

NILU: F 25/2004
REFERANSE: Q-303
DATO: SEPTEMBER 2004

Luftforurensning

Utslipp, meteorologi, spredning, modeller, effekter og planlegging

**Forelesninger ved NTNU,
Trondheim, September 2004**

Bjarne Sivertsen

Innhold

	Side
Innhold	1
1 Innledning	2
2 Atmosfæren og forurensning.....	2
3 Atmosfærens evne til å transportere og spre luftforurensninger	2
3.1 Vinden fortynner og sprer	2
3.2 Turbulens sprer forurensning	3
4 Stabilitetens innvirkning på spredningen	4
5 Spredningsberegninger	5
5.1 Spredningsmodeller.....	5
6 Bruken av spredningsmodeller	6
6.1 Modeller for planlegging.....	6
7 Lufta i byene våre.....	7
7.1 Sammensetningen er endret	7
7.2 Folk utsettes for høy eksponering for NO ₂	7
8 Overvåking av bylufta	8
8.1 Måleprogrammene har endret seg	8
9 Referanser	9
Vedlegg A Bilder brukt i forelesningene	11

Utslipp, meteorologi, spredning, modeller, effekter og planlegging

1 Innledning

Dette notatet er basert på en forelesningsserie på 6 presentasjoner utarbeidet for faget ”Luftforurensning og renseutstyr, Høsten 2004” ved NTNU i Trondheim. Kurste inneholdet følgende deltemaer:

- Definisjon av begrepet luftforurensning
- Grenseverdier
- Komponenter og indikatorer
- Utslipp, kilder og mengder i Norge
- Meteorologi og spredning
- Modeller
- Planlegging og tiltak
- Effekter av luftforurensning på alle skalaer
- Overvåking og varsling

Forelesningene er dessuten basert på to tidligere foredrag utarbeidet i 2000 om Luftkvaliteten i Norge (NILU F 16/2000) og Meteorologi, spredning og modeller (NILU F 19/2000).

Dette sammendraget er en kort versjon av tidligere foredrag og er dessuten fulgt av kopi av lysbildene som ble brukt i presentasjonene.

2 Atmosfæren og forurensning

Atmosfæren består av en hel del gasser og partikler som ”naturlig” forekommer i visse konsentrasjoner.

Når forblir så disse avgassene det vi kaller luftforurensning? Pr. definisjon skjer dette når ett eller flere stoffer som partikler, væskedråper, gasser, lukt, røyk eller vanndamp forekommer i uteatmosfæren i en slik mengde, sammensetning eller varighet at de er eller kan være til skade for mennesker, planter, dyreliv eller eiendom, eller at de er til ulempe for menneskenes trivsel eller eiendom.

3 Atmosfærens evne til å transportere og spre luftforurensninger

Værforholdene spiller en avgjørende rolle for spredningen av forurensninger som slippes ut. Den vei forurensningen tar er bestemt av vindens retning.

3.1 Vinden fortynner og spre

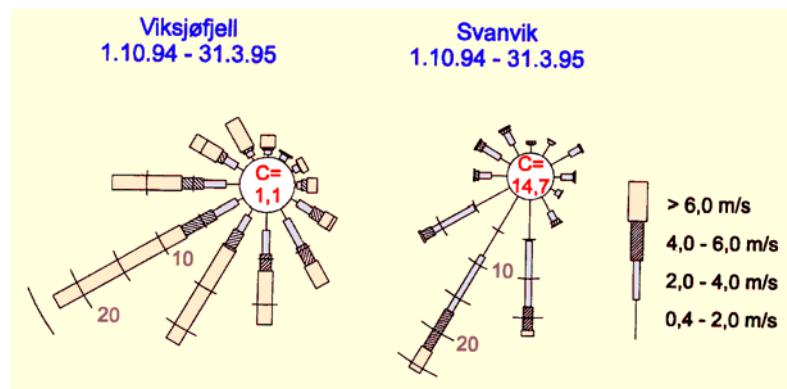
Fortynningen avhenger av vindens styrke og luftmassens blanding underveis. Disse faktorer influeres igjen av topografiens som kanaliserer vinden, og som skaper bedre eller dårligere blanding alt etter strålingsforhold og de ytre vindforhold.

Transport av forurensning fra en kilde skjer langs banen (trajektorien) til det luftvolum forurensningen slippes ut i. Trajektoriene er bestemt av vindens retning og styrke i hvert punkt (vindfeltet). Spredningen (eller diffusjonen) av forurensninger er avhengig av luftens turbulente tilstand, som er gitt ved den kontinuerlige 3-dimensjonale variasjon i vindens retning og styrke.

Under transport og spredning utsettes forurensningene for kjemiske og fysiske forandringer, som kan resultere i at virkningene endres sterkt med avstanden fra utslippsstedet.

Vinden som oppleves i ett punkt er sammensatt av bevegelser på mange skalaer:

- storskala, geostrofisk vind (trykkdrevet),
- termiske drevne vindsystemer (land/sjøbris, fjell/dalvind),
- lokale strømninger påvirket av topografi og bygninger (deformasjon og kanalisering),
- vind modifisert av friksjon,
- strømninger påvirket av oppvarming og avkjøling ved bakken



Vindrosor fra to målesteder viser frekvensen (i %) av vind i 12 sektorer

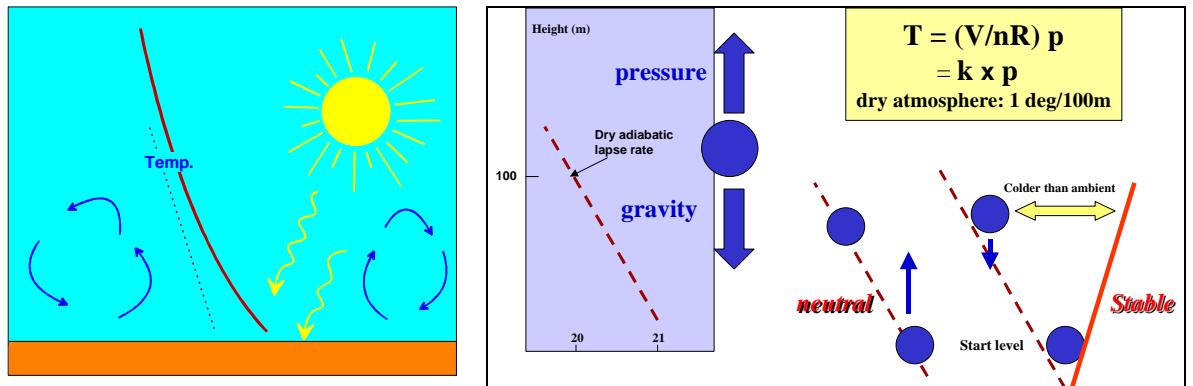
Vinden observert i ett punkt er summen av vind påvirket av:

- Trykkdrevet (geostrofisk) storskala vind,
- Topografiens påvirkning (kanalisering og dreining av vinden)
- Vegetasjon, underlagets ruhet, friksjon
- Innflytelsen av bygninger, bebygde områder,
- Netto stråling, strålingsbalansen (påvirker stabiliteten)
- Termiske effekter (lokale og mesoskala kilder til oppvarming og avkjøling av bakken)

3.2 Turbulens sprer forurensning

Turbulens defineres ofte som småskala vindfluktuajonene med dimensjoner mindre enn utbredelsen av røykskyene som den påvirker. Turbulensen vil derfor ikke føre til en systematisk transport av forurensninger, men til en kaotisk diffusjon og fortynnning.

Hvis luften nær bakken varmes opp til den er varmere enn luften over, oppstår det en vertikal varmestrøm, og dess større oppvarmingen er, dess kraftigere blir vertikaltransporten eller blandingen. Når temperaturen avtar sterkt med høyden sier en at atmosfæren er instabil.

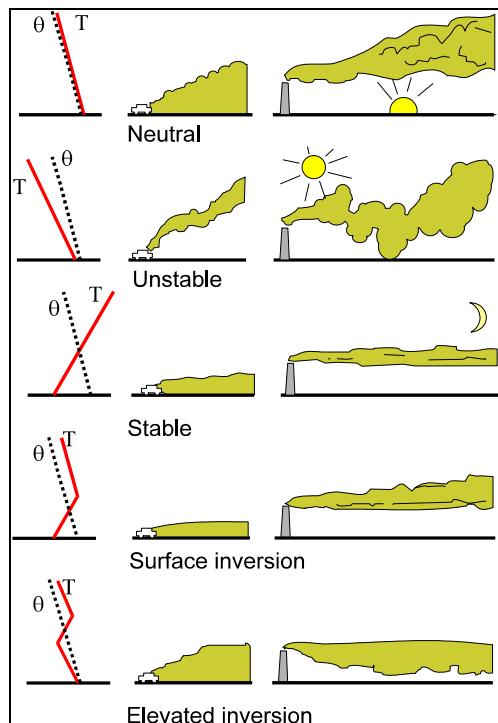


Inn- og utstråling av varme ved bakken påvirker det vertikale temperaturprofilen. Avhengig av temperatursjiktningen vil en luftpakke som flyttes opp eller ned i atmosfæren oppleve omgivelsene som stabile eller ustabile.

Kald luft under varmere luft, gir en stabil temperatursjiktning. Den turbulens som dannes under slike forhold er rent mekanisk betinget av vindstyrken, vindstyrkens variasjon med høyden og underlagets ruhet.

4 Stabilitetens innvirkning på spredningen

På figuren nedenfor har en tatt for seg røykens utseende under forskjellige stabilitetsforhold.



Nøytral temperatursjiktning opptrer helst i overskyet vær med vind. Spredningen er alltid relativt god. Nær nøytrale atmosfæriske forhold anses ofte som normalsituasjonen, når en skal beregne konsekvensen av et utsipp.

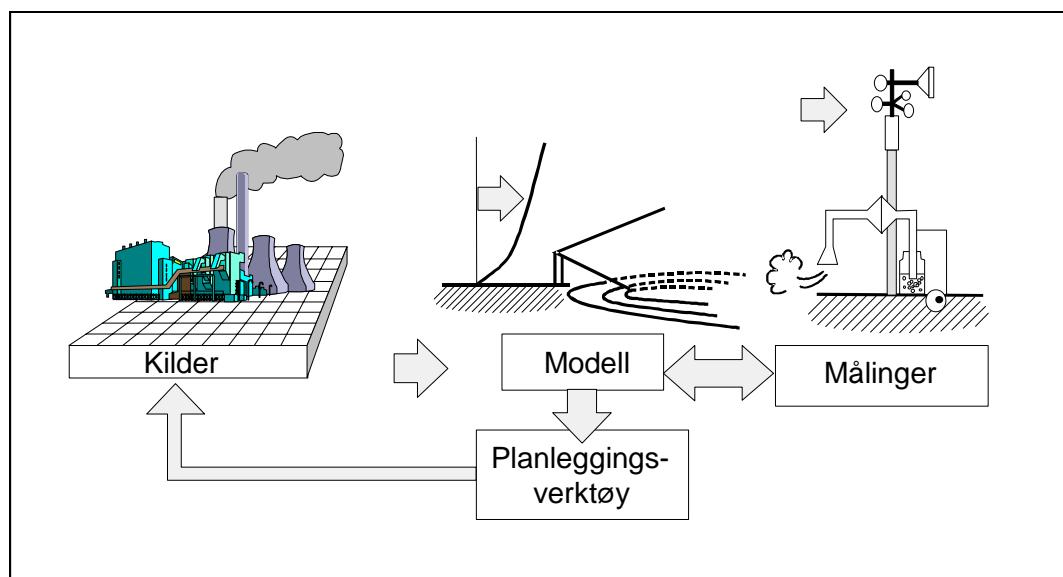
Ustabile forhold forekommer på dagtid om sommeren ved soloppvarming av bakken. For utsipp ved bakken er konsentrasjonene minst i ustabile forhold, da fortynningen av forurensning ved bakken er best.

Under stabile forhold er den vertikale utbredelsen av forurensning (spredningen) dårlig. I inversjonsforhold dannes det ofte et røykstappe, og utsipp som skjer ved bakken blir liggende lavt over terrenget. Dette kan føre til høye bakkekonsentrasjoner.

5 Spredningsberegninger

5.1 Spredningsmodeller

En spredningsmodell er en matematisk beskrivelse (eller gjengivelse) av transport- og turbulente diffusjonsprosesser i atmosfæren. Generelt anvendes en modell til å beskrive sammenhengen mellom utslippsmengde og konsentrasjon av luftforurensninger i gitte punkter og for spesifiserte midlingstider.



Det er først når utsippene og måledataene er knyttet sammen gjennom et generelt beregningsverktøy at man har muligheten for å beregne konsekvensene av framtidige endringer og planlagte utsipp.

Modellen kalles da en luftkvalitetsmodell. Luftkvalitetsmodeller kan gi svar på en rekke spørsmål angående luftkvalitetskontroll, trafikkplanlegging, arealplanlegging og konsekvensen av tiltak generelt. Modellen betraktes ofte som bindeleddet mellom utsipp av forurensninger og den belastning mennesker og miljø utsettes for.

6 Bruken av spredningsmodeller

Spredningsmodeller er i mange tilfeller mer nyttig enn et måleprogram. Sammen med målte luftkvalitetsdata er modellberegninger overlegne i forhold til rene måleprogram. Modellene kan brukes i mange forskjellige problemstillinger som vist nedenfor.

Typiske Anvendelsesområder

1. Eksisterende og framtidige enkeltkilders miljøbelastning
2. Lokalisering av store enkeltkilder
3. Skorsteinshøyde-bestemmelse (ved f eks utslipp av SO₂, støv, HF osv.)
4. Dimensjonering av røykgass-rengesystemer
5. Havariutslipp (radioaktive, toksiske eksplasive, tunge gasser)
6. Depositionsproblemer
7. Luktpotemner
8. Fotokjemiske oksidanter
9. Vurdering av fjerne kilders påvirkning
10. Byplan-/areal-/samfunnsplanlegging (eks vurdering av alternative oppvarmingssystemer)
11. Trafikkplanlegging
12. Planlegging av måleprogrammer
13. Analyse av måledata (luftkvalitetsdata), trendanalyse
14. Planlegging av måleprogrammer
15. Analyse av måledata (luftkvalitetsdata), trendanalyse
16. Varsling av episoder med høyt forurensningsnivå

6.1 Modeller for planlegging

Under gitte forutsetninger i planleggingsarbeidet, der bl.a. utslippsdata er gitt, kan en spredningsmodell gi en prognose av forurensningsbelastningen i et område. Modellberegninger kan gi verdifull informasjon om middelkonsentrasjonen, maksimalbelastningene og sannsynligheten for disse. Spredningsmodeller gir ikke bare konsentrasjonen i ett enkelt punkt, men også fordelingen av forurensningsbelastningen i form av konsentrasjonskart. Disse viser den geografiske fordelingen av forventede uønskede konsentrasjoner, og kan dermed inngå direkte som grunnlag for planlegging av arealutnyttelsen sett fra et forurensningssynspunkt.

Anvendelsen og anvendbarheten av spredningsmodeller varierer sterkt med problemets karakter, modellområdets kompleksitet, forurensningstype, utslippsmønster, krav til resultatene etc. Disse forholdene må bestemmes før modellene tas i bruk.

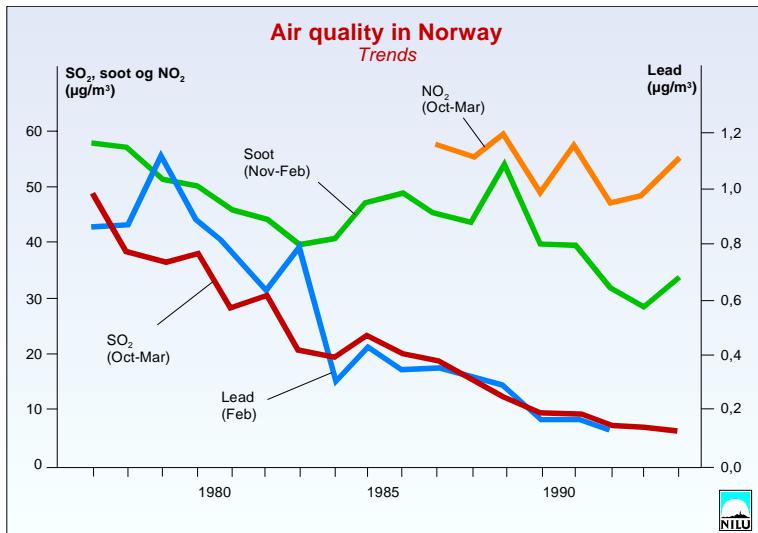
Etablering av et planleggingsverktøy for luftkvalitet består vanligvis av et program i flere faser. Programmet kan bestå av:

1. Kartlegging av utslipp
2. Måleprogram luft - meteorologi
3. Modelletablering - beregninger
4. Tiltakspakker - alternative løsninger - konsekvenser
5. Ytterligere målinger for verifisering av modellverktøyet
6. Etablering av et "operativt system", dvs. overvåking og melding av luftkvalitet for bl.a. vurdering av effekten av tiltak

7 Lufta i byene våre

7.1 Sammensetningen er endret

Det er i dag først og fremst nitrogendioksid (NO_2) og svevestøv (PM_{10} , sot og veistøv) som utgjør de viktigste problemene i norske byer. For disse stoffene forekommer det overskridelser av retningslinjer for luftkvalitet. Tidvis gir også CO -utsippet høye konsentrasjoner i trange gater og under spesielle meteorologiske forhold.



Figur 1: Middelkonsentrasjonene for 8 norske byer av NO_2 , sot, SO_2 og bly viser en klar nedgang for SO_2 og bly i Norge i perioden fra 1977 til 1990. Partiklene (med sot som indikator) flatet ut på begynnelsen av 80-tallet fordi biltrafikken begynte å dominere bildet. Samtidig holdt NO_2 konsentrasjonene seg på et høyt nivå i byene.

Luftforurensningen i byer og tettsteder har endret karakter og sammensetning i løpet av de iste 30 årene. På 1960-70-tallet var luftforurensningene dominert av utslipp fra fyringsanlegg og industri. Fra begynnelsen av 1980-årene tok biltrafikken gradvis over som den viktigste kilden til de lokale luftforurensningene i byene våre, og i dag er bidragene fra biltrafikken helt dominerende.

I tillegg til trafikkens partikelutslipp kan utslippene fra fyring (særlig bruk av ved og andre fossile brensler) være betydelig på kalde vinterdager. I Norge svarer stasjonære kilder totalt til ca. 47 % av PM_{10} -utsippene. Likevel er biltrafikkens 44% dominerende, når en vurderer eksponeringen til menneskene. Dette skyldes at eksos slipper ut ved bakken ofte under spesielle meteorologiske forhold som hindrer en effektiv uttynning i atmosfæren

7.2 Folk utsettes for høy eksponering for NO_2

I de 4 største byene bor ca. halvparten av folk i områder der anbefalte luftkvalitetskriterier tidvis overskrides. I enkelte områder av storbyene våre kan eksos og veistøv til tider føre til helseplager.

Tabell 1: Eksponeringsberegninger for NO₂ viser at store deler av befolkningen tidvis utsettes for overskridelser av de anbefalte luftkvalitetskriteriene fra SFT (Slørdal, 1997)

NO ₂ konsentrasjoner	Verste time % av befolkningen over 100 µg/m ³	Verste døgn % av befolkningen over 75 µg/m ³
Oslo	71	31
Drammen	52	28
Bergen	53	29
Trondheim	84	45

Den prosentvise andelen av befolkningen som ble utsatt for disse overskridelsene i verste time på året varierte i 1996 fra 52 % i Drammen til 84 % i Trondheim. I verste døgn viste beregningene at 28 % til 45 % av folk i byene bodde i områder der nivået av NO₂ var høyere enn anbefalte kriterier.

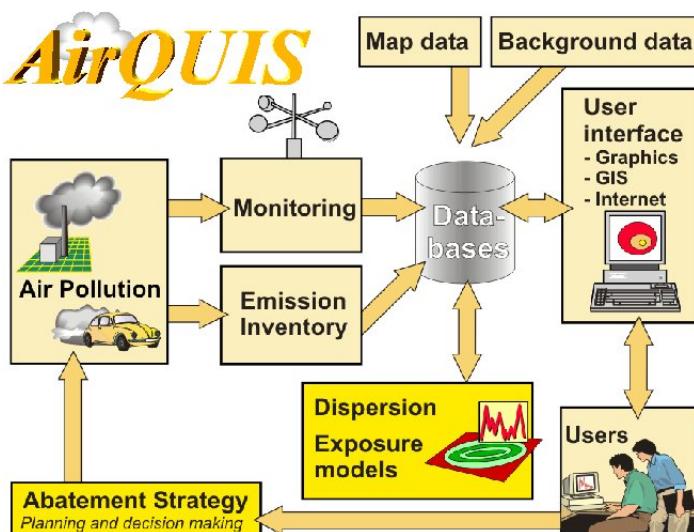
8 Overvåking av bylufta

8.1 Måleprogrammene har endret seg

Overvåkingsprogrammene for byer og tettsteder er endret i løpet av de siste årene. Rutinemessige målinger av døgn-midlete konsentrasjoner av SO₂, NO₂ og sot, som tidligere ble utført i ca. 30 byer og tettsteder i Norge, er erstattet med automatiske overvåkingssystemer for de største byene.

Resultatene kan i dag presenteres for myndigheter og allmennheten nesten samtidig som observasjonene er tatt. Mange av resultatene er tilgjengelig på Internett hvor alle har tilgang på: www.luftkvalitet.info eller www.nilu.no.

I dagens overvåkingsprogram kombineres målte data med modellberegninger for å estimere eksponeringen av forurensningene til mennesker og miljø. Slik moderne overvåking er startet i Oslo, Bergen, Drammen, Trondheim, Sarpsborg-Fredrikstad, Stavanger og Skien/Porsgrunn.



Utgangspunktet for den moderniserte overvåkingen av luftkvaliteten har bl.a. vært utviklingen av AirQUIS systemet i Norge. Dette overvåkings- og planleggingsverktøyet er utviklet av NILU og inngår som en del av dette nasjonale overvåkingsystemet i dag. AirQUIS er også installert og brukes av myndigheter i mange land verden over.

9 Referanser

- Bøhler, T. (1987) Users guide for the Gaussian type dispersion models CONCX and CONDEP. Lillestrøm (NILU TR 8/87).
- Gram, F. and Bøhler, T. (1992) Users guide for the "KILDER" dispersion modelling system. Lillestrøm (NILU TR 5/92).
- Grønskei, K., Walker, S.E. and Gram, F. (1993) Evaluation of a model for hourly spatial concentration distributions. *Atmos. Environ.*, 27B, 105-120.
- Gryning, S.E., Holtslag, A.A.M., Irwin, J.S. and Sivertsen, B. (1987) Applied dispersion modelling based on meteorological scaling parameters. *Atmos. Environ.*, 21, 79-89.
- Larssen, S. and Torp, C. (1993) Documentation of RoadAir 2.0. Lillestrøm (NILU TR 12/93).
- Larssen, S. et al. (1995) URBAIR. Urban air quality management strategy in Asia. Metro Manila City specific report. Kjeller (NILU OR 57/95).
- Larssen, S., Grønskei, K.E., Gram, F., Hagen, L.O. and Walker, S.E. (1994) Verification of urban scale time dependent dispersion model with subgrid elements in Oslo, Norway. I: *Air Pollution Modelling and Its Application X*. Red.: Gryning, S.-E. and Millan, M.M. New York, Plenum Press, s. 91-99.
- Sivertsen, B. (1979) Luftkvalitetsmodeller. Sluttrapport NORDFORSK prosjektet mesoskala spridningsmodeller. Helsingfors (NORDFORSK, Miljövårdssekretariatet publikation 1979-1).
- Sivertsen, B. (1980) The application of Gaussian dispersion models at NILU. Lillestrøm (NILU TR 11/80).
- Sivertsen, B. (1985) Evaluation of air quality in Sarpsborg and Fredrikstad, 1981-83. Sub report E: Calculation of exposure to lead. (in Norwegian. Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Sarpsborg og Fredrikstad 1981-1983, Delrapport E: Beregning av blyeksponering). Lillestrøm (NILU OR 39/84, SFT rapport 182/85).
- Sivertsen, B. (1994) Air pollution monitoring for on-line warning and alarm. Presented at the International Emergency Management and Engineering Conference, Florida April 18-21, 1994. Lillestrøm (NILU F 7/94).

Sivertsen, B. (2000) Luftkvaliteten i Norge; fra utslipp til eksponering. Kjeller (NILU F 16/2000).

Sivertsen, B. (2000) Luftforurensning – meteorologi, spredning og modeller. Kjeller (NILU F 19/2000).

Slørdal, L.H., (1998) Eksponering til luftforurensning i Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim. Beregninger av NO₂, PM₁₀ og PM_{2,5} for vinteren 1995-96. Kjeller (NILU OR 38/98).

Vedlegg A

Bilder brukt i forelesningene

A1: Luftforurensning, definisjoner

A2: Utslipp av luftforurensninger

A3: Spredning av luftforurensninger, meteorologi

A4: Spredningsmodeller

A5: Effekter av luftforurensing på alle skalaer

Luftforurensning



Forskningsjef Bjørne Sivertsen
Norsk Institutt for luftforskning (NILU)

- ◆ Definere begrepet
- ◆ Grenseverdier
- ◆ Komponenter og indikatorer
- ◆ Utslipp (Norge)
- ◆ Meteorologi og spredning
- ◆ Modeller
- ◆ Planlegging og tiltak
- ◆ Effekter av luftforurensning
- ◆ Overvåking og varsling

www.NILU.no 

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 1

Luftforurensning



Forekomsten i atmosfæren av:

- ◆ Gasser
- ◆ Væskedråper
- ◆ Faste partikler

i slike mengder at de kan gi målbare effekter på klima, mennesker, dyr, planter eller materialer.

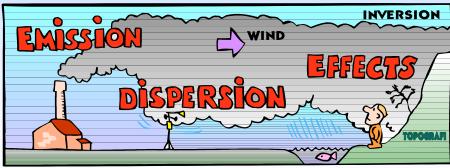
www.NILU.no 

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 2

Luftforurensning

Et forurensnings problem:

- Det må være **utslipp** av forurensende stoff
- Det forurensende stoff fortynnes med et begrenset **luftvolum**
- Det forurensende stoff må **påvirke** menneskers velvære, fysisk, mentalt eller sosialt



www.NILU.no 

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 3

Sammensetning av "ren" og tørr luft

KOMPONENT	Konsentrasjon (mg/m ³)
N ₂ (nitrogen)	909450
O ₂ (oksygen)	278700
Ar (argon)	15450
CO ₂ (karbondioksid)	620
N _e (neon)	15
Kr (krypton)	3.5
CH ₄ (metan)	1.1
H _e (helium)	0.9
N ₂ O(dinitrogenoksid)	0.9
H ₂ (hydrogen)	0.04
Xe(xenon)	0.04
NO _x (nitrogenoksid)	0.02
O ₃ (ozon)	0.02
NH ₃ (amoniakk)	Spor
SO ₂ (svoveloksid)	Spor

Forurensning når konsentrasjonen overskridrer en grense

www.NILU.no 

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 4

Horisontale skalaen for luftforurensningsproblemer

Skala	Størrelsesorden
Inne-Gate-Kvartal-Bydel-	1 m 10 m 100 m 1 000 m (1 km)
Lokal	10 km
Regional	100 km
Kontinental	1 000 km
Global	10 000 km

www.NILU.no 

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 5

Kjemisk klassifisering

Luftforurensninger kan klassifiseres etter kjemisk sammensetning:

1. Sovelforbindelser
2. Nitrogenforbindelser
3. Karbonforbindelser
4. Halogenforbindelser
5. Oksidanter
6. Partikler
7. Metaller

Primærkomponenter
 Sekundærkomponenter

www.NILU.no 

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 6

Oppholdstid i troposfæren for noen stoffer

H ₂ S	<1 d
SO ₂	1-3 d
NO _x	1-10 d *
SO ₄ ⁻	3-5 d (partikler)
O ₃	3-6 uker (gjennomsnitt for troposfæren)
CO	1-4 mnd *
CH ₄	ca. 14 a *
CO ₂	2-500 a *
HKFK	1 mnd-10 a *
KFK	50-150 a (klorfluorkarboner) *
PFC	1 000-10 000 a *

B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt slide 7

www.NILU.no 

Grenseverdier for luftkvalitet

Grenseverdisetting i tre trinn:

kriterier

gir informasjon om sammenhenger mellom luftforurenings-konsentrasjoner eksponeringstider og skadevirkninger på helse- og miljø.

mål

er den luftkvaliteten som anses tilstrekkelig god til at uønskede virkninger ikke skal forekomme.

normer

er bestemmelser for hvilken luftkvalitet myndighetene vil godta.

B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt slide 8

www.NILU.no 

Grenseverdier for luftkvalitet

er bestemt ved:

- ✓ Koncentrasjon
- ✓ Midlingstid
- ✓ Fraktil (prosentverdi)
- ✓ Periodelengde
- ✓ Målemetode (eventuelt beregningsmetode)



B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt slide 9

www.NILU.no 

EU-direktivene, begreper og verdier

Grenseverdi

Nivå fastslått for å unngå, forebygge og minske skadelige effekter på helse og/eller på miljø (skal oppnås innen en viss tidsfrist)

Toleransemargin

Prosentall grenseverdien kan overskrides med på de vilkårene som er gitt i Rammedirektivet (96/62/EC). (skal gradvis reduseres og bli lik null ve gitt tidspunkt)

Terskelverdi

Nivå der kortvarig eksponering utgjør en risiko for menneskers helse

Øvre vurderingstreskel

Over øvre vurderingstreskel er "høykvalitetsmålinger" obligatoriske. Under dette nivået kan en kombinasjon av målinger og beregningsmetoder benyttes for å vurdere luftkvaliteten i henhold til artikkel 6.3 i Rammedirektivet.

Nedre vurderingstreskel

Under dette nivået kan beregningsmetoder og objektivt skjønn benyttes for å vurdere luftkvaliteten.

Vurdering

Med dette menes enhver metode som benyttes for å måle, beregne, prognostisere eller estimere nivået for et stoff i luften.

B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt slide 10

www.NILU.no 

EU's grenseverdier

Averaging time	1 h	24 h	annual
SO ₂	350 (24)	125 (3)	20*
NO ₂	200 (8)	-	40
PM10 2005		50 (25)	30
Pb			0.5

* relatert til økosystemet
() antall tillatte overskridelser

B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt slide 11

www.NILU.no 

Norske forskrifter

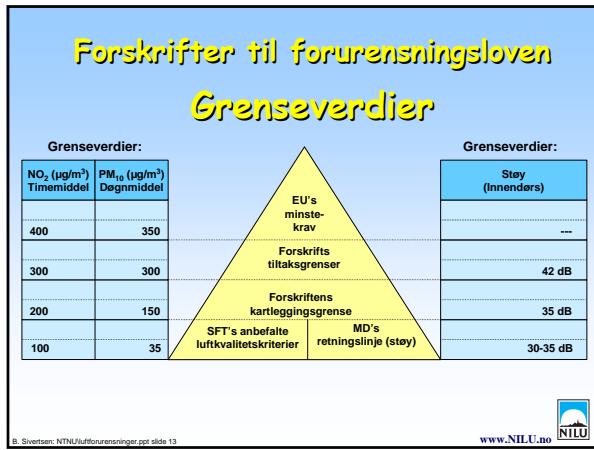
Grenser for tiltak!

EU min krav	Midi.tid	Grenseverdi
NO ₂	time	400
PM10	døgn	350
SO ₂	døgn	400
Bly	år	0,5

Nasjonale krav	Midi.tid	Grensev.	Frist
NO ₂	time	300	Jan. 2005
PM10	døgn	300	Jan. 2005
SO ₂	døgn	200	Jan. 2005
Bly	år	0,5	Jan. 2005

B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt slide 12

www.NILU.no 



Grenseverdier for luftkvalitet

(*) halvårsmedie

	EU			Norge		
	Grenseverdi	Viledd.grverdi	Nye datterdirektiver	SFT-kriterier	Kartleggingsgrense	Tiltaksgr. Grense
NO_x median, 1h, år 99,9%, 1h, år maks, 1h	200	50 135	200 40	50* 100	200	300
TSP median, 24h, år 95%, 24h, år	150 300					
PM_{10} Middel, 24h, år 96% - 98%, 24h, år Maks, 24h			20 50	40* 70	150	300

EU har tidligere ikke hatt grenseverdier for PM_{10} , men for TSP. Grenseverdien på $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som 95-prosentilverdi er "regnet om" til en maksimal PM_{10} -verdi på $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som kalles "EU's nasjonalkrav". Forskriften til forurensningsloven.

De norske tilsverdiene (nasjonalt krav) skal være oppnådd senest inn 1. januar 2005 (!)

EUs datterdirektiv for PM_{10} døgn på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er foreslått enten som 98 prosentil eller 96 prosentil.

B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt side 13

www.NILU.no



Tørravsetningen

kan uttrykkes ved følgende enkle likning:

$$D_t = v_d c$$

D_t Tørravsetning (masse pr. tids- og flateenhet).

v_d Avsetningshastighet (lengde pr. tidsenhet).

c Konsentrasjon i atmosfæren (masse pr. volumenhett).

B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt side 16

www.NILU.no

Våtavsetningen

bestemmes som produktet av nedbørsmengde og konsentrasiøn i nedbøren:

$$D_v = p c$$

D_v Våtavsetning (masse pr. tids- og flateenhet).

p Nedbørsmengde (volum pr. tids- og flateenhet).

c Konsentrasiøn i nedbør (masse pr. volumenhett).

www.NILU.no

Konsentrasiøn

Konsentrasiøn av gasser i lufta oppgis på vektbasis eller volumbasis:

Vektbasis: mg/m^3 , $\mu\text{g}/\text{m}^3$ eller ng/m^3

Volumbasis: ppm, ppb eller ppt

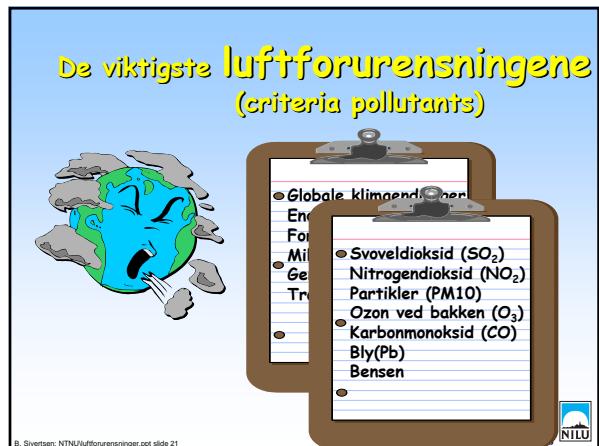
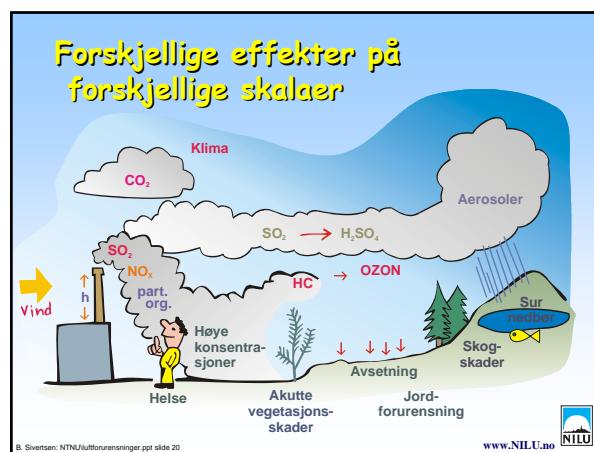
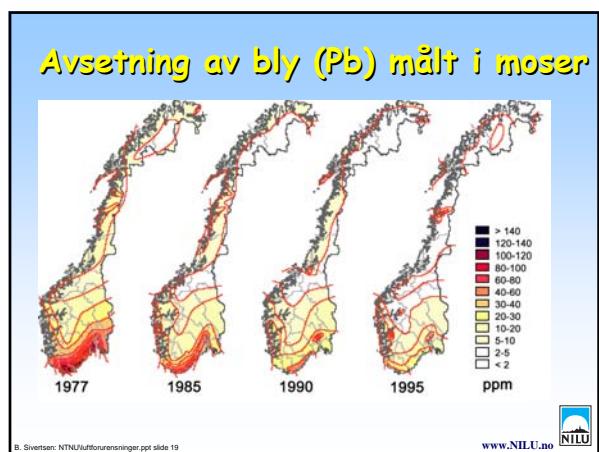
ppm: "parts per million" $1:10^6$

ppb: "parts per billion" $1:10^9$

ppt: "parts per trillion" $1:10^{12}$

B. Sivertsen: NTNLU/luftforurensninger.ppt side 18

www.NILU.no



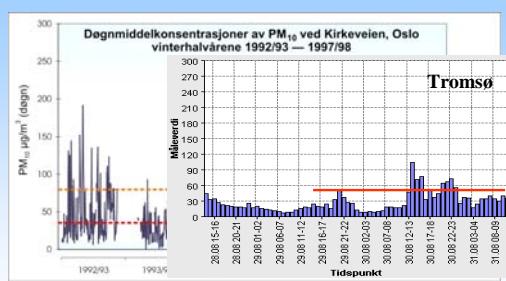
Karakteristiske trinn for de kjemiske reaksjonene:

- Fotokjemisk dissosiasjon av NO₂ og andre lysabsorberende gasser.
 - Hurtig oksidasjon av NO til NO₂, og etter hvert videre til salpetersyre.
 - Oksidasjon av hydrokarboner.
 - Dannelse av ozon og andre oksidanter.

Solstråling er nødvendig for at reaksjonene skal komme i gang.

B. Silvertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 25

www.NILU.no



Sett i forhold til grenseverdier og nasjonale mål er PM₁₀ (svevestøv) det største luftforurensnings-problemet i byene

www.NILU.no

Karbonmonoksid (CO)

- ♦ Antropogene utslipp av CO domineres av biltrafikk



B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 27

www.NILU.no

Organiske stoffer

- **Tjærestoffer**
polysykliske organiske hydrokarboner (PAH)
fra biltrafikk, aluminiumverk og små anlegg
 - **Aromatiske stoffer**
benzen og toluen
 - **Alkener**
viktige for dannelsen av fotokjemiske
oksidanter

www.NILU.no

Luktstoffer



Virksomhet	Viktige luktforbindelser
Biltrafikk	Aromater, aldehyder
Afvalsplasser og kloakkrenseanlegg	S- og N-alkaner
Fiskeforedling	Aminer, amider
Celluloseproduksjon	Sulfider, merkaptaner, organiske stoffer
Plastproduksjon	Styren m.fl.
Maling- og limproduksjon	Diverse organiske stoffer

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 29

www.NILU.no

Halogenholdige stoffer

- 
 - ◆ Elementært klor
 - ◆ Hydrogenklorid
 - ◆ Fluorider
 - ◆ Polyklorerte dioksiner og furaner



www.NILU.no

Metaller

- Utslipp fra smelteverk og anlegg for forbrenning av kull, tungolje og avfall
- Visse mose- og lavarter samler opp metaller som tilføres med luft- og nedbør



B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 31

www.NILU.no 

Effekter på åndedrettet

Luftkvalitetsindikatorer

SO_2	+ acid aerosols, +BS
NO_2	Incr. air way resist. at $\sim 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ asthmatic + children
$\text{PM}_{10} (\text{PM}_{2,5})$	< $\text{PM}_{2,5}$ + acid aerosols
O_3	Air way resistance at $470 \mu\text{g}/\text{m}^3$ inflammation, cough
CO	---

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 32

www.NILU.no 



Norsk institutt for
luftforskning

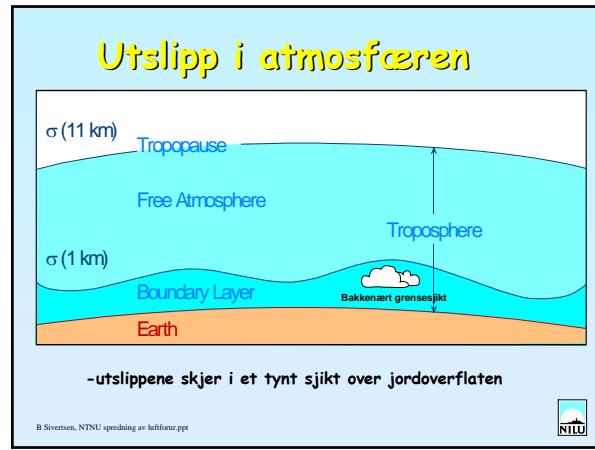
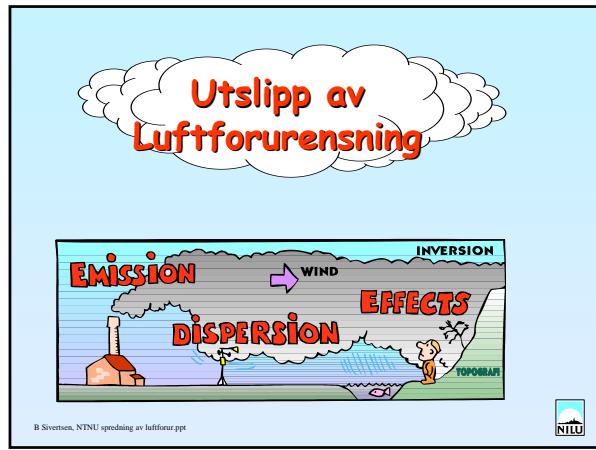
www.nilu.no



NILU
POBox 100
No-2027 Kjeller
Norway
Fax: +47 63 898050
E-mail: nilu@nilu.no

B. Sivertsen: NTNU/luftforurensninger.ppt slide 33

www.NILU.no 

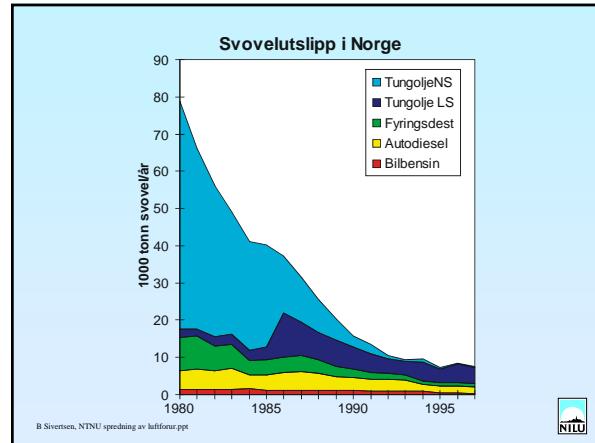
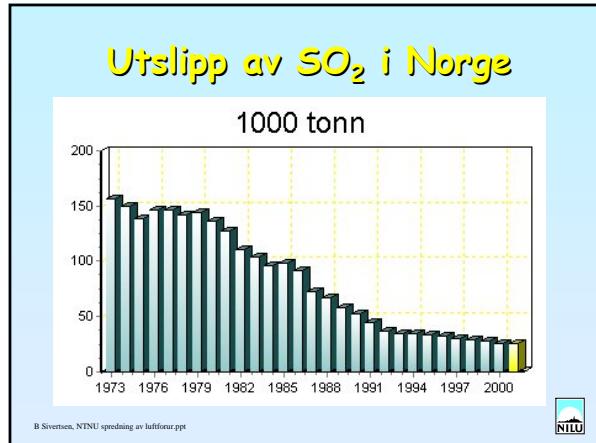


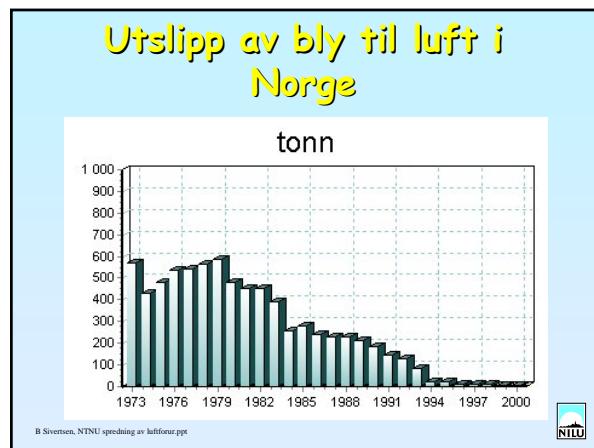
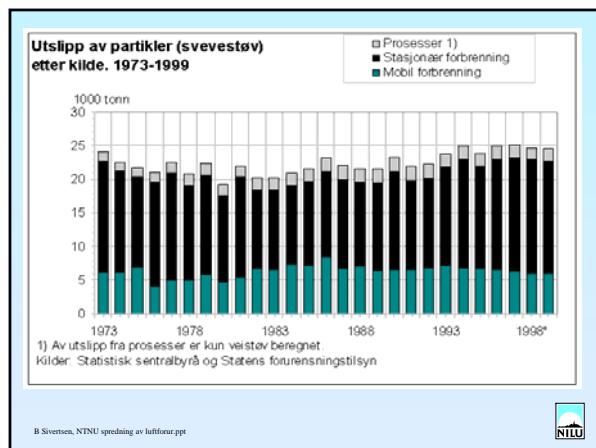
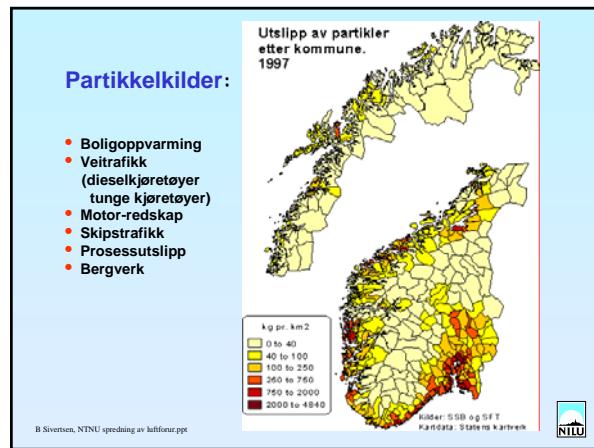
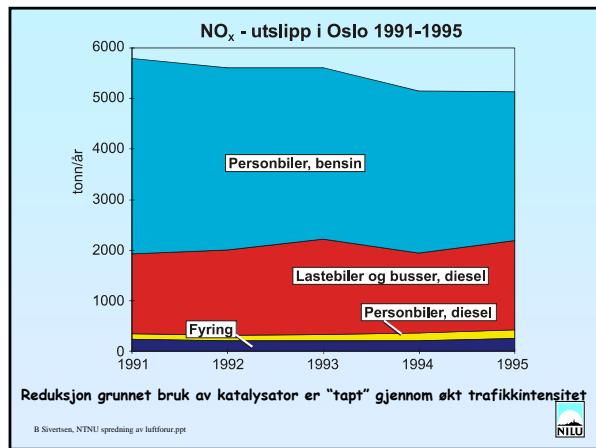
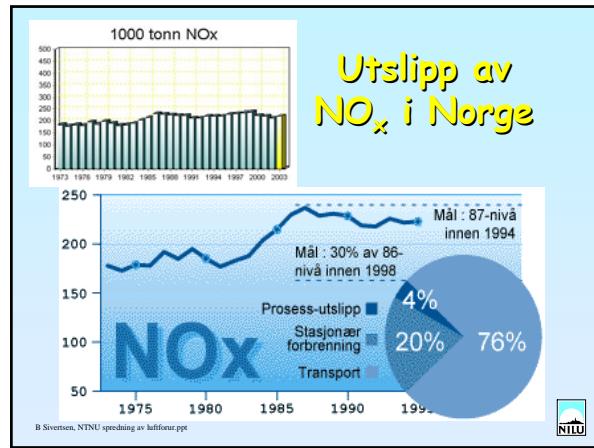
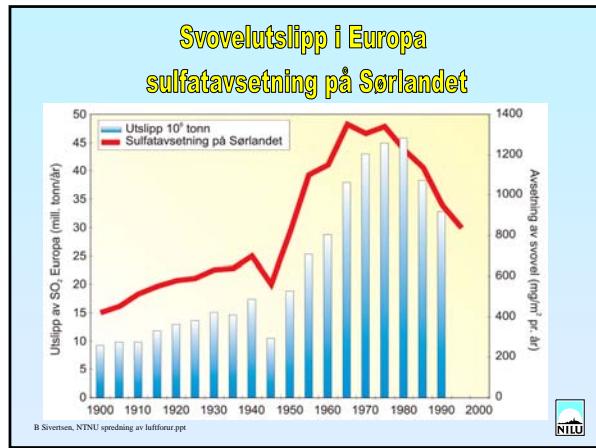
Typiske utslippsfaktorer for svoveldioksid og nitrogenoksoider ved forbrenning av fossilt brensel, (g/GJ).

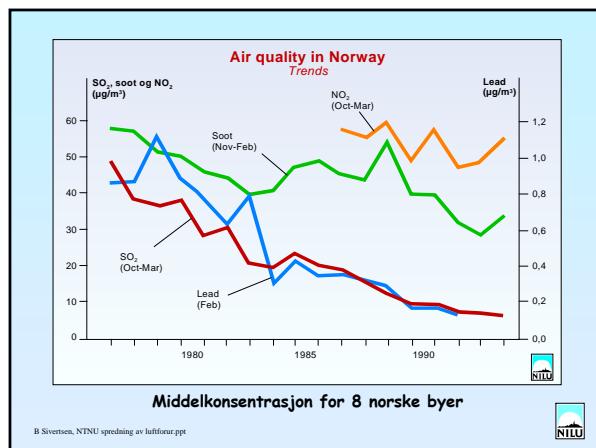
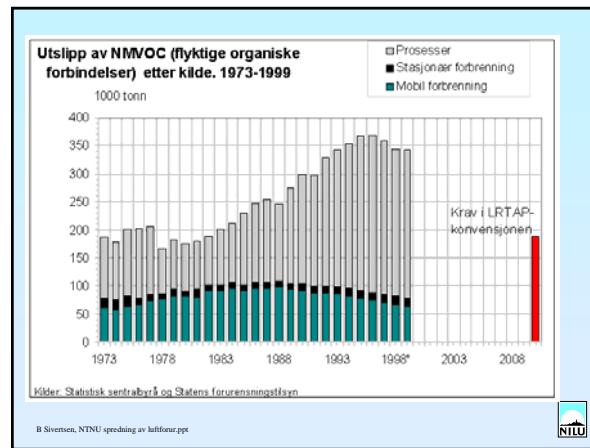
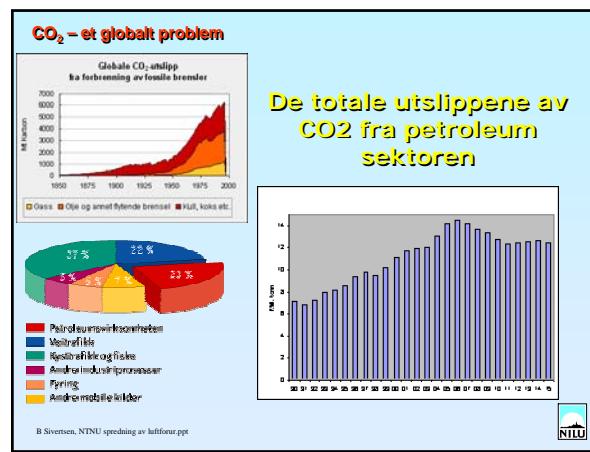
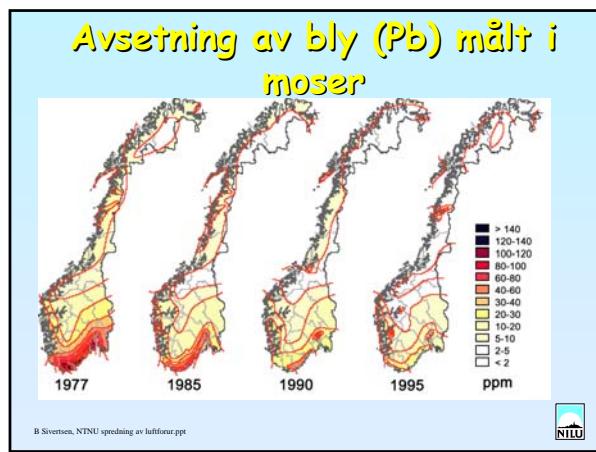
	SO ₂	NO _x (som NO ₂)
Varmekrafverk (over 300 MW):		
Kull	600-1000	300-480
Brunkull	600-5000	210-260
Tung fyringsolje*	1100	210-260
Naturgass	-	170
Husoppvarming, sentralfyrring i større enheter		
Kull	500-1000	50
Brunkull	500-1500	100
Lett fyringsolje*	140	50
Naturgass	-	50
Bensindrevne personbiler		500
Bensindrevne biler med katalysator		50
Dieseldrevne lastebiler og vogntog*	140	1200
Skip, bunkersolje*	1700	1700

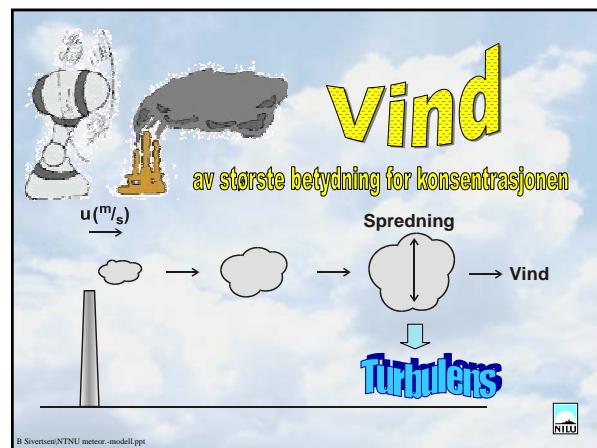
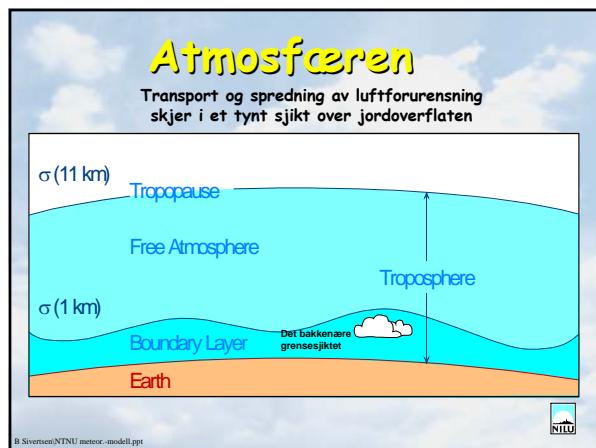
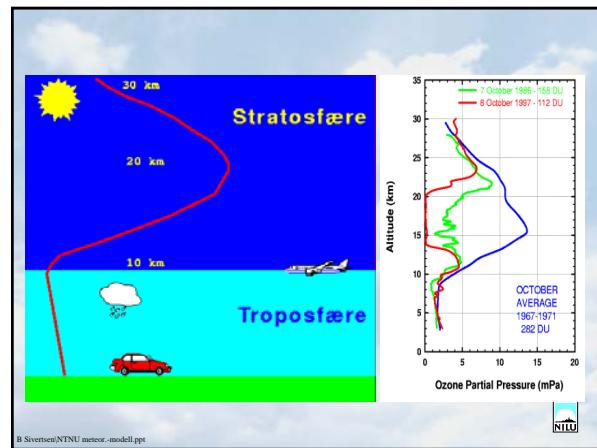
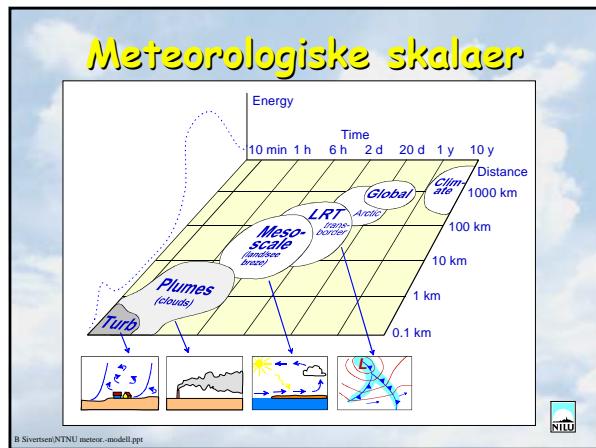
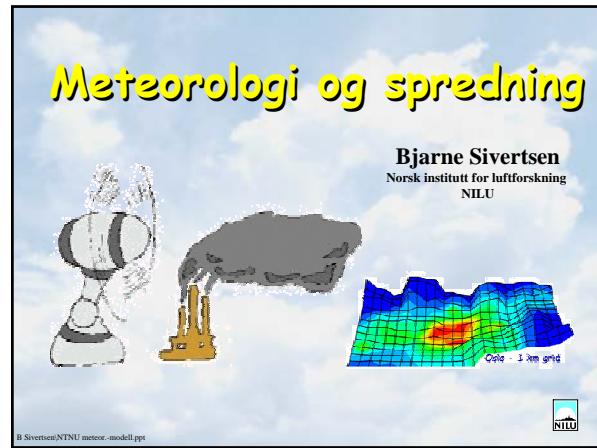
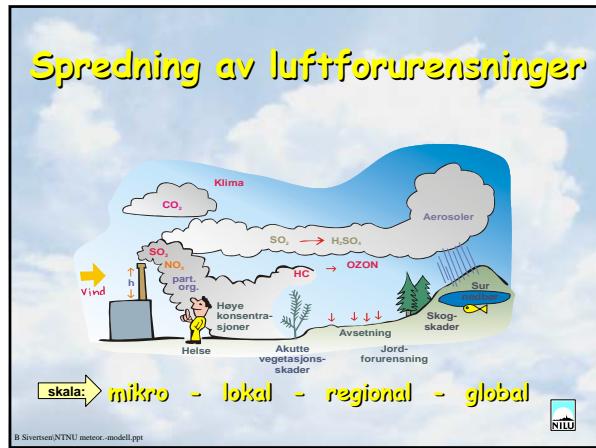
B Sivertsen, NTNU sprenging av luftforur.ppt

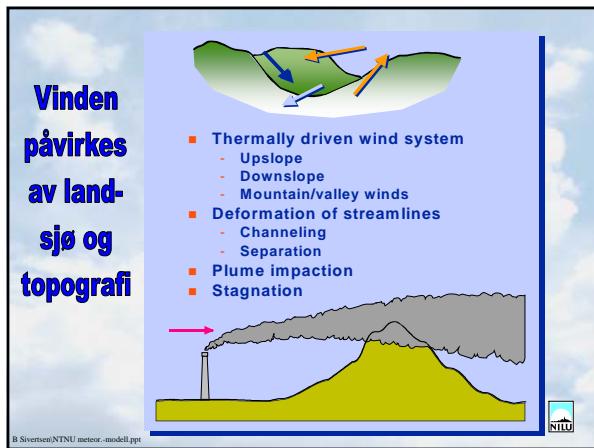
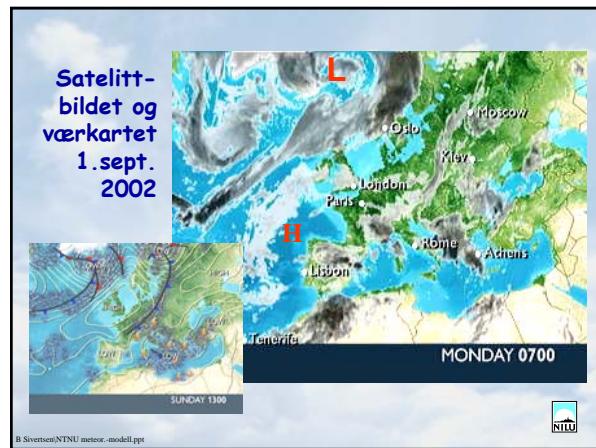
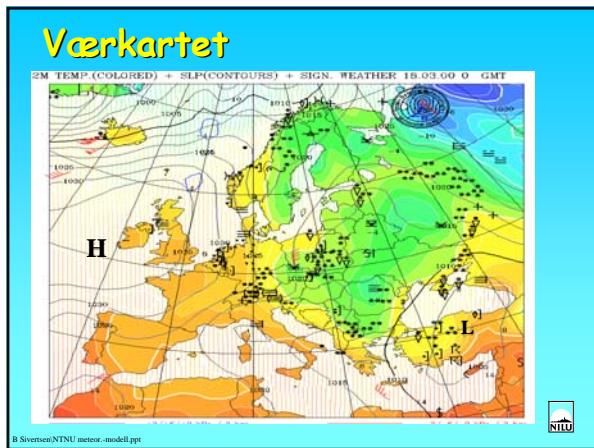
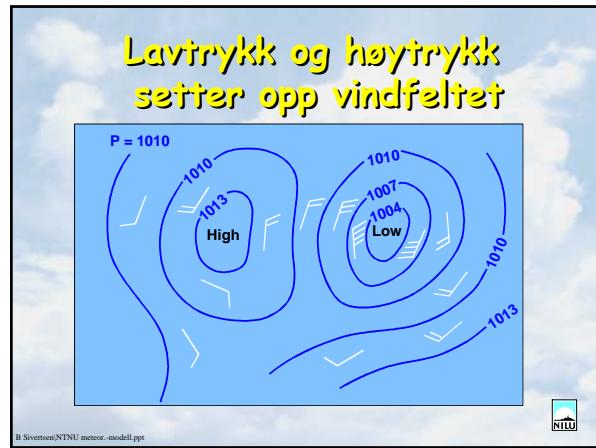
NIU

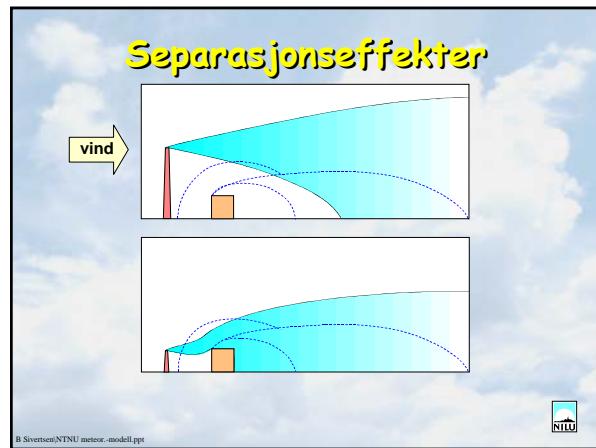
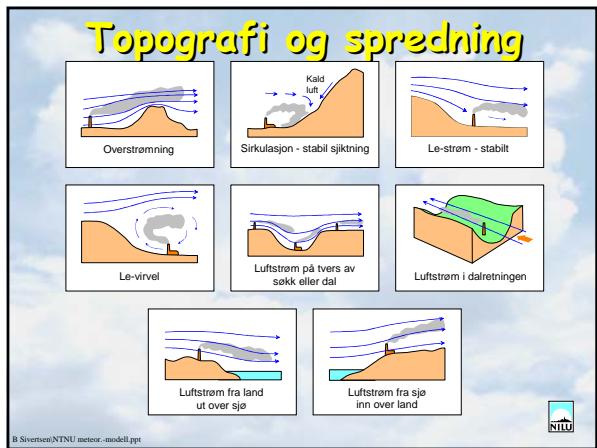
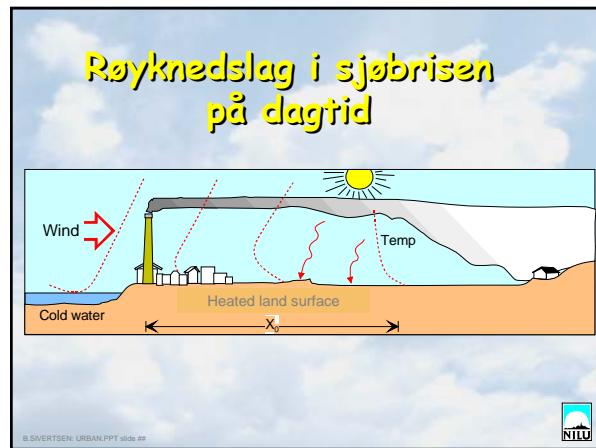
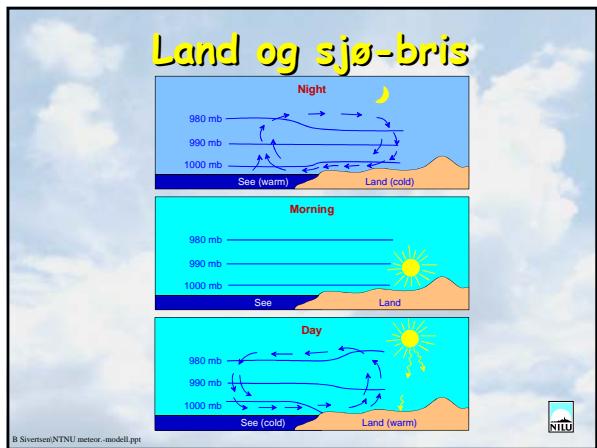
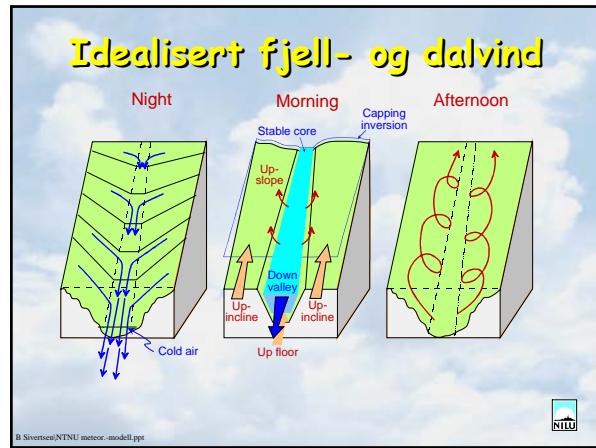
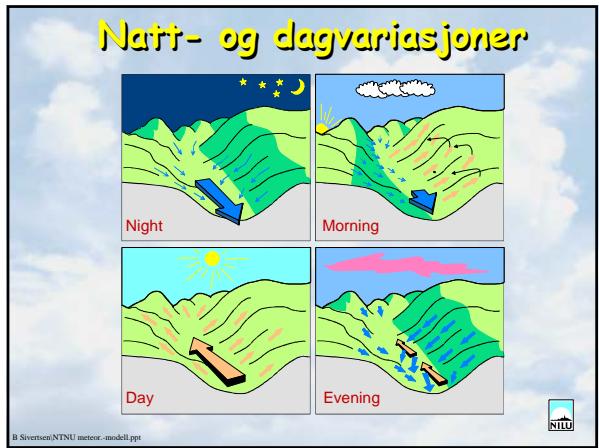


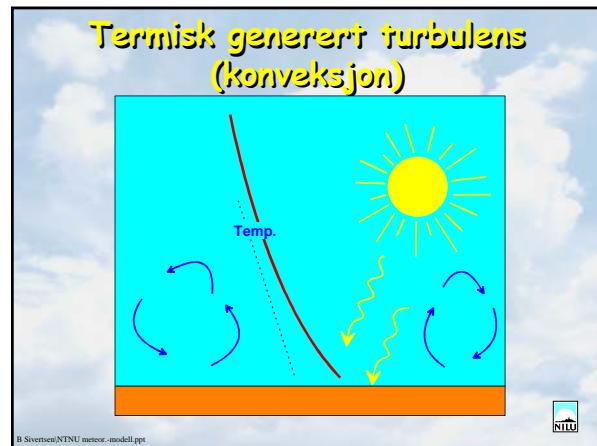
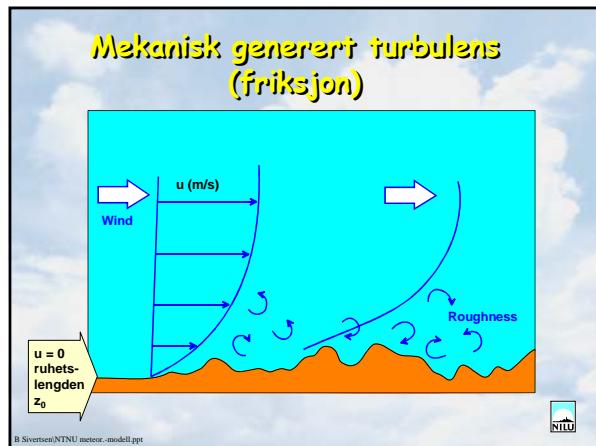
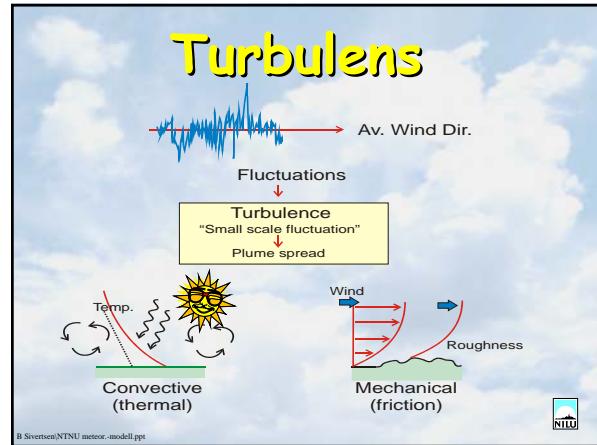
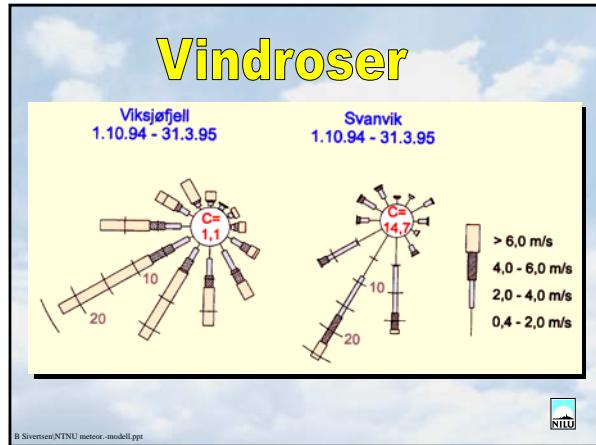
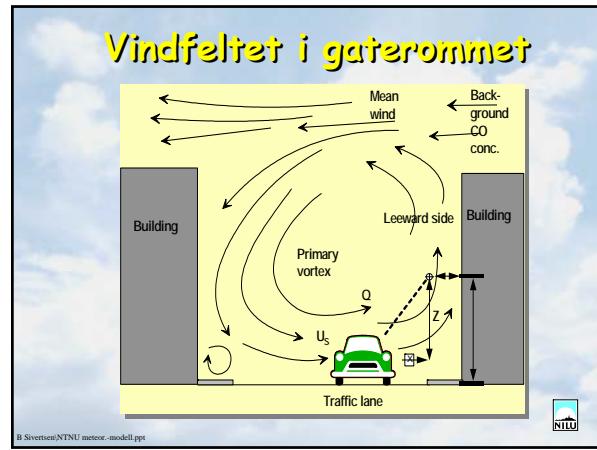
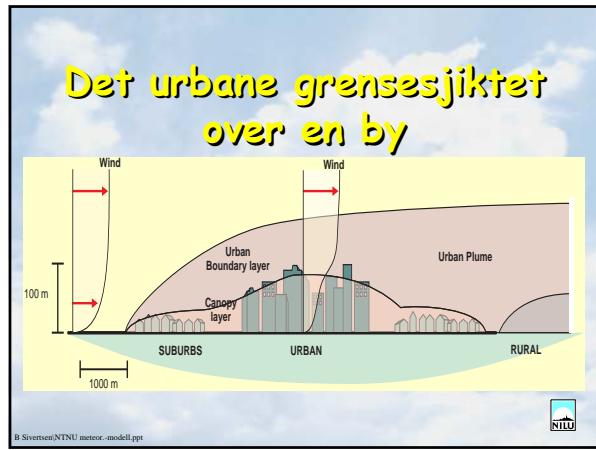


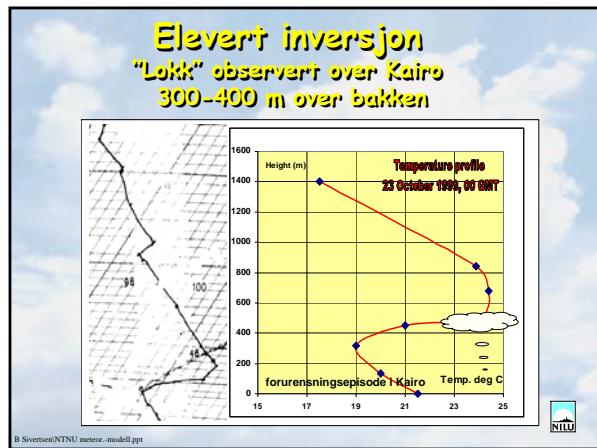
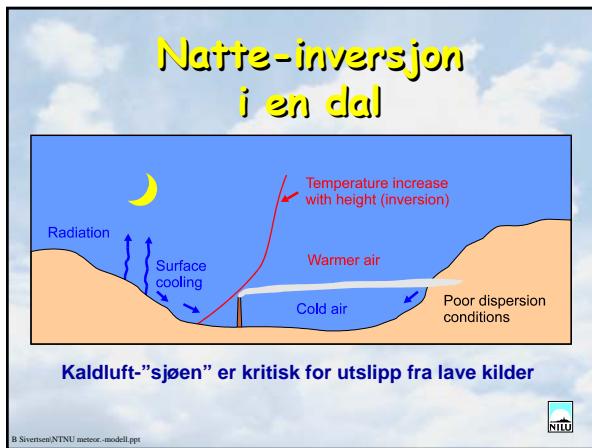
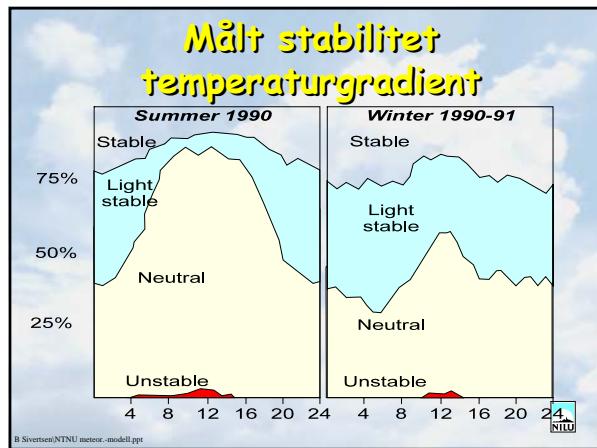
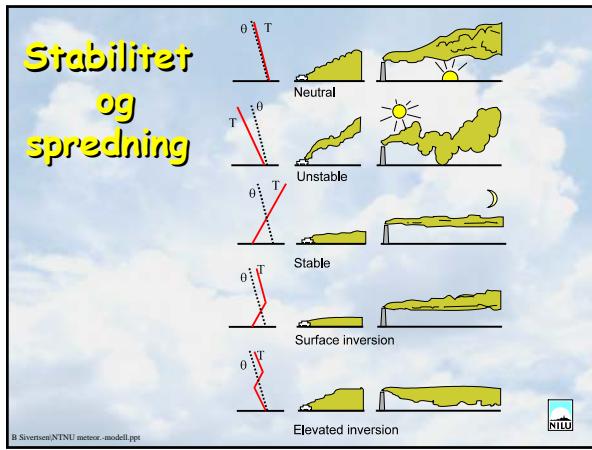
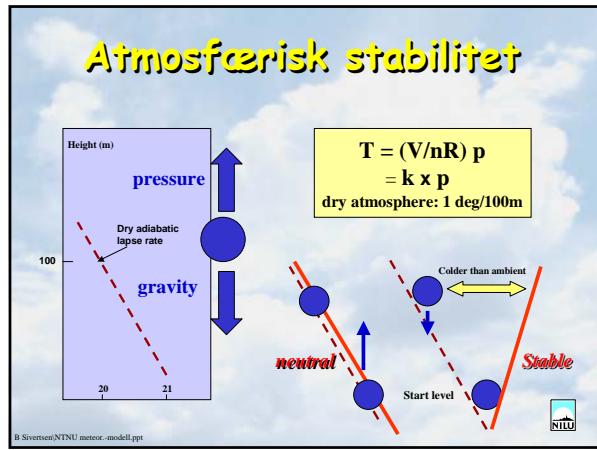


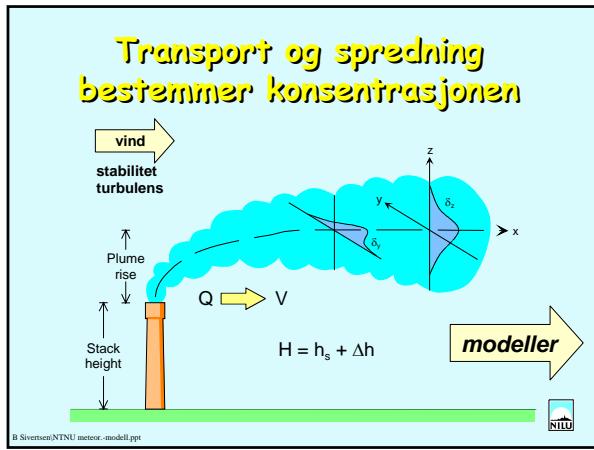








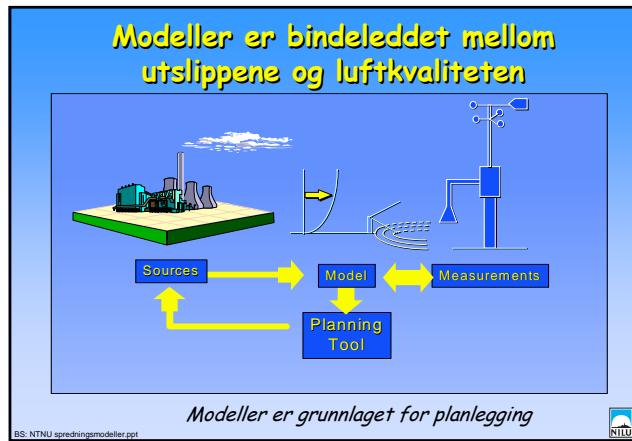




Spredningsmodeller

Bjarne Sivertsen
Norsk Institutt for luftforskning, NILU

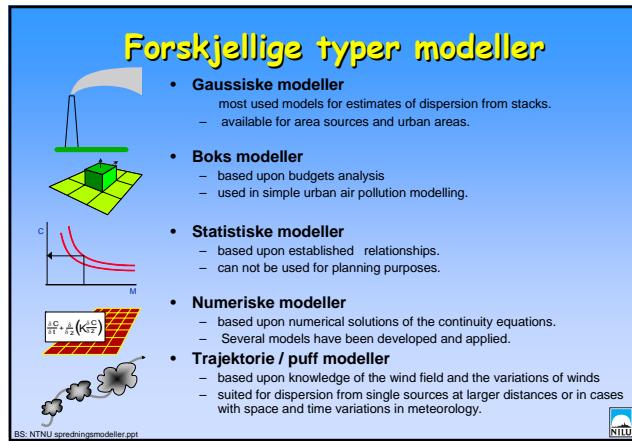
BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



Spredningsmodellene:

- Gir fordeling av konsentrasjoner i rommet
- Kvantifiserer kildenes relative betydning
- Estimerer effekten av tiltak
- Kan beregne eksponering
- Brukes til varsling av forurensning

BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



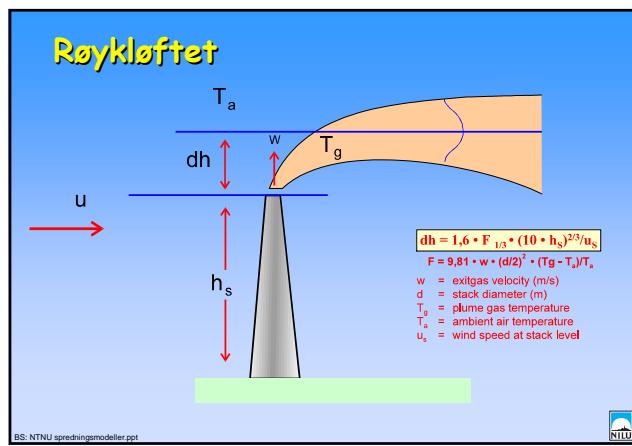
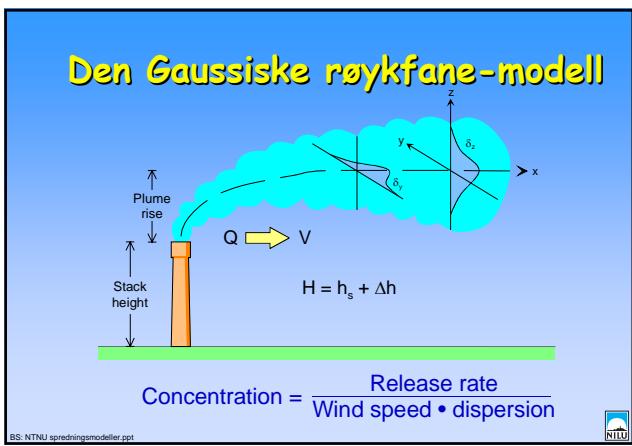
Forskjellige modeller

behandler parametrerne forskjellig

- kildenes egenskaper,
- transport,
- turbulens og diffusjon,
- røykløft,
- avsetningsmekanismer,
- kjemiske reaksjoner etc.

BS: NTNU spredningsmodeller.ppt

- ### Inngangsdata for modellene
- utslippsdata
 - områdets egenskaper
 - luftkvalitetsdata
 - meteorologiske data
 - spredningskoeffisienter
 - tørr- og våt-avsetning
 - beregningspunkter og beregningsgrid
- BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



En enkel Gaussisk modell

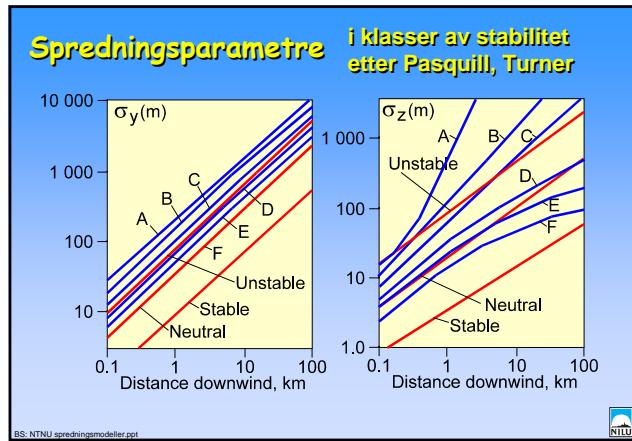
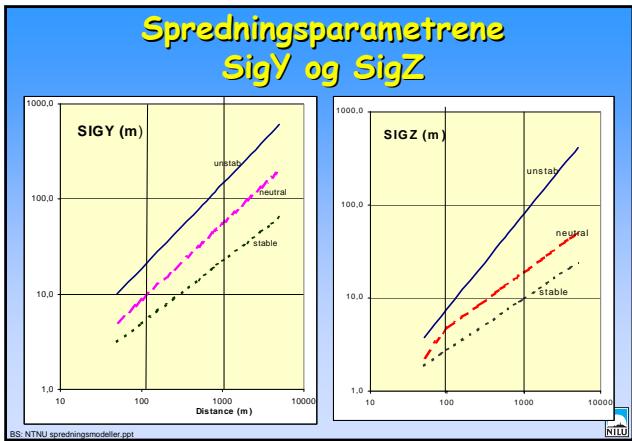
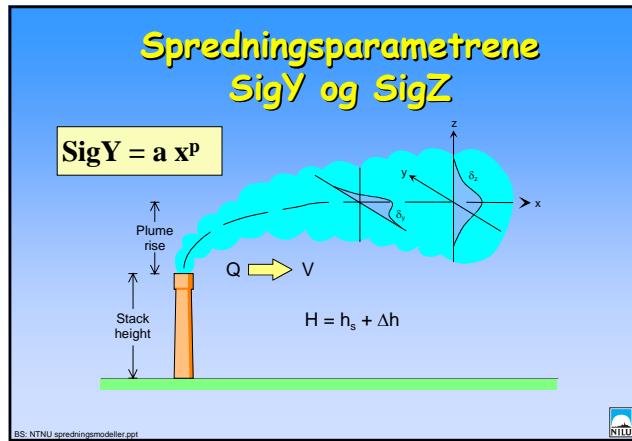
$$C = Q \left[\exp\left(-H^2 / 2\sigma_z^2\right) \cdot \left(-y^2 / 2\sigma_y^2\right) \right] / (\pi\sigma_y\sigma_z \cdot u)$$

where Q = release rate ($\mu\text{g/s}$)
 H = effective plume height
 σ_y, σ_z = dispersion parameters (m)

$\sigma_y = ax^p$ and $\sigma_z = bx^q$

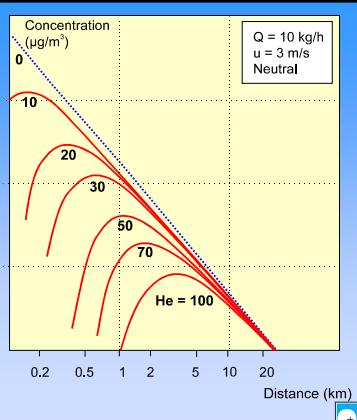
	Surface	Coeff	Unst.	Neutr.	St.	Stable
emission	a	0.31	0.22	0.24	0.27	
p	b	0.89	0.80	0.69	0.59	
Low stacks	b	0.07	0.10	0.22	0.26	
Smooth sur	q	1.02	0.80	0.61	0.50	

BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



Konsentrasjonen ved bakken langs vindretningen

ved forskjellige effektive høyder av røykfanen (H_e) og utslipps 10 kg/h



BS: NTNU spredningsmodeller.ppt

Utslipp fra Nikkelverkene

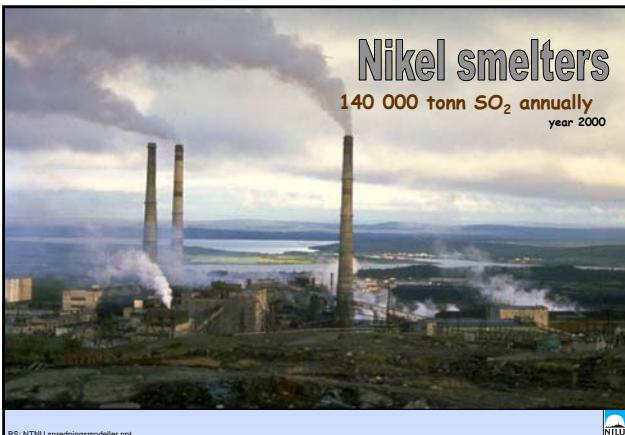
Totalt:
140 000 tonn SO₂

>80% fra 150 m høye piper

<20% diffus over tak

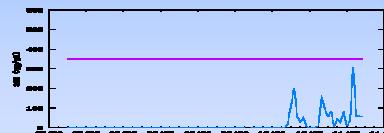


NIU



BS: NTNU spredningsmodeller.ppt

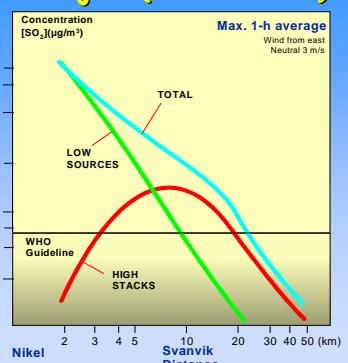
Measurements in the border areas



NIU

SO₂ konsentrasjon (timemiddel)

Konsentrasjon ved bakken som funksjon av avstand fra Nikkelverket på Kola.
Høye og lave utslipps!!



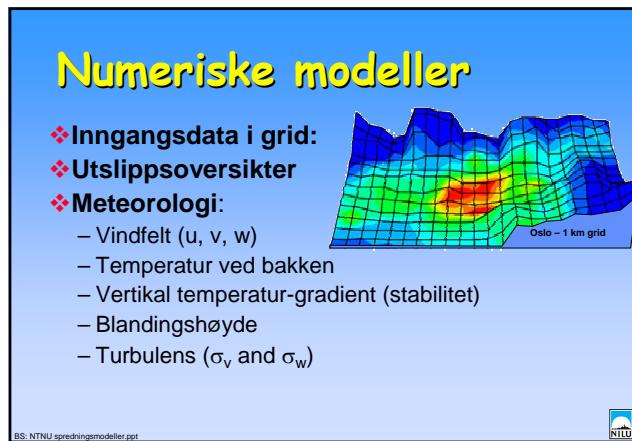
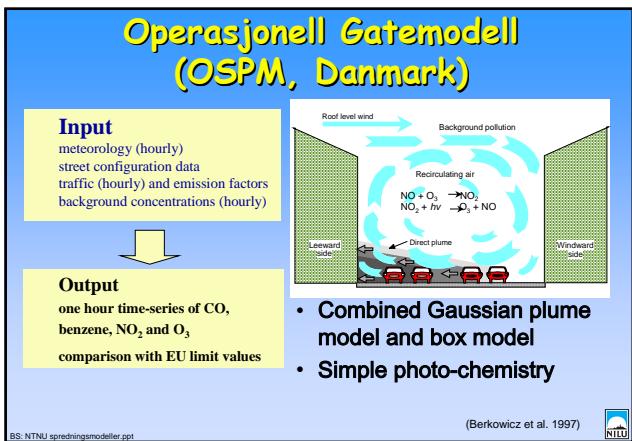
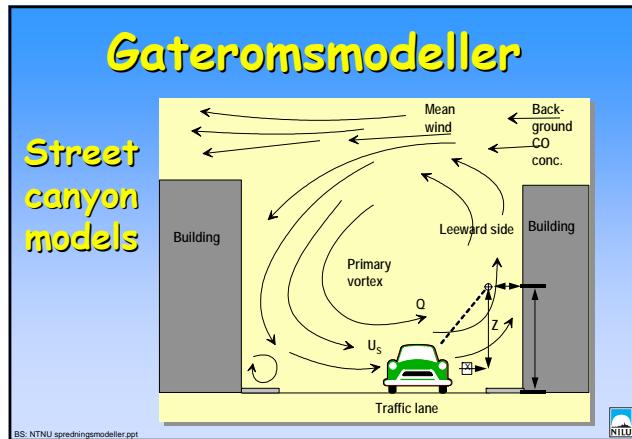
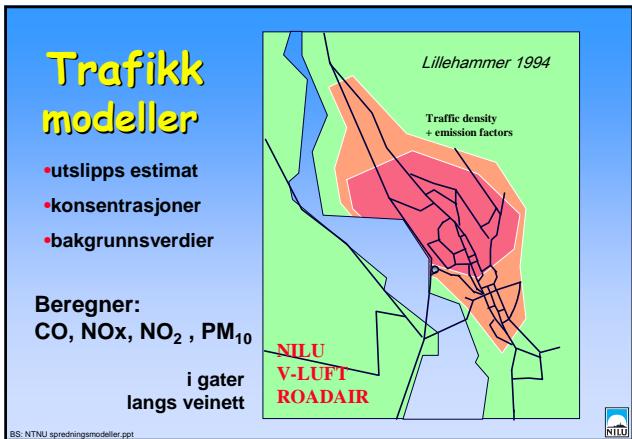
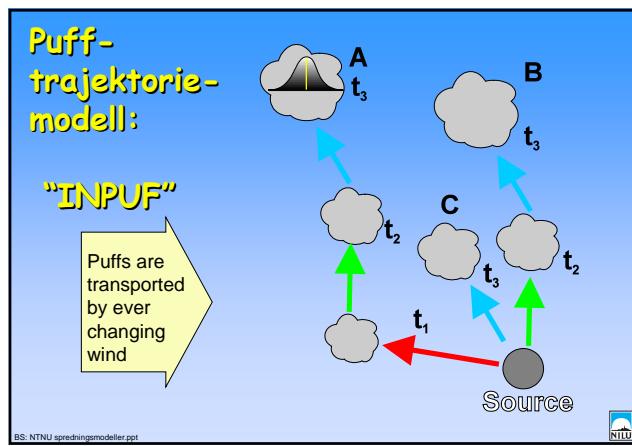
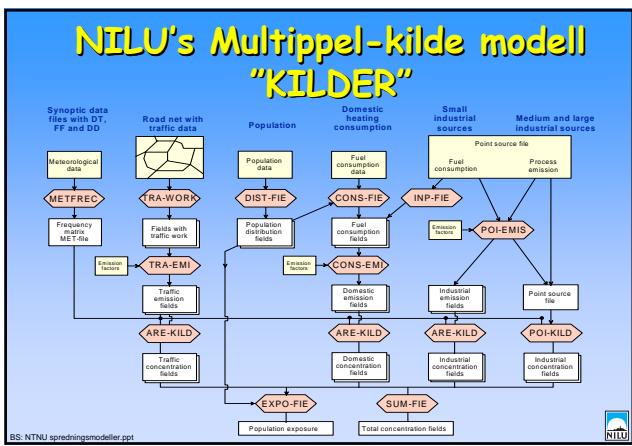
BS: NTNU spredningsmodeller.ppt

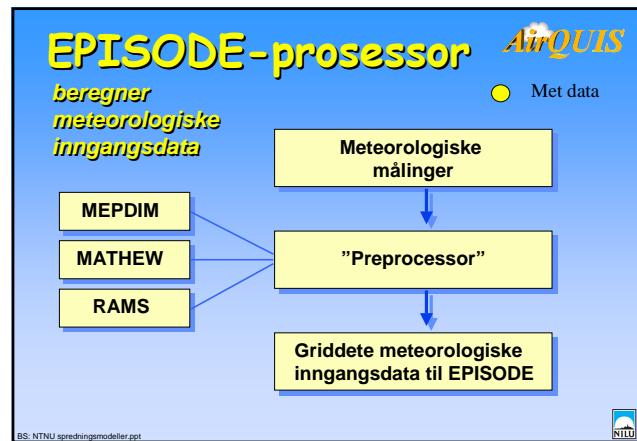
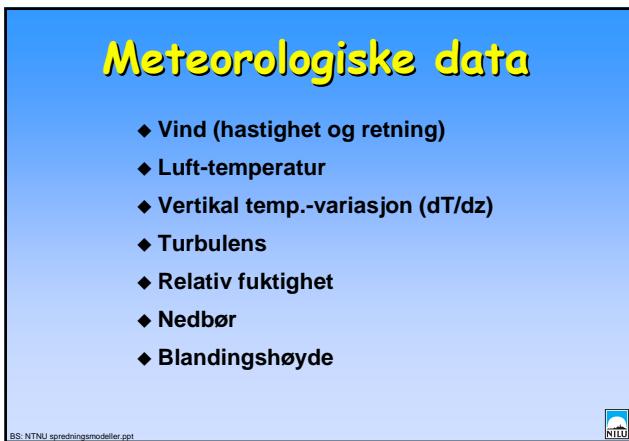
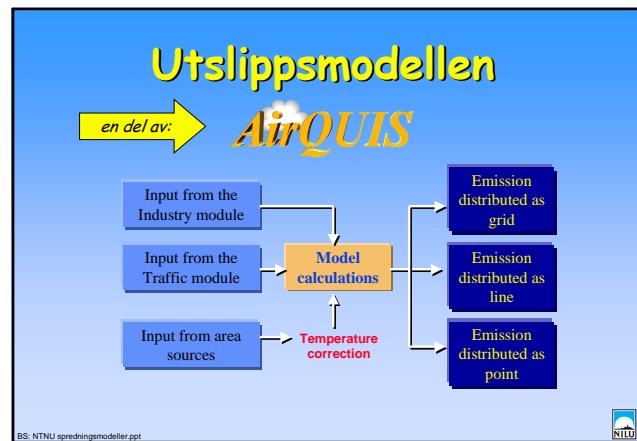
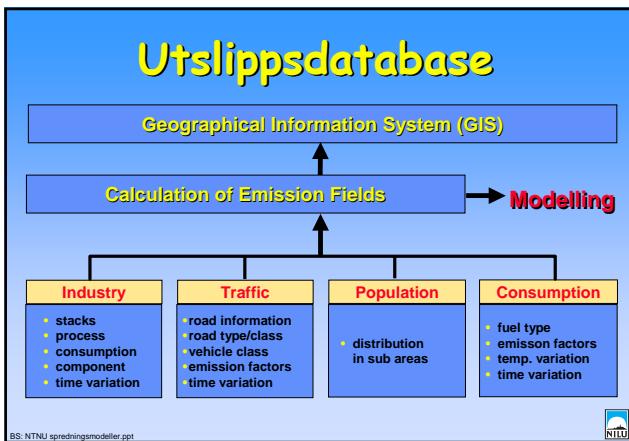
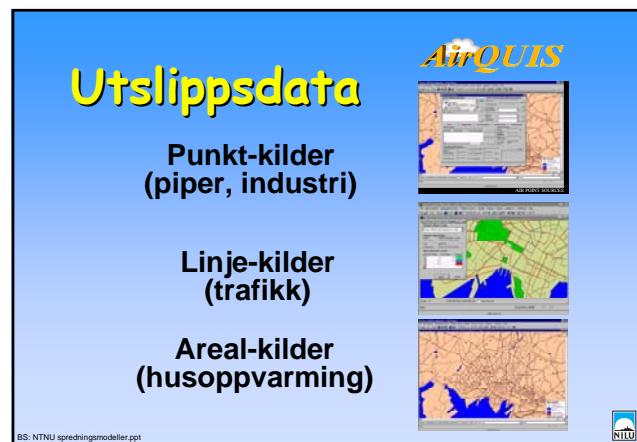
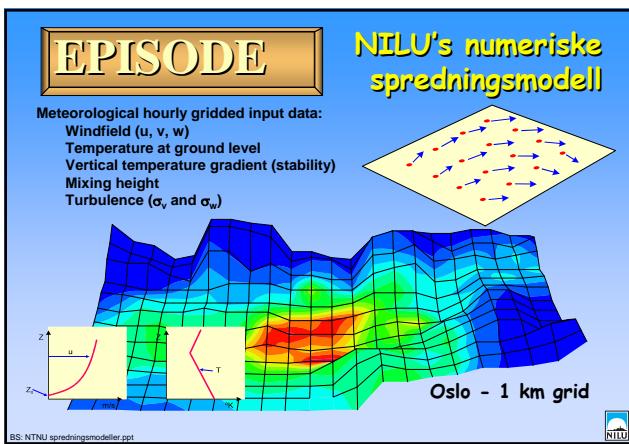
Multippel-kilde Gauss-modeller for byer

Inngangsdata;

- ♦ utslippsdata,
- ♦ området (underlag, topografi etc.),
- ♦ måledata, luftkvalitet,
- ♦ meteorologi (vind, stabilitet, blandingshøde, temp. etc.),
- ♦ spredningsparametre,
- ♦ tørr- og våtværssetning,
- ♦ beregningsgrid.

NIU





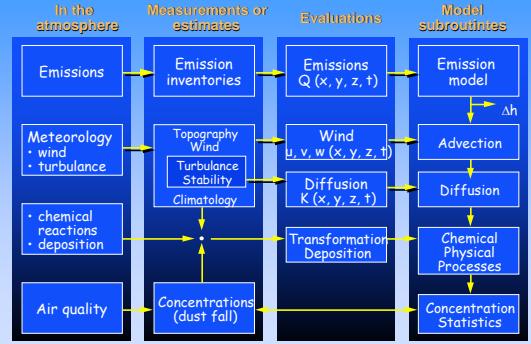
NILU modeller

- V-LUFT ➔ for trafikk (0.01 - 1 km)
- CONCX ➔ Gaussisk enkeltkilde (0.1 - 10 km)
- INPUFF ➔ puff-trajektorie-modell for enkeltkilder (1 - 100 km)
- EPISODE ➔ for komplekse byområder
puff + numerisk (1 - 50 km)

BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



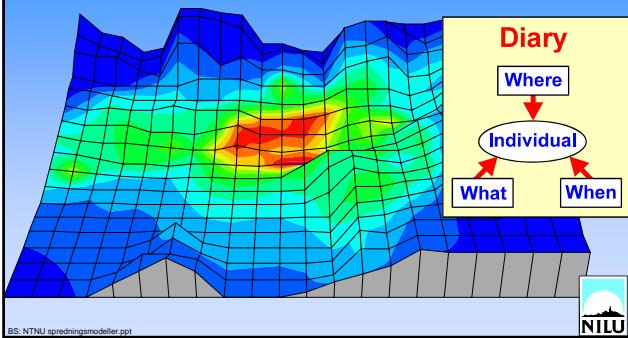
Den operasjonelle spredningsmodellen



BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



Modeller for beregning av eksponering



BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



Modell anvendelser



- Overvåking av luftkvalitet
- Miljøkonsekvensanalyser
- Kartlegging og vurdering
- Varsling av luftforurensning
- Tiltaksanalyser
- Informasjon om luftkvalitet

BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



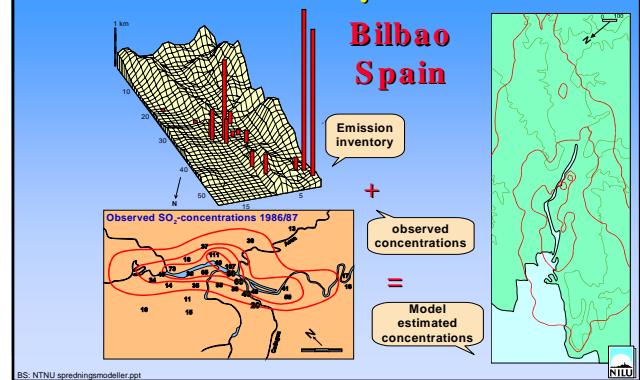
Modell-anvendelser

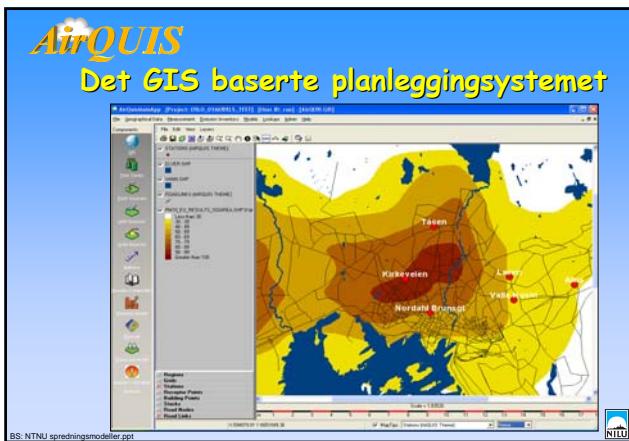
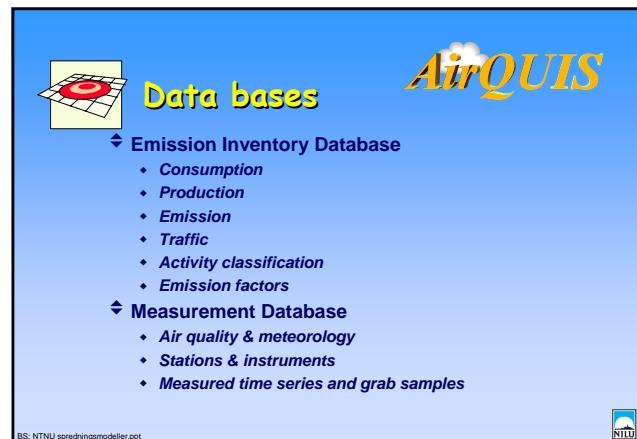
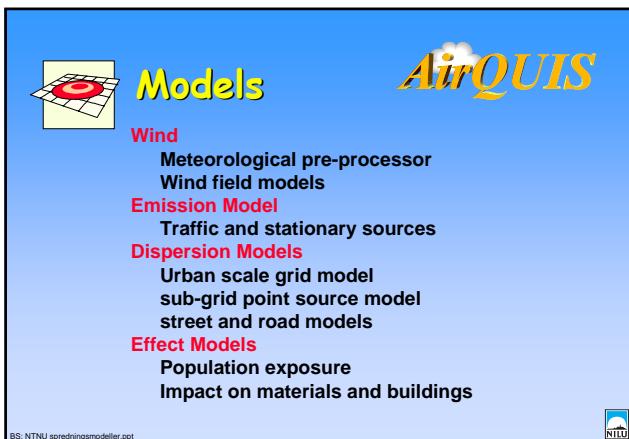
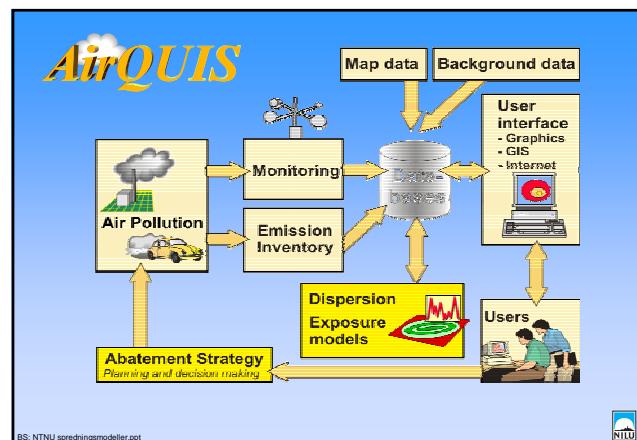
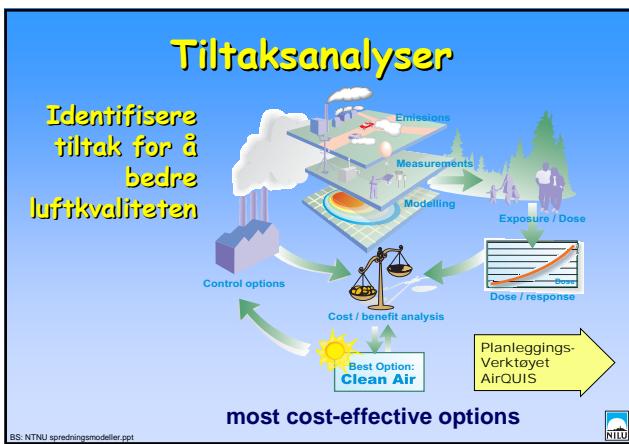
1. Lokalisering av store enkeltkilder
2. Skorsteinshøyde-bestemmelse (ved f eks utslipp av SO_2 , støv, HF osv.)
3. Dimensjonering av røykgass-rengesystemer
4. Havaritsslipp (radioaktive, toxiske eksplosive, tunge gasser)
5. Depoisjonsproblemer
6. Luktproblemer
7. Fotokjemiske oksidanter
8. Vurdering av ferne kilders påvirkning
9. Byplan-/areal-/samfunnsplassering (eks vurdering av alternative oppvarmingssystemer)
10. Trafikkplanlegging
11. Planlegging av målepammer
12. Analyse av måledata (luftkvalitetsdata), trendanalyse
13. Varsling av episoder med høyt forurensningsnivå

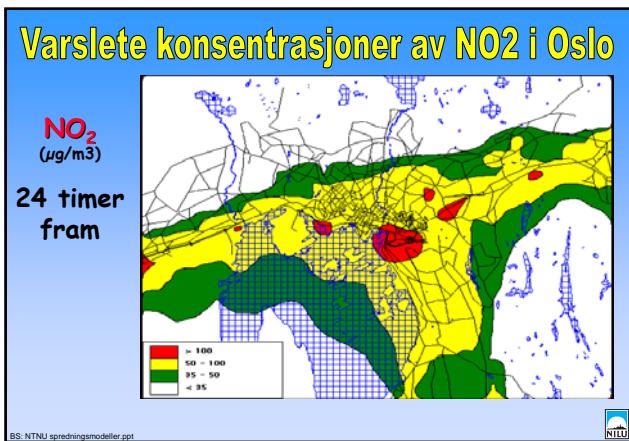
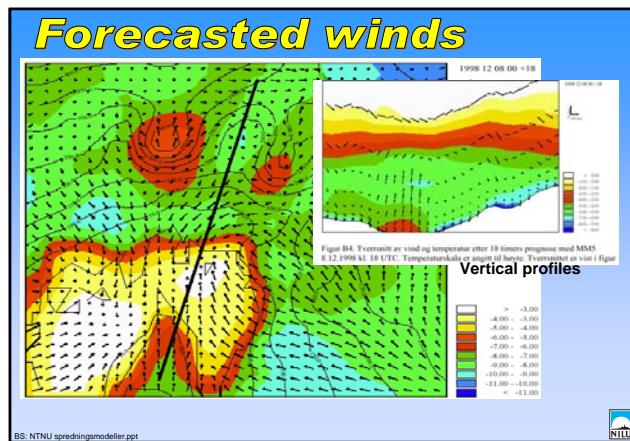
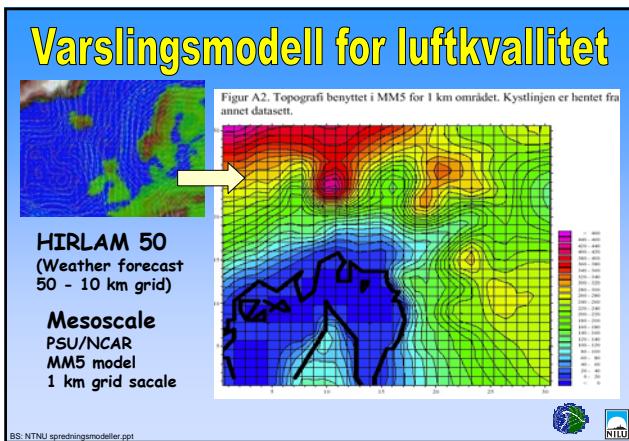
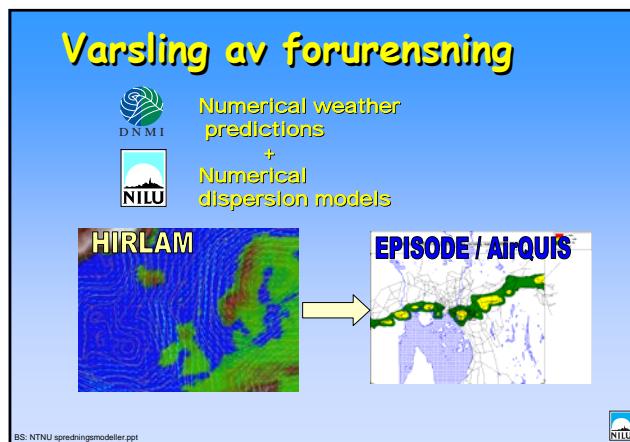
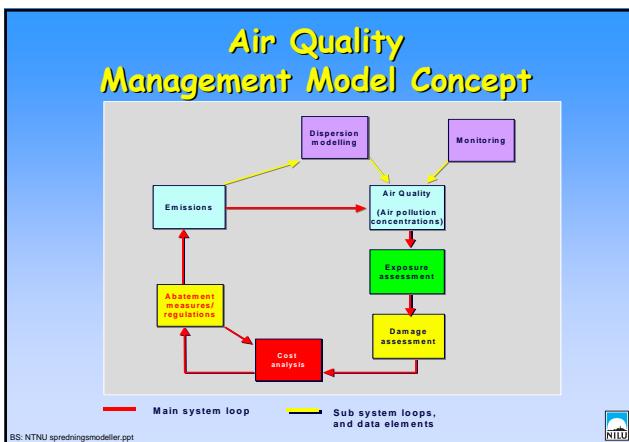
BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



Konsekvensanalyser









Norsk institutt
for luftforskning
www.nilu.no



NILU
POBox 100
No-2027 Kjeller
Norway
Fax: +47 63 898050
E-mail: nilu@nilu.no

BS: NTNU spredningsmodeller.ppt



Effekter av luftforurensninger

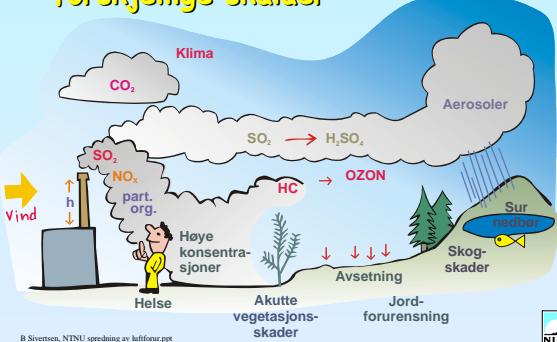


- Helse
- Trivel
- Jord og terrestrisk liv
- Vann og akvatisk liv
- Materialer
- Klima
- Ozonlag og UV-stråling

B Sivertsen, NTNU sprenging av luftforur.ppt



Forskjellige effekter på forskjellige skalaer



B Sivertsen, NTNU sprenging av luftforur.ppt



Sammenheng mellom stoffer og virkninger

Virknings-type	Svovel-forb.	Nitrogen-forb.	Halogen-forb.	Karbon-forb.	Metaller	Partikler	Oksidanter
Helse	SO ₂ H ₂ S Sulfat	NO ₂	Fluorid Org. Cl	CO ₂ CO Benzin Aldehyder Sot	Gr Cd Cd Hg Pb As	Svevestov Sværestov	O ₃
Trivel	Org.S H ₂ S	Org.N	Luktfab. Sot	Ben	V N Cu	Svørfall Sværestov	O ₃
Jord og terrestrisk liv	SO ₂ Sulfat	NO ₂ Ammonium Nitrat	Fluorid	Ben			
Vann og akvatisk liv	SO ₂ Sulfat	Ammonium Nitrat			Hg Al		
Materialer	SO ₂	NO ₂	HCl				O ₃
Klima		NO ₂ Org.O	Org.F Org.C Metan	CO ₂ Metan		Svevestov	O ₃

B Sivertsen, NTNU sprenging av luftforur.ppt

PNH : Polycycliske aromatiske hydrokarboner

Org.F: Organiske fluorforbindelser

Org.C: Organiske klorforbindelser

Effekter av halogenholdige stoffer

Stoff	Kilde	Effekt
HCL	Avfallsbrenning	Korrosjon, dis
F	Aluminium produksjon	Vegetasjons-skader
Dioksiner	Avfall og brenning	Næringskjeden
KFK	Kjølemedia	Ozonlaget
Haloner	Brannslokking	Ozonlag og klimagass



Virkninger av luftforurensninger på helse

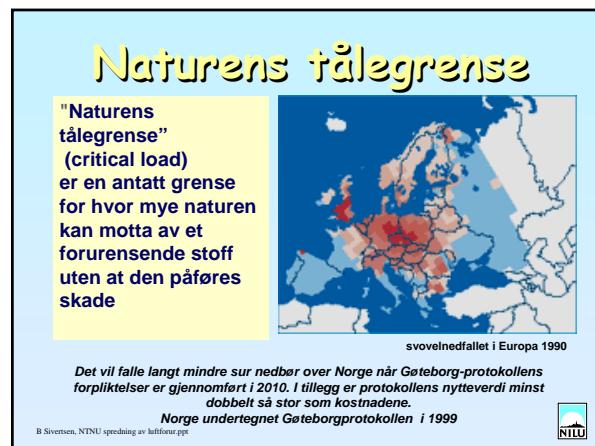
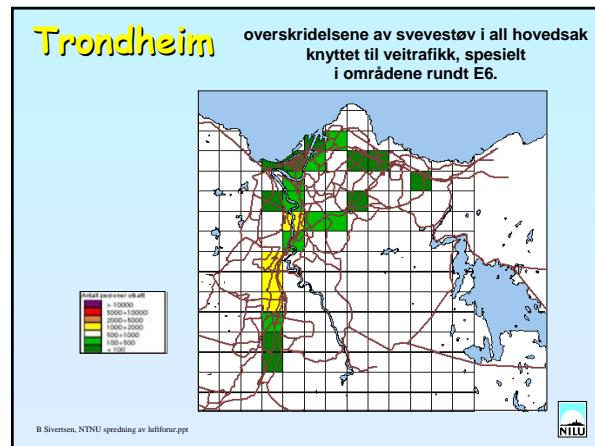
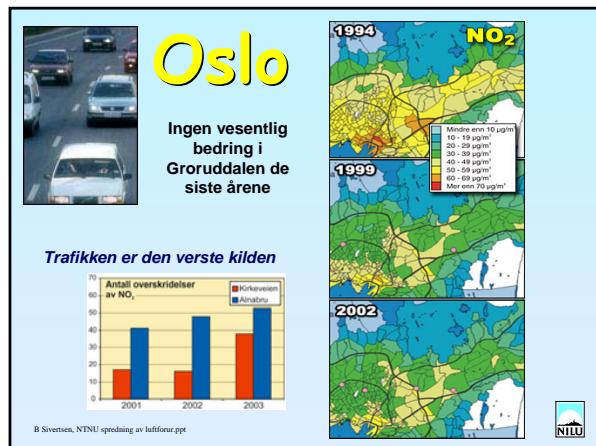
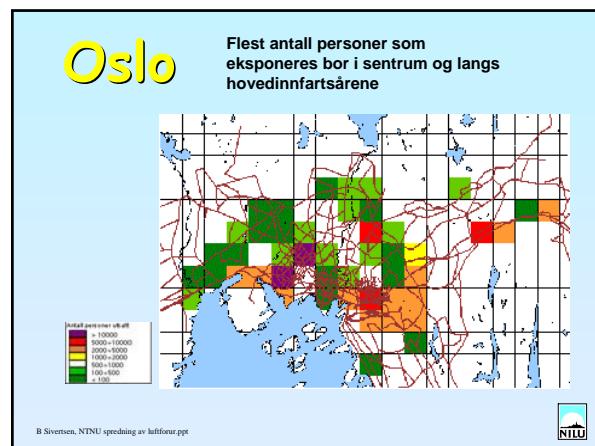
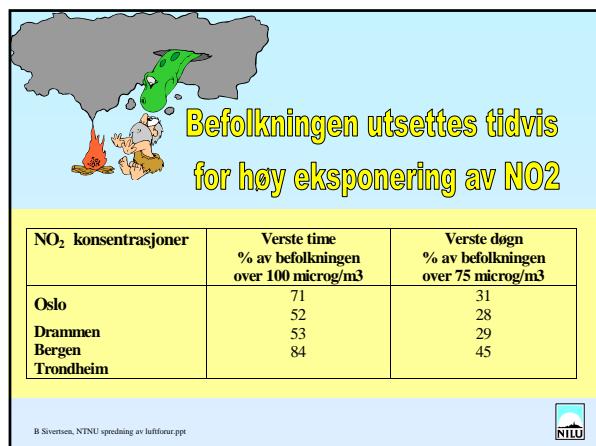
Nitrogendioksid (NO ₂)	Nedsatt lungefunksjon hos bronkitpasienter og astmatikere. Økt forekomst av respirasjonssykdommer, luftveisinfeksjoner og bronkit.
Svoveldioksid (SO ₂)	Økt luftveismotstand, særlig hos astmatikere.
Svevestov (PM _{2,5} og PM ₁₀)	Nedsatt lungefunksjon, økt frekvens av astma, forverret bronkit, kronisk lunge sykdom, økt sykelighet hos barn.
SO ₂ i kombinasjon med svevestov	Nedsatt lungefunksjon, økt sykelighet, økt dødelighet, økt frekvens av luftveis sykdommer.
Ozon (O ₃)	Redusert lungefunksjon, redusert fysisk aktivitet, astmaanfall, brystplager, hoste, irritasjon av slimmhinner.

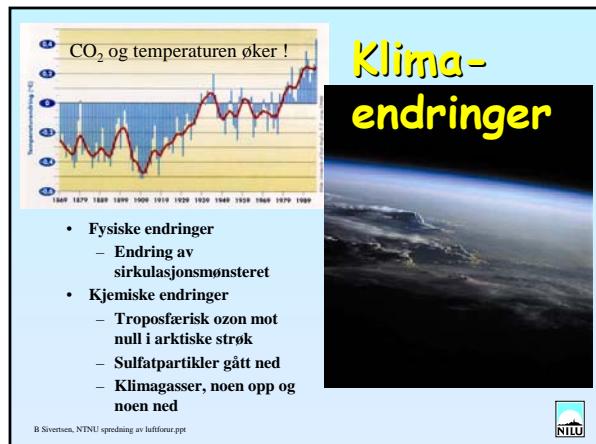
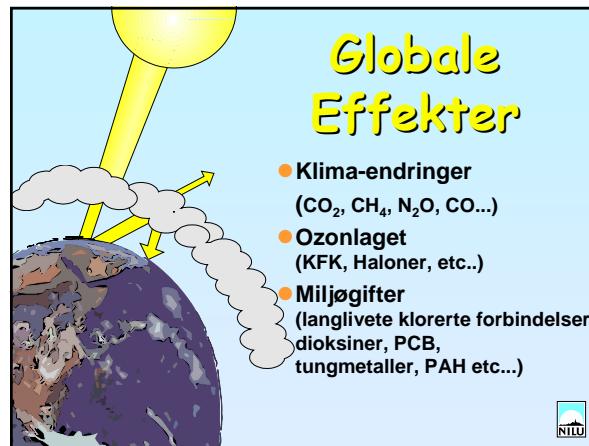
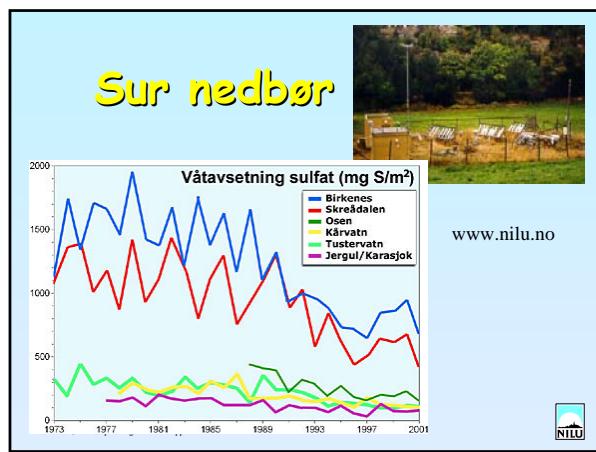
B Sivertsen, NTNU sprenging av luftforur.ppt

Helsevirkninger

Karbonmonoksid (CO)	Forbinder seg med hemoglobin i blodet til karboksyhemoglobin (COHb) og red. Oppnatt av oksygen \Rightarrow nedsatt konsekvensjonssevne. Fostre og personer med hjerte- og karhjeldeles utsatt.
PAH	Kreftfremkallende
Dioxiner	Kreftfremkallende
Tungmetaller	Kreftfremkallende
Benzen	Benzen har virkninger på det genetiske materialet selv ved relativt lave eksponeringsnivåer og kan forårsake ondartet sykdom (leukemi). Sjansen for dette er imidlertid svært liten.









Totale klima-endringer ?

Ozonlag-endring + CO₂ økning
Tilbakekoplingsmekanisme → NILU i EU-prosjekter

Reg Clim

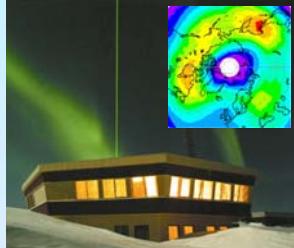
Effekter av klimaendringer:

- Villere vær – sjøsalt-påvirkning på skog
- Klimaefekter og skogen, overvåkingsdata
- Endringer i nitrogen retensjon
- Biokjemiske kretslosp - modeller

B Sivertsen, NTNU spredning av luftforurensning.ppt

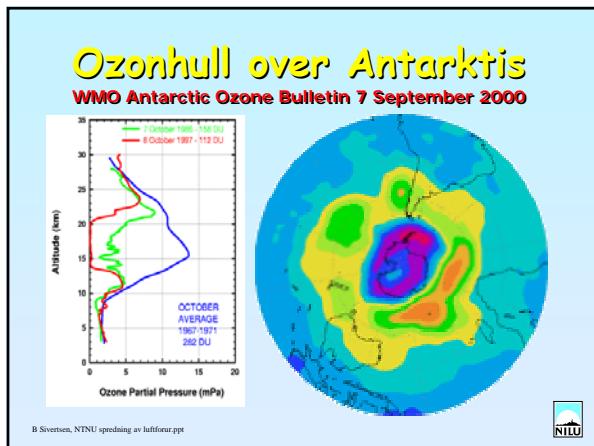
Ozonlaget blir tynnere

- Ozonhullet over Antarktis dokumentert
- Klar nedgang over Arktisk (30-40%)
- Sammenheng mellom isskyer og ozon-nedbryting
- Vulkanutbrudd bidrar negativt
- Modellene svarer ikke på alt



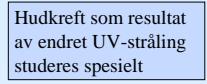
kontinuerlig overvåking i nord

B Sivertsen, NTNU spredning av luftforurensning.ppt



Hva blir virkningene av klimaendring og tynnere ozonlag?

- Eksempler på virkninger av klimaendringer
 - Skoggrensen stiger
 - Større "stress" på skogen
 - Skog kilde til CO₂
 - Forandring i treslag
 - Økt plantemangfold
 - Vanskeligere vintring for villrein
- Virkninger av tynnere ozonlag gir øket UV-stråling som igjen gir:
 - Forsterking av drivhuseffekten
 - Redusert primærproduksjon i vann
 - Mulig effekt på grønnsaker

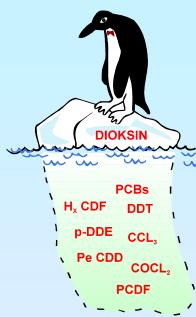


B Sivertsen, NTNU spredning av luftforurensning.ppt

Miljøgifter

Er dioksinene bare toppen av isfjellet?

- Flere stoffer syntetiseres
- Total produksjon øker i verden (Spesielt i U-land)
- Kunnskapene utilstrekkelige
- (ca 300 000 nye stoffer pr. år)



Langsiktige effekter - opphoping i næringskjeden !

B Sivertsen, NTNU spredning av luftforurensning.ppt



