trade-off between CO₂, CH₄, and N₂O. *Climatic Change* 77:291–309.
- Johansson D.J.A. (2010) Temperature stabilization, ocean heat uptake and radiative forcing overshoot profiles. Accepted for publication in *Climatic Change*.
- Joos, F., Bruno M., Fink R., Siegenthaler U.; Stocker T.F., Le Quéré C.; Sarmiento, J.L. (1996) An efficient and accurate representation of complex oceanic and biospheric models of anthropogenic carbon uptake. *Tellus B* 48(3): 397–417.
- Joos, F., I. C. Prentice, S. Sitch, R. Meyer, G. Hooss, G.-K. Plattner, S. Gerber, K. Hasselmann, (2001) Global warming feedbacks on terrestrial carbon uptake under the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) emission scenarios. *Global Biogeochemical Cycles* 15(4) 891–907.
- Meinshausen, M., Raper, S. C. B., and Wigley, T. M. L. (2011a) Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, MAGICC6 – Part 1: Model description and calibration. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 1417–1456.
- Meinshausen M., Smith S., et al., (2011b) The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their extension from 1765 to 2500" (in prep.), *Climatic Change* (Special Issue on RCPs).
- NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS) (2009) GISS Surface Temperature Analysis. downloaded via <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/> downloaded 2009-04-01.
- Prather M., Ehalt, D., Dentener F., Derwent R., Dlugokencky E., Holland E., Isaksen I., Katima J., Kirchhoff V., Matson P., Midgley P., Wang M. (2001) Atmospheric chemistry and greenhouse gases, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton et al. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.

- Ramaswamy V., Boucher O., Haigh J., Hauglustaine D., Haywood J., Myhre G., Nakajima T., Shi G.Y., Solomon S. (2001) Radiative forcing of climate change, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton et al., eds., Cambridge University Press, Cambridge.
- Riahi K., Grubler A., Nakicenovic N. (2006) Scenarios of Long-term Socio-economic and Environmental Development under Climate Stabilization. *Technological Forecasting and Social Change* 74(7): 887-935.
- Raper S.C.B., Gregory J.M., Osborn T.J. (2001) Use of an upwelling-diffusion energy balance climate model to simulate and diagnose A/OGCM results. *Climate Dynamics* 17:601-613.
- Roe G.H., Baker M.B. (2007) Why Is Climate Sensitivity So Unpredictable?. *Science* 318(5850): 629-632.
- Shine K.P., Fuglestad J.S., Hailemariam K., Stuber N. (2005) Alternatives to the Global Warming Potential for Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases. *Climatic Change* 68(3): 281-302.
- Tanaka K. (2008) Inverse Estimation for the Simple Earth System Model ACC2 and its Applications, Ph.D. thesis, International Max Planck Research School on Earth System Modelling, Hamburg, Germany. Downloadable at <http://www.sub.uni-hamburg.de/opus/volltexte/2008/3654/>.
- UNEP (2010) The Emissions Gap Report: Are the Copenhagen Pledges Sufficient to Limit Global Warming to 2°C or 1,5°C? – A preliminary assessment, United Nation Environmental Program.
- US EPA (2011) Inventory Of U.S. Greenhouse Gas Emissions And Sinks: 1990-2009, EPA 430-R-11-005, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.
- van Vuuren, D., den Elzen M., Lucas P., Eickhout B., Strengers B., van Ruijven B., Wonink S., van Houdt R. (2007) Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change* 81(2): 119-159.

Denna rapport beställdes som ett led i Naturskyddsföreningens analysarbete inför FN:s Klimatkonventions COP 17 i Durban 28 November -9 December 2011. Vi bad Christian Azar och Daniel Johansson vid institutionen för fysisk resursteori på Chalmers beräkna hur stora antropogena utsläpp av växthusgaser som på global och nationell nivå som är förenliga med att nå ett mål för den globala medeltemperaturen vid jordytan på max 1,5 grader C över den förindustriella nivån.



Naturskyddsföreningen

Ge oss kraft
att förändra.
Pg.90 1909-2

Naturskyddsföreningen. Box 4625, 11691
Stockholm. Tel 08-702 65 00. info@naturskyddsforeningen.se

Naturskyddsföreningen är en ideell miljöorganisation med kraft att förändra. Vi sprider kunskap, kartlägger miljöhot, skapar lösningar samt påverkar politiker och myndigheter såväl nationellt som internationellt. Föreningen har ca 190 000 medlemmar och finns i lokalföreningar och länsförbund över hela landet.

Vi står bakom världens tuffaste miljömärkning
Bra Miljöval.

www.naturskyddsforeningen.se
Mobil hemsida (wap): mobil.naturmob.se



Bra Miljöval