

NILU  
OPPDRAGSRAPPORT NR 6/75  
REFERANSE: EO-2-09.70  
DATO: MARS 1975

SPREDNINGSMØNSTER VED LOKAL  
LUFTFORURENSNING I GRENLAND-REGIONEN

AV

BJARNE SIVERTSEN

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 115, 2007 KJELLER  
NORGE

<u>INNHOLDSFORTEGNELSE</u>		Side
	<u>SUMMARY</u> .....	5
1	<u>INNLEDNING</u> .....	7
2	<u>INDUSTRIOMRÅDER OG UTSLIPPSKILDER</u> .....	8
3	<u>DATAGRUNNLAG</u> .....	8
4	<u>VINDFORHOLDENE I GRENLAND-OMRÅDET</u> .....	10
4.1	<u>Vindretningsfordelingen på Lakollen</u>	12
4.2	<u>Vindretningsfordelingen ved Rafnes - Rønningen</u> .....	12
4.3	<u>Forholdet mellom vindretning på Lakollen og på lavereliggende stasjoner</u> .....	14
4.3.1	<u>Lakollen/Herøya</u> .....	14
4.3.2	<u>Lakollen/Asdal (Rønningen)</u> .....	16
4.3.3	<u>Lakollen/Rafnes</u> .....	17
4.4	<u>Røyktransportretninger for modellår ved Herøya</u> .....	18
4.5	<u>Vindfordelingens representativitet i de vurderte periodene</u> .....	19
4.6	<u>Vindstyrkefordeling</u> .....	21
5	<u>STABILITETSFORHOLD</u> .....	23
5.1	<u>Stabilitetsforholdene ved Herøya</u> ...	24
5.2	<u>Stabilitetsforholdene ved Rafnes</u> ...	25
5.3	<u>Horisontal vindvariasjon ("turbulens") ved Asdal</u> .....	28
6	<u>BEREGNET SPREDNINGSMØNSTER (MIDDELBELASTNING)</u>	30
6.1	<u>Beregningsgrunnlag</u> .....	30
6.2	<u>Diskusjon av resultater</u> .....	31
6.2.1	<u>Rønningen, 1971-72, 50 m pipe (figur 18)</u>	31
6.2.2	<u>Rønningen, turbulensdata, 50 m pipe (figur 19)</u> .....	32
6.2.3	<u>Rønningen, sommer 1974, 50 m pipe (figur 20)</u> .....	32

INNHALDSFORTEGNELSE (forts.)

	Side
6.2.4 <u>Rafnes, sommer 1974, 50 m pipe</u> <u>(figur 21)</u> .....	32
6.2.5 <u>Rafnes/Rønningen, sommer 1974, pipe-</u> <u>utslipp (figur 22)</u> .....	34
6.2.6 <u>Rafnes/Rønningen, sommer 1974, areal-</u> <u>kilder (figur 23)</u> .....	34
6.2.7 <u>Herøya, modellår (1971/72), NO<sub>2</sub>-utslipp</u> <u>(figur 24)</u> .....	34
7 <u>OPPSUMMERING OG KOMMENTARER</u> .....	42
8 <u>REFERANSER</u> .....	43
BILAG 1: MODELL FOR BEREGNING AV MIDDELKONSEN- TRASJONSFORDELING FRA ENKELTKILDE	45
BILAG 2: SPREDNINGSFORHOLDENE VED INUSTRI- OMRÅDENE (VIND/STABILITETSFORDELINGER)	51

### SUMMARY

The dispersion conditions at a planned industrial site, Rafnes - Rønningen, and at an existing industrial complex, Herøya, in Telemark, are studied based upon meteorological data from several stations in the area.

Local wind patterns are related to wind at a reference station (Lakollen, 235 m.a.s.l.). The wind frequency distributions for shorter periods are related to a "normal" wind distribution. A relationship between observed smoke dispersion and -transport from Herøya and observed wind and lapse rate (stability) in the atmosphere around Herøya is established, to evaluate the typical wind/stability - frequency distribution for a "model-year".

Dispersion models (multiple-source-, area-source- and single-stack-types) based on Gaussian distributed concentration profiles are applied to calculate seasonal and annual average ground-level concentration distributions ("dispersion patterns"). These dispersion patterns are presented on topographical maps for different emission conditions, and represent a basis for area planning through their visualization of the areas which might be exposed for air pollution in the future.

SPREDNINGSMØNSTER VED LOKAL  
LUFTFORURENSNING I GRENLAND-REGIONEN

1 INNLEDNING

Denne rapporten er et resultat av et oppdrag som ble gitt NILU 4.06.70. Oppdraget gikk ut på å skissere spredningsmønsteret ved de "vanligste meteorologiske forhold" for 8 alternative luftforurensningskilder i Grenlandregionen. Kildene representerte eksisterende og potensielle industriområder. Samtidig ble NILU bedt om å koordinere flere prosjekter som omhandlet luftforurensningssituasjonen i Grenland, hvor blant annet forundersøkelser i forbindelse med lokalisering av kjernekraftverk var inkludert.

De meteorologiske målingene som startet i desember 1970 er samlet i et teknisk notat (1) som var laget som bilagsrapport til denne rapporten. Dessuten foreligger som resultat av de nevnte koordinerte undersøkelsene to oppdragsrapporter i forbindelse med kjernekraftverkløkalisering (2) (3).

Høsten 1973 ble NILU bedt om å vurdere risikoen for dannelse av fotokjemisk smog i forbindelse med behandlingen av konsesjonssøknader for petrokjemisk industri på Rafnes. To rapporter, som delvis har anvendt datamaterialet fra årene 1970 - 1972, ble utarbeidet i 1974 (4) (5). Denne saken resulterte også i at det ble satt i gang vindmålinger på Rafnes våren 1974, i forbindelse med studier av land/sjøbrissituasjoner i Nedre Telemark. Data fra disse vindmålingene er også anvendt i denne rapporten.

Hensikten med utredningen er å gi praktiske retningslinjer for arealplanleggere i forbindelse med forurensningsfordelingen fra planlagt industri. En har konsentrert oppmerksomheten om Rafnes - Rønningen-området på vestsiden av Frierfjorden.

## 2 INDUSTRIOMRÅDER OG UTSLIPPSKILDER

Industriområdet på vestsiden av Frierfjorden strekker seg fra Rafnes gård i nordvest til Rønningen/Asdal i sørøst (se figur 1). Vest for området ligger skogkledde åser i en høyde av ca 200 m.o.h. Øst for den 1 - 4 km brede Frierfjorden går Eidangerhalvøya ganske bratt opp i en høyde av ca 100 m.o.h. Det mer storstilte dalføret er nordvest-sørøstrettet langs akse Nordsjø-Frierfjorden-Langesundfjorden. Avstanden mellom det eksisterende industriområdet på Herøya og Rafnes-området er 3 - 4 km.

En har i kapitel 7 presentert beregnede konsentrasjonsfordelinger som resultat av gassformige utslipp fra:

- a) - 50 meter høy pipe ved Rønningen.
- b) - 50 meter høy pipe ved Rafnes.
- c) - lave utslipp i arealet Rafnes - Rønningen.
- d) - det eksisterende industriområdet på Herøya.

## 3 DATAGRUNNLAG

Spredningsforholdene som danner grunnlaget for beregninger av forurensningsfordelingen rundt Frierfjorden, er basert på data fra seks stasjoner i området. En oversikt over det datamaterialet som er anvendt i denne rapporten er gitt i tabell 1. For en mer detaljert oversikt over de meteorologiske data som foreligger fra Grenland vises det til rapporter som også inneholder en bearbeidelse av disse data (1) (6).

Datatype	Stasjonsnavn	Stasjons høyde (m.o.h.)	Observasjonshøyde (m.o.bakken)	Instrument	Dataperiode
Vind	Lakollen	235	10	Woelfle-skriver	1.09.69 - 31.08.74
	Asdal	10	10	"	17.12.70 - 29.02.72 og 25.06.74 - 31.08.74
	Rafnes	15	10	"	1.05.74 - 31.08.74
	Herøya	10	30	"	1.09.69 - 31.08.74
Temperatur	Lakollen	235	2	Fuess Termohygrograf	1.03.71 - 31.08.74
	Torsberg	140	2	" "	1.03.71 - 31.08.74
	Knar (dalstr.)	5	2	" "	1.03.71 - 29.02.72 og 1.06.74 - 31.08.74
	Asdal	5	2	" "	1.03.71 - 29.02.72
	Brevikbroen	5	2	Automat.værst. (AWS)	1.06.74 - 31.08.74
			65	" "	

Tabell 1: Oversikt over data anvendt i denne utredningen. Stasjonenes plassering er vist på kartskissen i figur 1.

#### 4 VINDFORHOLDENE I GRENLAND-OMRÅDET

Hensikten med vindmålinger på flere punkter i Grenland-regionen fra vinteren 1970/71, var blant annet å kartlegge den topografiske betingete vindretningsvariasjonen fra én lokalitet til en annen. Figur 2 illustrerer til en viss grad det generelle trekk ved "vindbildet" i området.

De hyppige nordvestlige vindene på Lakollen om vinteren, gir vind fra nord og nordøst i området rundt Herøya (Knar). Ved Asdal på vestsiden av Frierfjorden er disse vintervindene oftest nordvestlige og vestlige. Ute ved Åbyfjorden blåser det fra nord i disse situasjonene. Vi skal også se at disse tilfellene resulterer i vind fra vestlig og vest-nordvestlig kant ved Rafnes gård. Alle stasjonene er influert av lokal kanalisering.

Om sommeren er det oftere sørlige og sørøstlige vinder i området, men frekvensen av vind fra omkring nord er fremdeles ca 40% (ved midnatt om sommeren er det vind fra nord i ca 70% av tiden).

#### 4.1 Vindretningsfordelingen på Lakollen

Norsk Hydro's stasjon på Lakollen er anvendt som hovedstasjon og referansestasjon for vindmålingene i området. Dette er i første rekke et resultat av at Lakollen har en lang og uavbrutt tidsserie med vindmålinger tilbake til 1966.

Vindretningsfordelingen for en 5-års periode 1969 - 1974, er vist i figur 3. En ser at den hyppigste vindretningen på Lakollen er vest-nordvest. Vind fra øst-sørøst er den nest hyppigste retningen.

En har i figur 4 også presentert vindfordelingen på Lakollen for periodene 1.03.71 - 29.02.72 og 1.06.74 - 31.08.74, som er anvendt i de senere beregningene i denne rapporten<sup>1)</sup>.

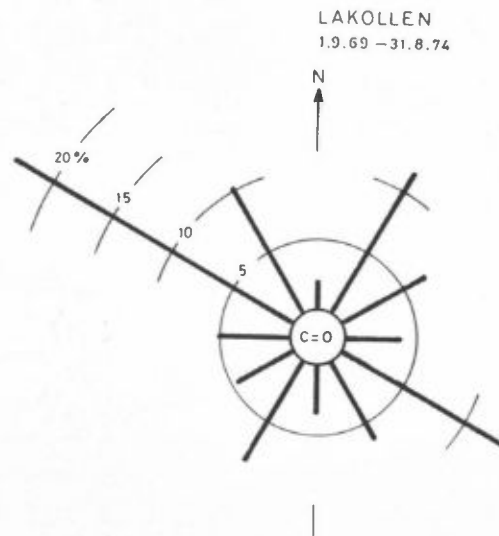
#### 4.2 Vindretningsfordelingen ved Rafnes - Rønningen

Vindretningsfordelingene som danner grunnlaget for beregninger av forurensningsbelastningen fra industriområdet Rafnes - Rønningen i kapittel 6 er presentert i figur 5.

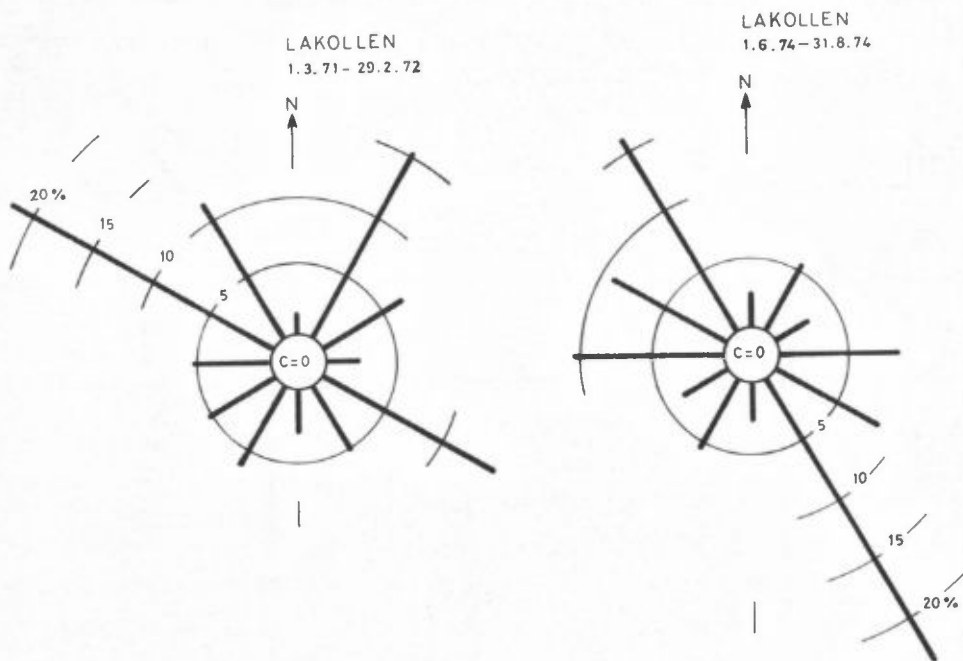
---

<sup>1)</sup> Det er verdt å merke seg endringen av hyppigste retning sommeren 1974 i forhold til de andre periodene. Dette skyldes til en viss grad avlesningsrutinene ved Norsk Hydro, som har hatt ansvaret for avlesningene av vindregistreringene på Lakollen. Inntil 1.06.74 ble vindretningen avlest i 16 sektorer hver på 22.5°. Ved overføring av Norsk Hydro's data til vanlige fordelinger i 30°-sektorer, oppstod det en noe uheldig retningsfordeling. Fra 1.06.74 avleses vindretningen i 36 sektorer hver på 10°.

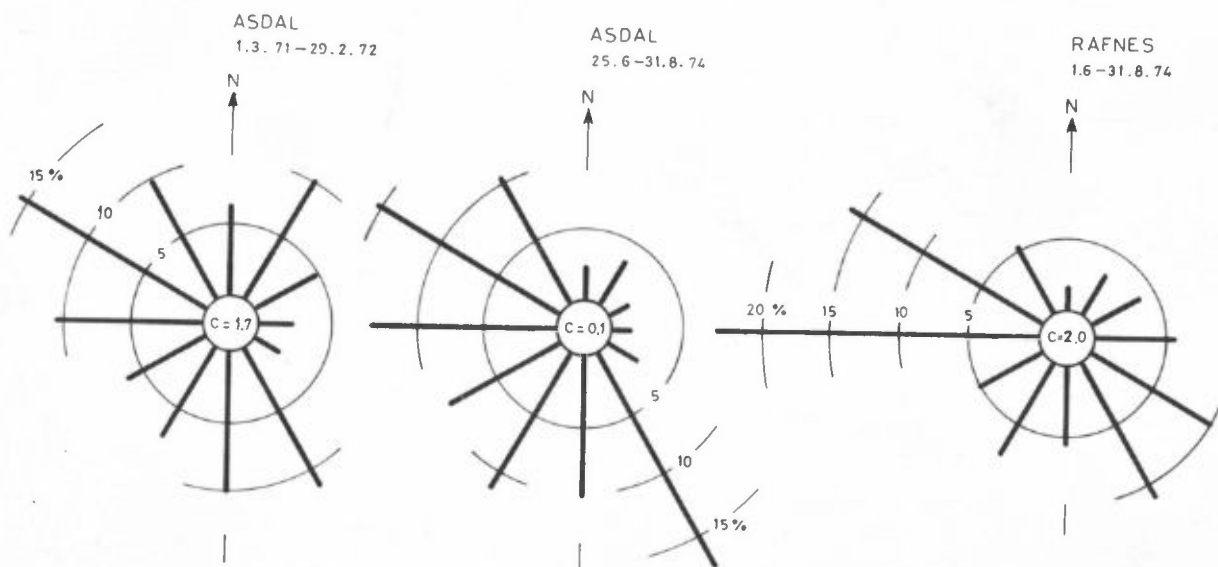




Figur 3: "Vindrose". Vindfrekvensfordeling på Lakollen i perioden 1969 - 1974. (Stolpene angir frekvens i % av vind fra den retning stolpen peker.)



Figur 4: "Vindrose". Vindfrekvensfordeling på Lakollen i perioden 1.03.71 - 29.02.72 og 1.06. - 31.08.74.



Figur 5: "Vindroser" med vindfrekvensfordelinger fra stasjonen Asdal og Rafnes.

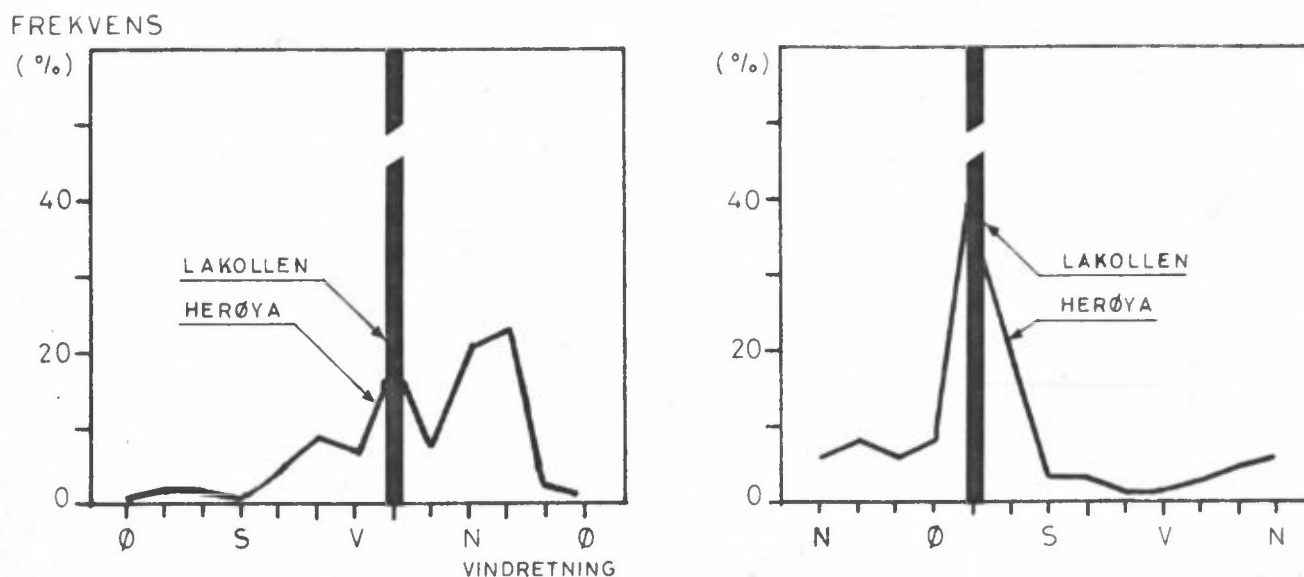
Figuren viser at vinden i den nordlige del av industriområdet er mer øst/vest rettet enn i sørlige deler av området (ved Asdal).

#### 4.3 Forholdet mellom vindretning på Lakollen og på lavere- liggende stasjoner

Som grunnlag for vurderingen av røykspredningen i området rundt Frierfjorden har en nedenfor diskutert forholdet mellom vinden på Lakollen (235 m.o.h.) og de lavere liggende stasjonene i området.

##### 4.3.1 Lakollen/Herøya

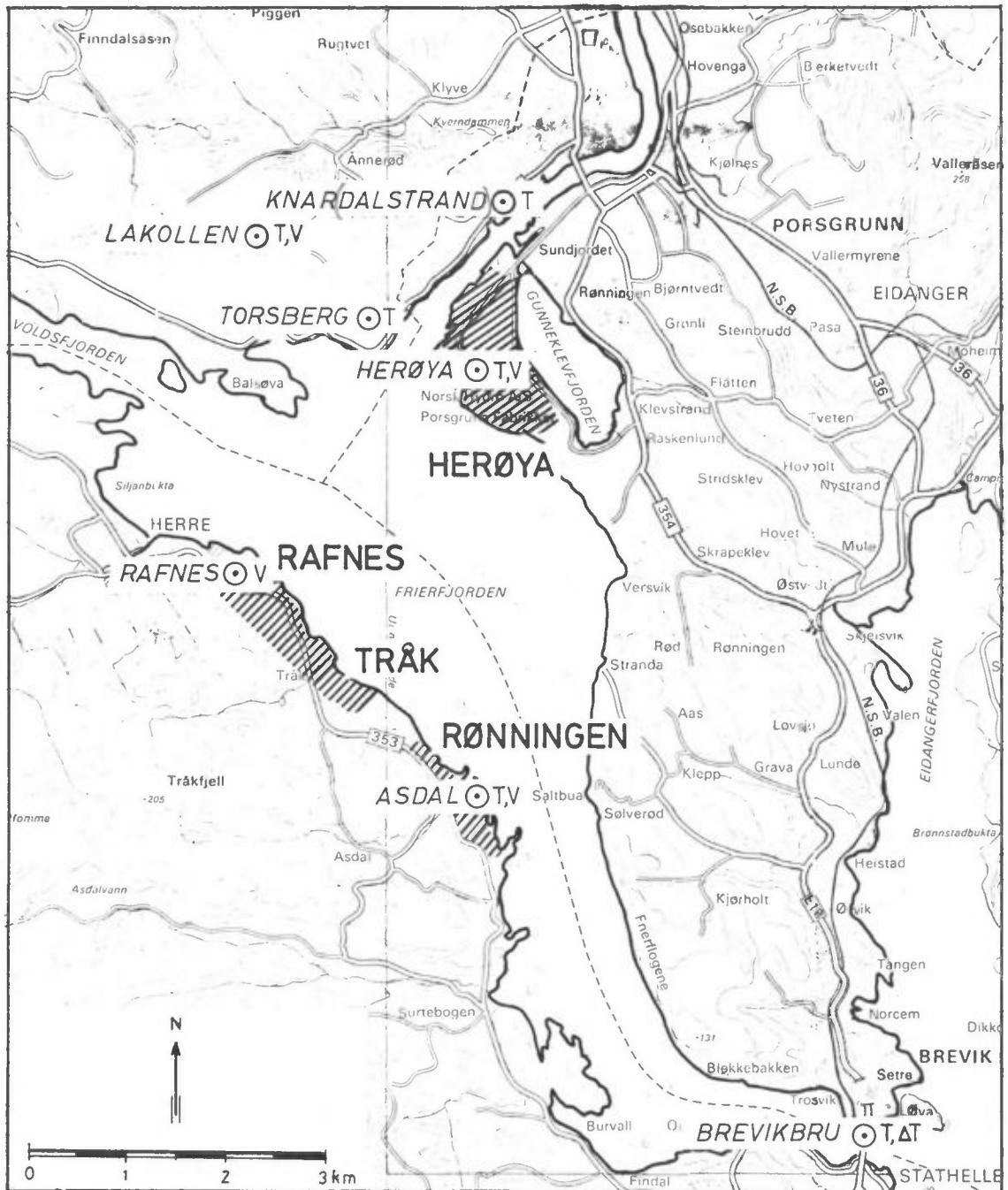
For å illustrere betydningen av kanaliseringen i Herøya-området har en i figur 6 angitt vindfrekvensfordelingene på Herøya, under forutsetning av at det blåser fra vest-nordvest eller øst-sørøst på Lakollen (de to hyppigste retningene på Lakollen).



Figur 6: Vindretningsfordeling på Herøya i de situasjonene hvor det blåser fra vest-nordvest og øst-sørøst på Lakollen (stolper). De valgte vindretningene på Lakollen er de to hyppigste. (Dataperiode: 1.09.72 - 31.08.74.)

Figuren viser at vind fra vest-nordvest på Lakollen oftest gir nordlig og nord-nordøstlig vind ved Herøya. Dette betyr at utslippene fra de høyeste skorsteinene på Herøya transporteres mot sørøst (over Eidangerhalvøya, mens utslippene fra de lave kildene i området transporteres mer rett sør-  
over ved Herøya).

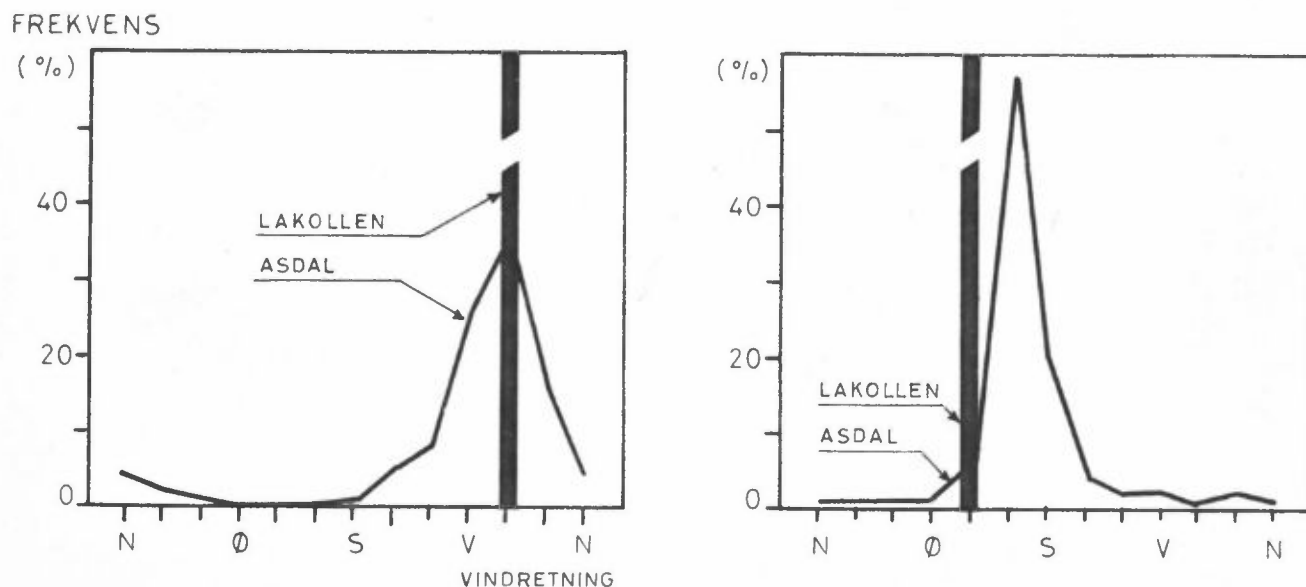
Vindene fra sørøstlig kant i området synes i hovedtrekkene å gi samme vindretning på Lakollen og på Herøya. Dette betyr at utslippene i alle nivå på Herøya oftest transporteres i samme retning mot nordvest. Generelt synes vinden å være mer nord/sør rettet i de lavere områdene mellom Herøya og Skien enn vindfordelingen på Lakollen indikerer.



Figur 1: Industriområder (skravert) og målesteder ⊙ for vind (V) og temperatur (T).

#### 4.3.2 Lakollen/Asdal (Rønningen)

I figur 7 er vindfordelingen på Asdal i perioden 1.03.71 - 29.02.72 vist for situasjoner der det blåser fra de to vanligste vindretningene på Lakollen.

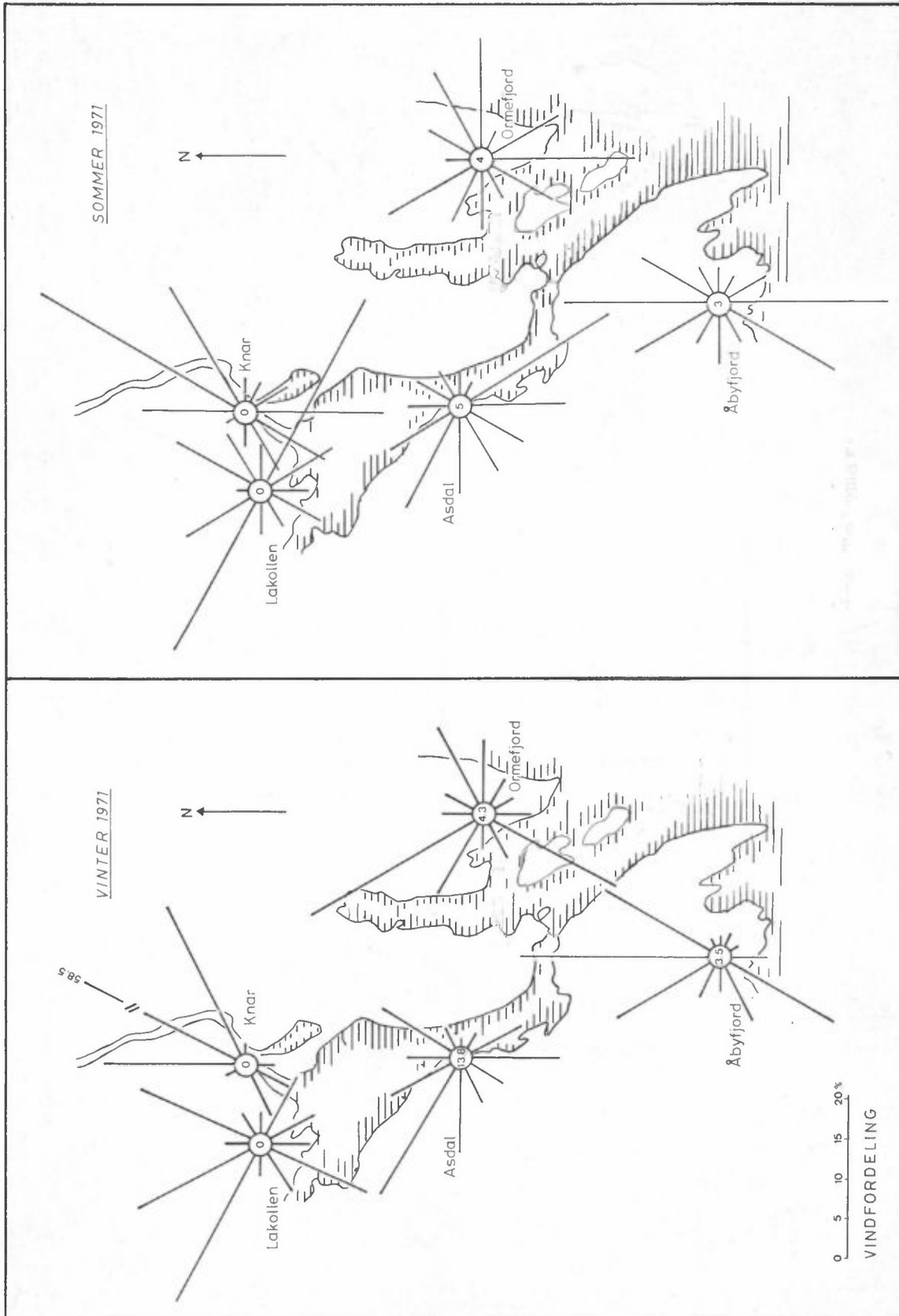


Figur 7: Vindretningsfordeling ved Asdal i de situasjonene det blåser fra de to vanligste vindretningene (stolper) på Lakollen. (Dataperiode: 1.03.71 - 29.02.74.)

Figuren viser at vinder fra nordvest på Lakollen gir omtrent samme vindretning ved Asdal. Det er en tendens til noe mer vestlig vind ved Asdal.

Ved vind fra sørøst på Lakollen er også vinden sørøstlig ved Asdal. Ved disse retningene er det dog et tydeligere, men relativt lite avvik i retningene, idet vinden ved Asdal har en mer sørlig komponent enn vinden på Lakollen.

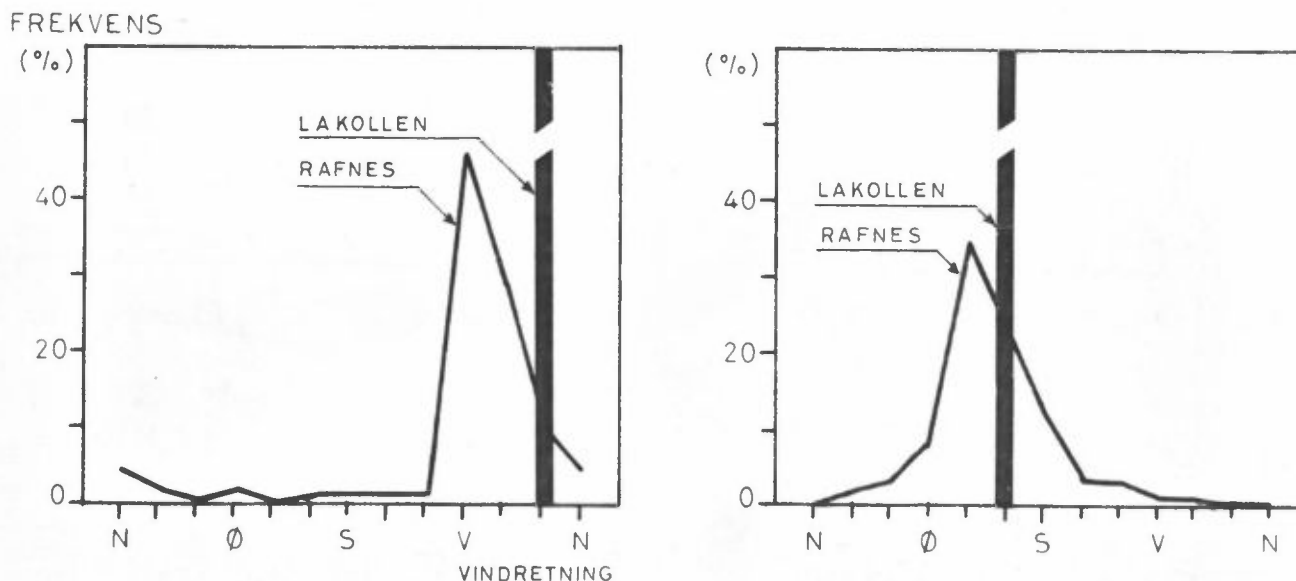
Generelt sett indikerer vindobservasjonene at en kan vente små avvik i transportretningene for utslipp fra høye skorsteiner i relasjon til lavere utslipp.



Figur 2: Vindroser for 5 stasjoner i Nedre Telemark (sommer og vinter 1971).  
(Stillefrekvensen angitt i sirklene.)

### 4.3.3 Lakollen/Rafnes

Figur 8 viser vindfordelingen ved Rafnes i perioden 1.05. - 31.08.74 for de to vanligste vindretningene på Lakollen (se kommentar kapittel 4.1).



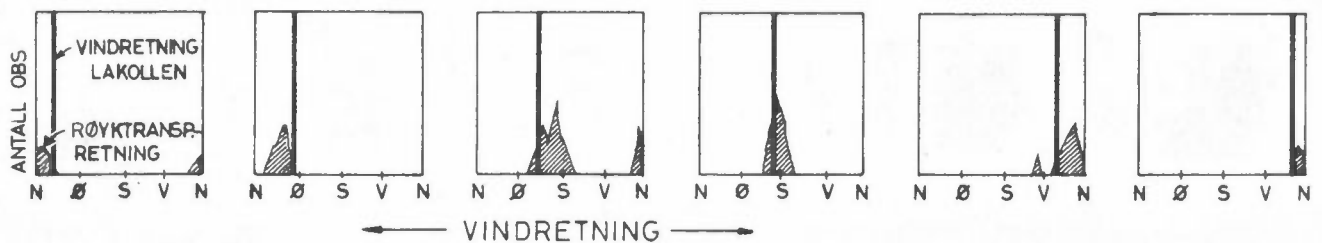
Figur 8: Vindretningsfordeling ved Rafnes i de situasjonene det blåser fra de to vanligste vindretningene (stolper) på Lakollen. (Dataperiode: 1.05.74 - 21.08.74.)

Figuren viser at vinder fra nordvestlig kant på Lakollen, oftest resulterer i vestlig vind ved Rafnes. Dette betyr at utslipp fra høye skorsteiner i dette området sannsynligvis vil ha en mer sørøstlig transportretning enn de lave utslippene som vil transporteres mer rett østover. De ovennevnte vindretningene forekommer i sommerhalvåret vesentlig om natta.

De situasjonene som gir vind fra sør-sørøst på Lakollen resulterer oftest i vind fra sørøst og øst-sørøst ved Rafnes gård.

#### 4.4 Røyktransportretninger for modellår ved Herøya

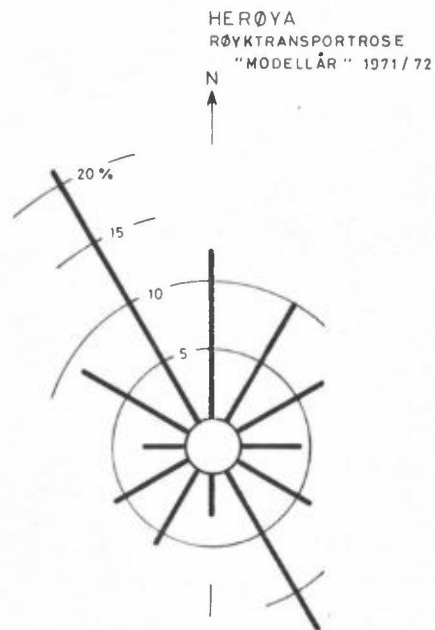
For å beregne spredningsmønstrene som resultat av utslippene fra Herøya, har en anvendt observasjoner av røyktransportretningene i området. Disse er sammenholdt med meteorologiske observasjoner. For de tilfellene hvor det foreligger sikker informasjon om røyktransporten fra Herøya (fra flyfotografier, bilder tatt fra bakken, og observasjoner), har en undersøkt sammenhengen mellom den observerte retningen på røyken og registrert vindretning på Lakollen. Et eksempel på røyktransportretningen for gitte registrerte vindretninger på Lakollen er vist i figur 9.



Figur 9: Sammenheng mellom retning for røyktransport fra Herøya (skravert) og vindretning på Lakollen (stolpe).

Etter å ha etablert denne sammenhengen er vindretningsfordelingen på Lakollen for perioden 1.3.71 - 29.2.72 anvendt for å "konstruere" en typisk årsfordeling av røyktransportretningen. Den konstruerte vindfrekvensfordelingen som svarer til frekvensfordelingene av røyktransportretningene er gitt i figur 10.



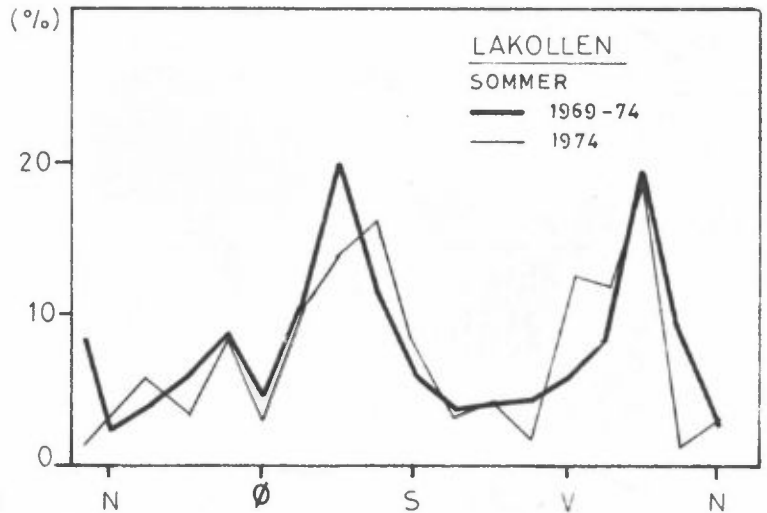
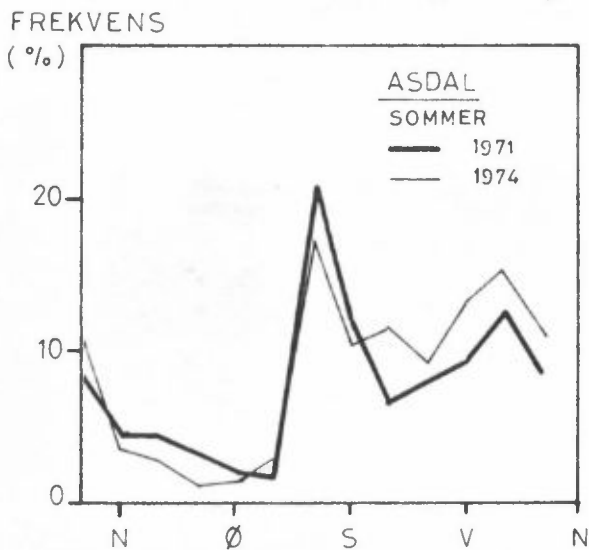
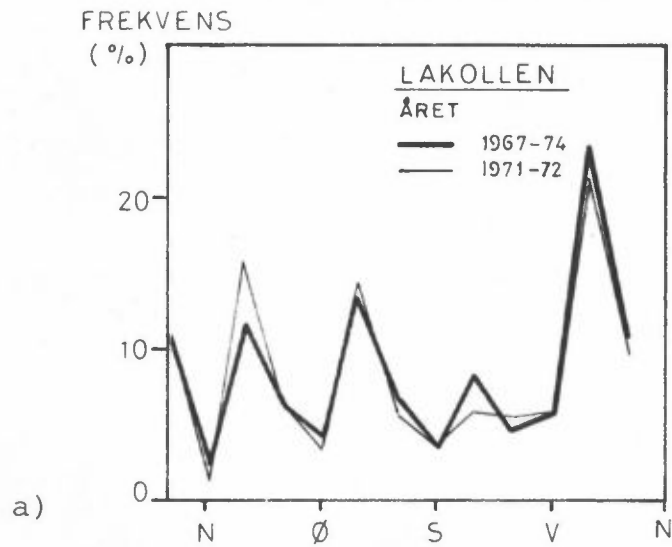


Figur 10: Konstruert vindfrekvensfordeling for røyktransportretningene på Herøya. (Vinddata Lakollen, Herøya 1971 - 1972.)

"Røyktransportrosen" i figur 10 ersenere anvendt sammen med vind- og stabilitetsdata fra Lakollen, Knar og Herøya til å etablere et beregningsgrunnlag (Bilag 2.5) til spredningsmønsteret i figur 24.

#### 4.5 Vindfordelingens representativitet i de vurderte periodene

Forurensningsbelastningen som resultat av utslipp fra Rafnes - Rønningen, er vesentlig beregnet på grunnlag av data i periodene 1.03.71 - 29.02.72 og 1.06. - 31.08.74. For å studere hvor representative vindforholdene var i disse periodene i forhold til "normale" vindforhold, har en i figur 11 vist hyppighetsfordelingen av vindretninger for en 5-års periode sammen med de nevnte periodene på Lakollen.



Figur 11: Frekvensfordeling av vindretninger for de beregnete periodene, a) 1971/72, b) og c) sommeren 1974, i relasjon til et 5-års middel på Lakollen.

a) og b): 30°-sektorer.

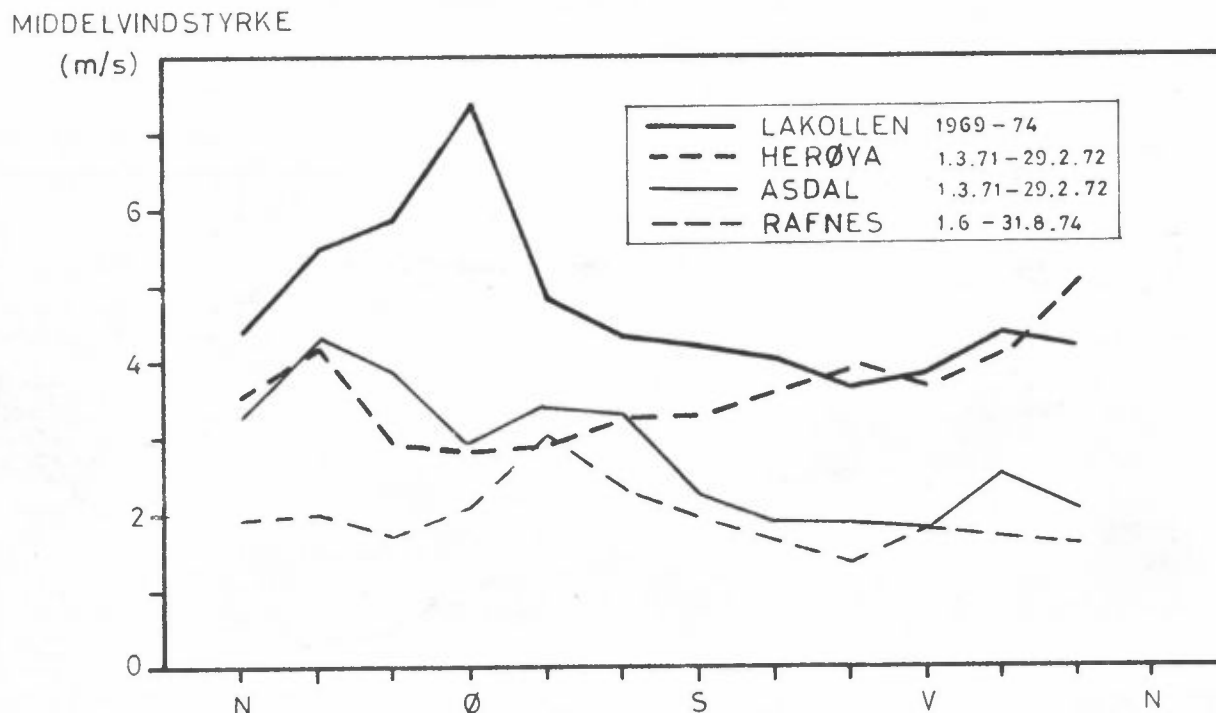
c) : 22.5°-sektorer.

Figuren viser at vindretningsfordelingen for året 1971/72 var svært lik det for 5-års perioden 1969 - 1974, mens fordelingen sommeren 1974 avvek noe fra midlet for de 5 somrene 1969 - 1974.

Vindfordelingene både ved Asdal og på Lakollen viser at det sommeren 1974 var noe oftere vestlig vind enn "normalt". På Lakollen var det sommeren 1974 vind fra vest og vest-nordvest i 19% av tiden, mens det for de 5 somrene 1969 - 1974 blåste fra de samme retningene i 11% av tiden. På Asdal var det sommeren 1974 vind fra vest i 13% av tiden, mens det sommeren 1971 blåste i 9% av tiden fra vest. Det var sommeren 1974 tilsvarende færre observasjoner med vind fra nordøst og sør-sørøst på Asdal; og nord-nordvest og sørøst på Lakollen.

#### 4.6 Vindstyrkefordeling

Figur 12 viser middelvindstyrken som funksjon av vindretningen på 4 stasjoner i Grenland-regionen.



Figur 12: Midlere vindstyrke som funksjon av vindretningen.

De høyeste vindstyrkene forekom vanligvis på Lakollen, mens de svakeste vindene er observert på Rafnes.

Ved vind fra øst på Lakollen var middelvindstyrken i årene 1969 - 1974 hele 7.3 m/s, mens hastigheten for de øvrige vindretningene var mellom 3.6 og 5.8 m/s. Ved Asdal var de sterkeste vindene observert, når det blåste fra nord-nordøst. Middelvindstyrken i perioden 1.03.71 - 29.02.72 var da 4.3 m/s. Vind fra øst-sørøst er vanligvis den sterkeste ved Rafnes. Middelvindstyrken sommeren 1974 var ved denne retningen 3 m/s. Ved de øvrige vindretningene var middelvindstyrkene på Rafnes mellom 1.5 og 2.0 m/s.

Middelvindstyrkene ovenfor demonstrerer godt den betydningen friksjonen i bakkesjiktet har for vindstyrkeobservasjoner 10 meter over bakken, og for transport av forurensninger som slipper ut fra lave skorsteiner. De høyeste middelvindstyrkene på Asdal og Rafnes er knyttet til de sterke østvindene (observert på Lakollen), men også til de transportretningene der det er minst friksjon fra underlaget.

De sterkeste vindene på Herøya er observert ved vind fra nord-nordvest og fra nord-nordøst. Nord-nordvest er en sjelden forekommende vindretning på Herøya, mens nord-nordøst er den retning vinden oftest blåser fra. De sterke vindene fra nord-nordøst kan være knyttet til kanalisering og avbøyning av de sterke østlige og nordøstlige vindene observert på Lakollen, men også til de vanlige retningene for dreneringsvinden (fjellvinden) i dalbunnen ved Herøya. Denne dreneringsvinden adderes ofte til det trykkdrevne (storskala) vindfeltet, og resulterer da i relativt friskt drag fra nordlig kant, spesielt i vinterhalvåret. De svakeste vindene på Herøya observeres vanligvis når det blåser fra øst.

## 5 STABILITETSFORHOLD

Atmosfærens evne til å spre og fortynne forurensninger er avhengig av luftens turbulente tilstand, som igjen er en funksjon av den vertikale temperaturfordeling (statisk stabilitet) vindstyrken (eller dens variasjon med høyden) og underlagets ruhet. Nedenfor har en diskutert den statiske stabiliteten gitt ved forskjellige stabilitetsparametre i området.

Ved instabil sjikting vil det være en oppadrettet varme-strøm i atmosfæren. Denne resulterer i turbulente virvler som gir god spredning av luftforurensninger. I stabil luft dempes turbulensen, spredningen er dårlig og det kan f.eks. dannes et røykteppe eller en smal røyksky hvor konsentrasjonen av forurensning er høy. En har i vurderingene nedenfor anvendt følgende definisjon av stabilitetsklasser:

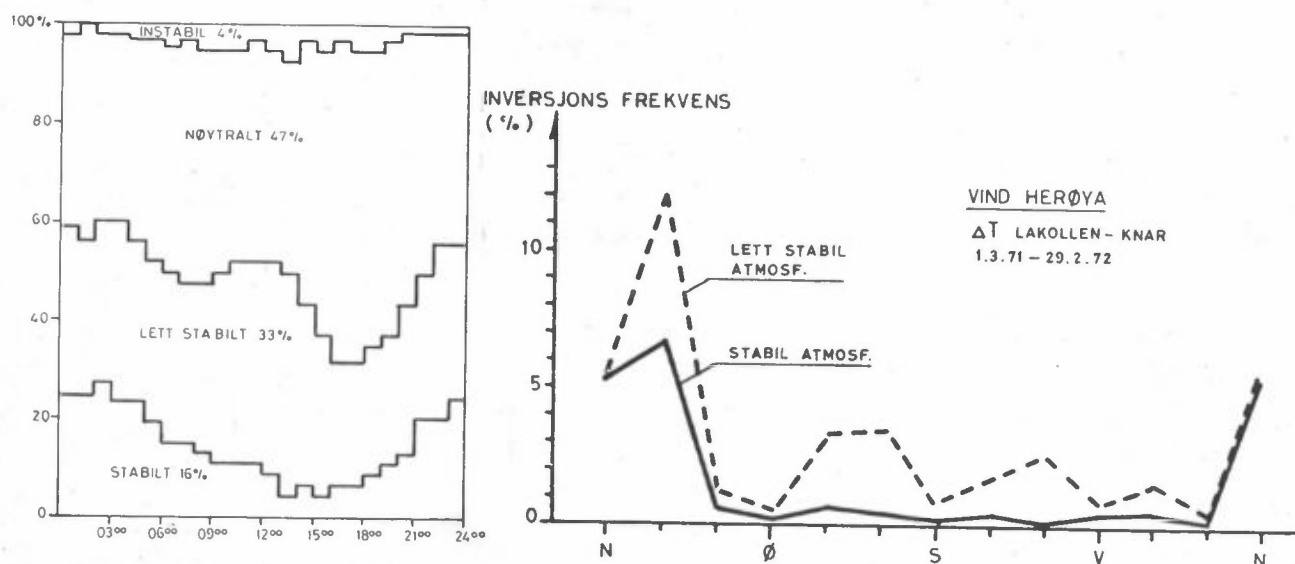
Stabil atmosfære	:	$\Delta T > 1.0$	grad/100 meter		
Lett stabil atmosfære:		$1.0 \geq \Delta T > 0$	"	"	"
Nøytral atmosfære	:	$0 \geq \Delta T > -1.0$	"	"	"
Instabil atmosfære	:	$\Delta T \leq -1.0$	"	"	"

$\Delta T$  refererer seg til differansen mellom temperaturen på Lakollen ( $T_L$ ) og temperaturen på en lavereliggende stasjon,  $\Delta T = 100(T_L - T_K)/\Delta H$ , der  $T_K$  er temperaturen på Knar og  $\Delta H$  er høydedifferansen mellom Lakollen og Knar (230 meter).

For observasjonene ved Asdal har en også sett direkte på den kortperiodiske vindvariasjonen i horisontalplanet som en parameter til å kartlegge turbulensen direkte.

## 5.1 Stabilitetsforholdene ved Herøya

Grunnlaget for vurderingen av stabilitetsforholdene ved Herøya er temperaturredifferansen mellom Lakollen (235 m.o.h.) og Knar (5 m.o.h.) for perioden 1.03.71 - 29.02.72. Denne perioden er funnet å være representativ for spredningen av luftforurensning i et typisk år, men det presiseres at variasjonen fra år til år kan være stor. Temperaturdataene er også i enkelte perioder beheftet med feil. En har derfor valgt å ta ut data fra ett år med relativt gode data, i stedet for å behandle middelerdien for flere år. Stabilitetsforholdene for andre perioder enn den valgte er imidlertid undersøkt i andre rapporter (1) (6) (7) (8) (9).



Figur 13

a) Midlere stabilitetsfordeling over døgnet (temperaturforskjellen Lakollen - Knar).

b) Frekvensen av stabil luft som funksjon av vindretningen på Herøya

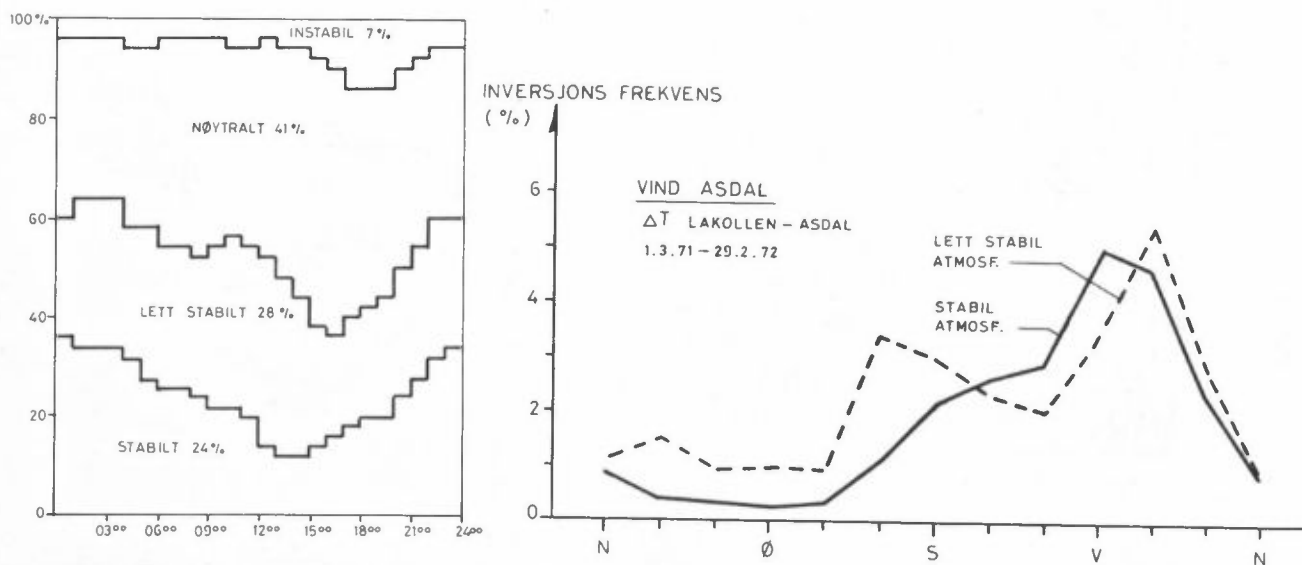
Datagrunnlag: Temperatur Lakollen - Knar, vind Herøya  
Periode : 1.03.71 - 29.02.72.

Figur 13 viser middelfordelingen over døgnet og fordelingen på de forskjellige vindretningene av de 4 stabilitetsklassene definert ovenfor. Temperaturinversjoner, som etter vår definisjon av stabilitetsklasser er summen av de lett stabile og de stabile situasjonene, forekommer i hele 49% av tiden i området rundt Herøya. De fleste av disse inversjonene forekommer om natta. Undersøkelser av forskjellige perioder (årstider) viser at inversjonsfrekvensen er større i vinterhalvåret enn om sommeren (1).

De mest stabile situasjonene forekommer vesentlig når det blåser fra nord ved Herøya. De lett stabile tilfellene forekommer også oftest ved vinder fra rundt nord, men disse situasjonene opptrer også ved vind fra sørøst. De sistnevnte er karakteristiske for sjøbrisen på våren og forsommeren.

## 5.2 Stabilitetsforholdene ved Rafnes

Spesielle temperaturmålinger for vurdering av termisk stabilitet ved Rafnes er ennå ikke igangsatt. For å få et visst bilde av forholdene har en undersøkt fordelingen av de 4 ovenfor angitte stabilitetsklassene basert på temperaturforskjellen mellom Lakollen og Asdal for perioden 1.03.71 - 29.02.72. Denne fordelingen er sammenliknet med fordelingen fra temperaturforskjellen Lakollen - Knar for samme periode.



Figur 14

a) Midlere stabilitetsfordeling over døgnet (temperaturforskjellen Lakollen - Asdal).

b) Frekvensen av stabil luft (inversjoner) som funksjon av vindretningen på Asdal.

Datagrunnlag: Temperatur Lakollen - Asdal, vind Asdal  
Periode : 1.03.71 - 29.02.72.

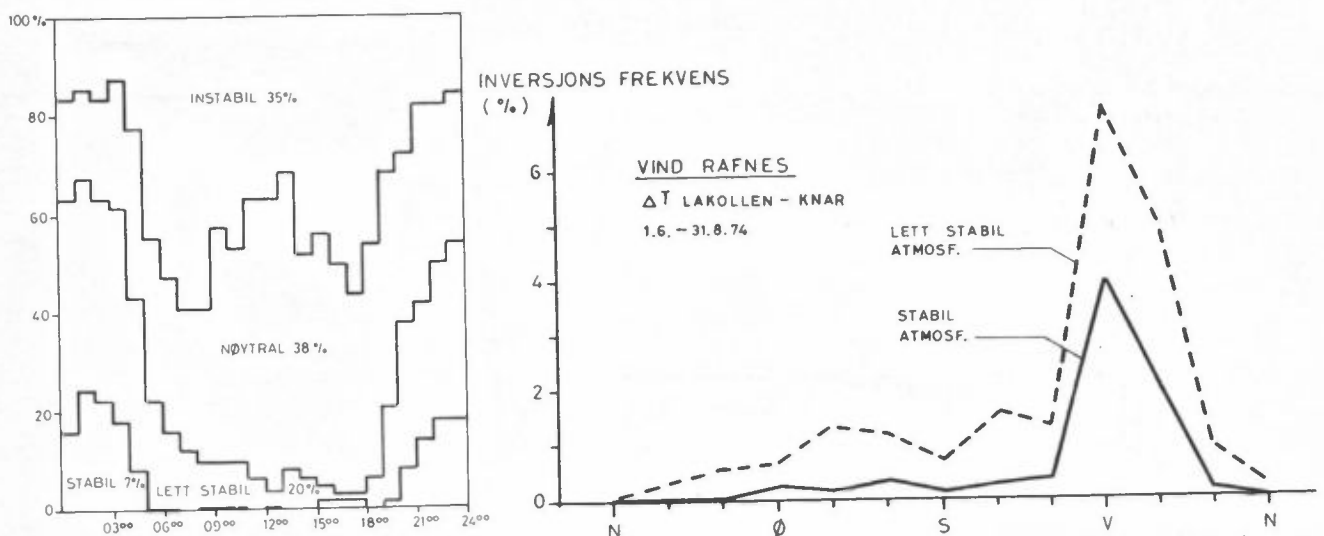
Figur 14 viser en midlere inversjonsfrekvens ved Asdal på 52%. Dette er omtrent samme verdi som ble funnet ved Herøya (Lakollen - Knar). Stabiliteten synes dog å være noe sterkere ved Asdal. Inversjonsfordelingen over døgnet er tilnærmet den samme i de to datasettene. Det som i første rekke er forskjellig ved de to stedene er stabilitetens fordeling med vindretningen. Ved Asdal har en større frekvens av stabil luft ved vinder fra omkring sør enn ved Herøya. Inversjonene forekommer ved svake vinder fra retninger mellom sør og vest (middelvindstyrke  $\approx 1.3$  m/s), noe som kan tyde på at disse inversjonene er et resultat av avkjøling på grunn av varmestråling fra bakken. Ved vind fra sør-sørøst er derimot middelvindstyrken større (3.2 m/s), noe som tyder på at disse tilfellene forekommer i stabil sjøbris.



De fleste sterke inversjonene ved Asdal forekommer ved vinder fra vest og vest-nordvest.

Likheten i frekvensen av de forskjellige stabilitetsklassene, samt likheten i den døgnlige fordelingen av inversjoner ved Asdal og ved Herøya, indikerer at stabilitetsparameteren gitt ved ( $T_{Lakollen} - T_{Knar}$ ), gir et brukbart bilde av de gjennomsnittlige stabilitetsforholdene i hele området rundt Frierfjorden.

Denne konklusjonen er anvendt for å estimere stabilitetsfordelingen som funksjon av vindretningen på Rafnes sommeren 1974. Da det ikke ble målt temperatur på Rafnes, er temperatordifferansen mellom Lakollen og Knar anvendt sammen med vindobservasjonene på Rafnes, som vist i figur 15.



Figur 15

a) Midlere stabilitetsfordeling over døgnet (temperaturforskjellen Lakollen - Knar).

b) Frekvensen av stabil luft som funksjon av vindretningen på Rafnes.

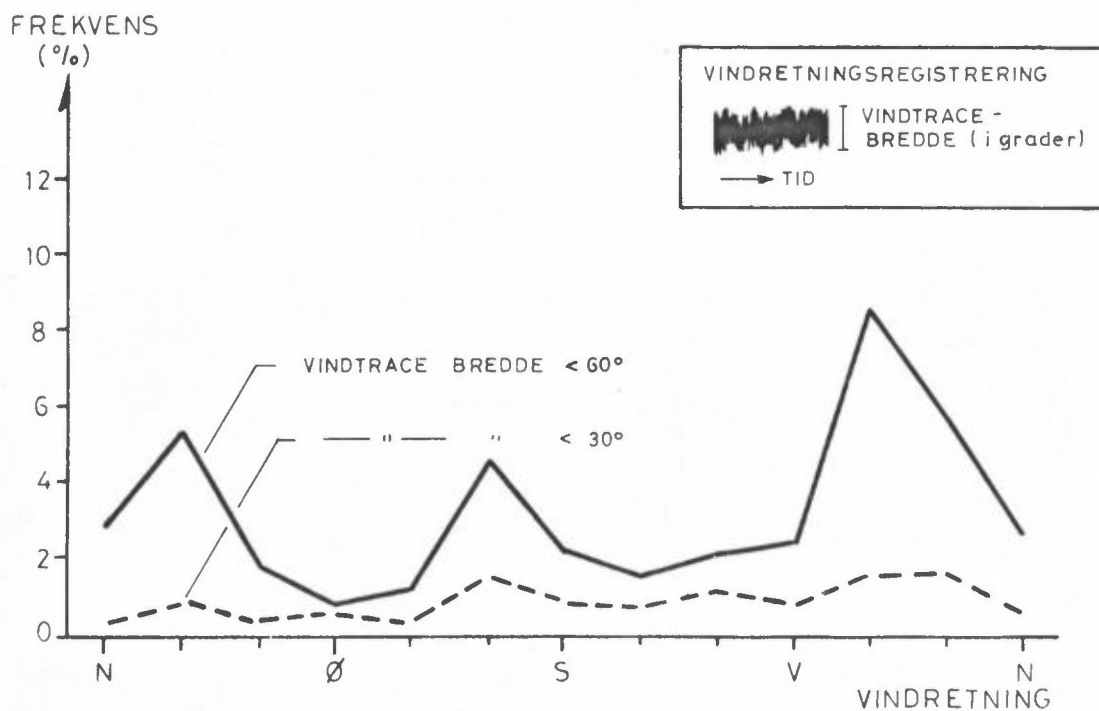
Datagrunnlag: Temperatur Lakollen - Knar, vind Rafnes  
Periode : 1.06.74 - 31.08.74.

Figur 15 viser at inversjonsfrekvensen i området var 27% sommeren 1974. De fleste av disse inversjonene forekom om natta, mellom kl 21 og kl 06. De fleste av inversjonene var også registrert ved vinder fra vest og vest-nordvest på Rafnes.

### 5.3 Horisontal vindvariasjon ("turbulens") ved Asdal

Fluktuasjonene i den kontinuerlig registrerte vindretningen på Asdal er studert. Disse fluktuasjonene gir et direkte mål for atmosfærens turbulente tilstand, og således for spredningsforholdene.

Utslagene omkring middelvindretningen for hver time leses av i grader, og totalutslaget er i figur 16 angitt som "vindtrace-bredde". I figuren er frekvensen av vindtrace-bredde mindre enn  $30^{\circ}$  og mindre enn  $60^{\circ}$  (dvs. relativt små fluktuasjoner rundt middelvindretningen) angitt som funksjon av vindretningen på Asdal for perioden desember 1970 - mai 1971. (Vindtrace-bredde er kun avlest for dette halvåret). Situasjoner med vindtrace-bredde mindre enn  $60^{\circ}$  svarer til tilfeller med stabil og lett stabil atmosfære, uten at parametrene er direkte sammenliknbare.



Figur 16: Frekvensen av vindtrace-bredde mindre enn  $60^\circ$  og mindre enn  $30^\circ$  som funksjon av vindretningen på Asdal i perioden 17.12.70 - 31.05.71. (Midlingstid 1 time.)

Smale vindtrace-bredder, som også indikerer dårlig spredning av luftforurensninger, forekom oftest ved vind fra vest-nord-vest og nord-nordøst på Asdal. Dette er i samsvar med inversjonsfrekvensens vindretningsavhengighet, som ble vist i figur 14.

## 6 BEREGNET SPREDNINGSMØNSTER (MIDDELBELASTNING)

Spredningsmønstrene, eller midlere forurensningsbelastning, som resultat av utslipp av gass fra industriområdene Rafnes-Rønningen og Herøya er beregnet som konsentrasjonsfordelinger midlet over måneder eller år.

Fordelingene kan anses som en gjengivelse av spredningsforholdene på en form som egner seg som grunnlag for arealplanlegging. Områder får høy belastning:

- hvis røyken transporteres ofte fra industriområdet mot det belastede området
- hvis spredningsforholdene resulterer i særlig høy konsentrasjon de gangene røyken transporteres over det belastede området

### 6.1 Beregningsgrunnlag

De matematiske modellene som er benyttet for beregning av spredningsmønstrene, antar at konsentrasjonsfordelingen i røykskyen fra hvert av utslippene er Gaussisk (normal-) fordelt horisontalt og vertikalt vinkelrett på vindretningen. Modellene er nærmere beskrevet i et teknisk notat (10) og i bilag 1.

Det er antatt at gassutslippene er kontinuerlige og at det ikke skjer kjemiske eller fysiske reaksjoner (utvasking, avsetning, etc) under spredningen.

Beregningene er basert på frekvensfordelinger av vind og stabilitet gjengitt i 5 tabeller i bilag 2. Frekvensfordelingene er beregnet på grunnlag av de meteorologiske data presentert i kapitlene 4 og 5.

I tabell 2 har en gitt de antatte utslippsmengdene som er anvendt ved beregning av konsentrasjonsfordelingene rundt de forskjellige kildeområdene.

Sted	Kildetyper	Stoff	Høyde (m)	Utslippsmengde (kg/h)
Rønningen	Pipe	Gass	50	100
Rafnes	Pipe	"	50	100
Rafnes+Rønningen	2 piper	"	50	50+50
Rafnes/Rønningen	Areal	"	10	100
Herøya	Piper	NO <sub>2</sub> -gass	32-100	1400

Tabell 2: Antatte utslippsbetingelser for beregning av spredningsmønster.

## 6.2 Diskusjon av resultater

De beregnete spredningsmønstrene er presentert på kart i figurene 18-24. Kartene viser blant annet betydningen av 50 m høye piper i forhold til lave utslipp i arealene (sml. figur 22 og figur 23), og de viser beliggenheten av de mest belastede områdene.

### 6.2.1 Rønningen, 1971-72, 50 m pipe (figur 18)

I figur 18 har en til en viss grad tatt hensyn til topografien, gjennom en metode skissert i bilag 1. Denne effekten er ikke inkludert i de øvrige figurene.

Dette spredningsmønsteret viser et maksimum i brattskrenten på vestsiden av Eidangerhalvøya, som synes å være den eneste vesentlige forskjell fra de figurene hvor det ikke er tatt hensyn til topografien. Årsmiddelkonsentrasjonen som resultat av et utslipp på 100 kg/h fra en 50 m høy pipe på Rønningen viser også maksima nord for Rønningen, over Frierfjorden ( $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og sørsørvest for Rønningen, ved Asdal ( $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

#### 6.2.2 Rønningen, turbulensdata, 50 m pipe (figur 19)

Figur 19 er basert på turbulensdata i perioden 17.12.70 - 31.5.71 (kapitel 5.3). På grunnlag av disse data i den gitte perioden, vil et utslipp på 100 kg/h fra en 50 m pipe på Rønningen gi høyest belastning over Frierfjorden mellom Rønningen-Stranda og Eidangerhalvøya ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Relativt høy belastning vil en også få over Frierfjorden nord for Rønningen ( $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sørøst for Rønningen, (ved Øvre Asdal) og på land nær Frierfjorden ved Asdal-stranda og sørvestlige del av Eidangerhalvøya.

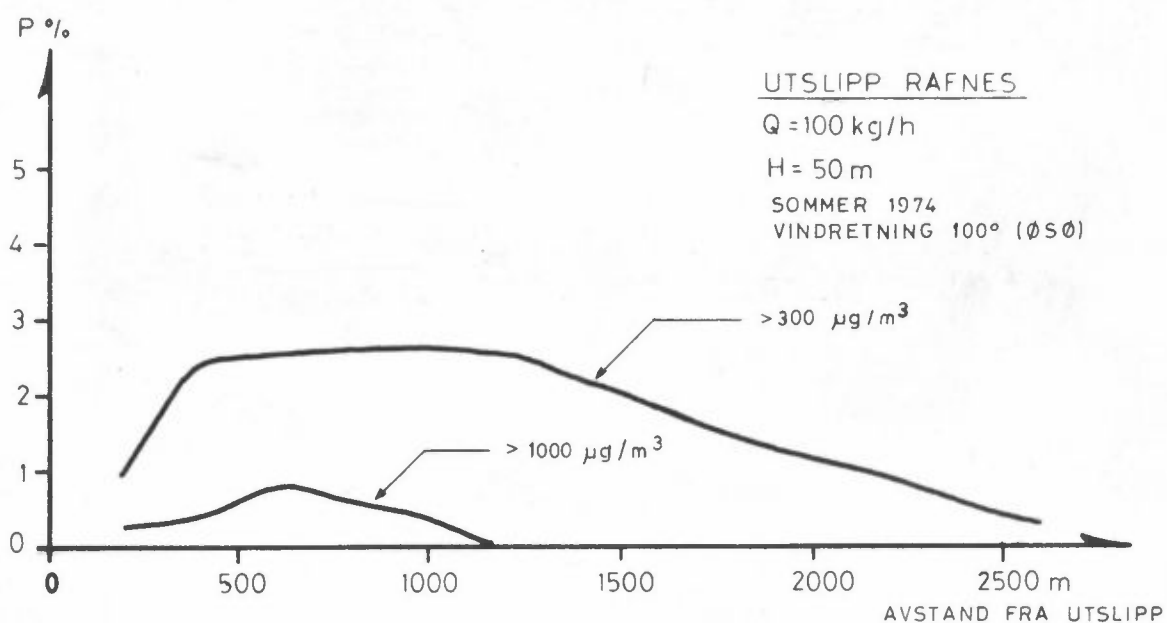
#### 6.2.3 Rønningen, sommer 1974, 50 m pipe (figur 20)

For sommeren 1974 ville den største belastningen fra et 50 m høyt utslipp på 100 kg/h fra Rønningen ligget over Frierfjorden. Det høyeste årstidsmidlet ( $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ville ligget ca 1 km øst for utslippet. En minner om at sommeren 1974 hadde et overskudd av vinder fra vest i forhold til en normal sommer.

#### 6.2.4 Rafnes, sommer 1974, 50 m pipe (figur 21)

På grunnlag av vind og stabilitetsdataene fra Rafnes sommeren 1974, og et antatt utslipp på 100 kg gass/h fra en 50 m høy pipe, ville de høyeste middelkonsentrasjonene ( $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) finnes over Frierfjorden. En vil også vente relativt høy middelbelastning over tettstedet Herre ( $10-30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Belastningen over Herre er også studert ved en modell som på grunnlag av meteorologiske data beregner timesmidlele bakkekonsentrasjonsfordelinger. Modellen gir for hver time et sett bakkekonsentrasjoner i 360 punkter i forskjellige avstander og retninger fra utslippet på Rafnes. På dette grunnlaget har en i figur 17 vist sannsynligheten for at bakkekonsentrasjonen midlet over 1 time skal overskride  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i forskjellige avstander i retning mot Herre.



Figur 17: Sannsynlighet (p) for at konsentrasjonen midlet over 1 time skal være større enn gitte konsentrasjoner i forskjellige avstander ved vind mot Herre ( $110^\circ$ ).

Figuren viser at bakkekonsentrasjoner over  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ikke forekommer lengere bort enn 1200 m fra et 50 m høyt utslipp på Rafnes. Sannsynligheten for at konsentrasjonen skal overskride  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ca 1 km fra Rafnes i retning mot Herre ( $100^\circ$ ) er ca 2.5%.

#### 6.2.5 Rafnes/Rønningen, sommer 1974, pipeutslipp (figur 22)

En 50 m høy pipe på Rafnes og en 50 m høy pipe på Rønningen, hver med et utslipp på 50 kg/h, ville sommeren 1974 gitt en middelkonsentrasjonsfordeling i likhet med den vist i figur 22. Maksimumbelastningen ligger over Frierfjorden ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ca 1.5 km øst for Rafnes gård.

#### 6.2.6 Rafnes/Rønningen, sommer 1974, arealkilder (figur 23)

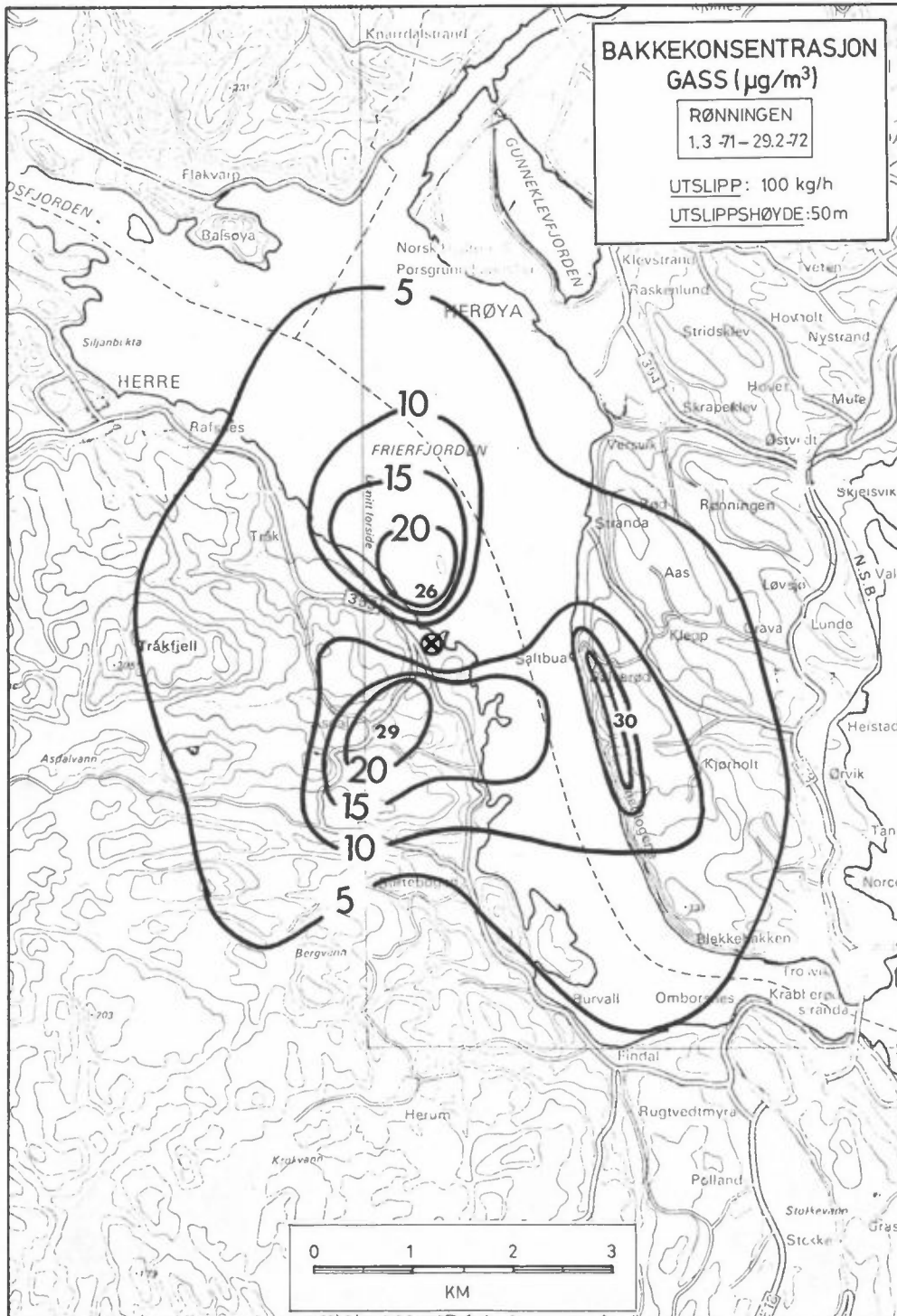
I figur 23 er det antatt utslipp fra mange "småkilder" i et areal ved Rafnes og et ved Rønningen. Arealenes utstrekning er hvert på ca 600 m, utslippshøyden er ca 10 m, og total utslippsmengde er 100 kg/h. Maksimal middelkonsentrasjon ligger nå nærmere industriområdene og er høyere enn for utslipp fra 50 m høye piper. Utenfor ca 1 km fra industriområdene ligner spredningsmønstrene på de en får som resultat av utslipp fra piper.

#### 6.2.7 Herøya, modellår (1971/72), NO<sub>2</sub>-utslipp (figur 24)

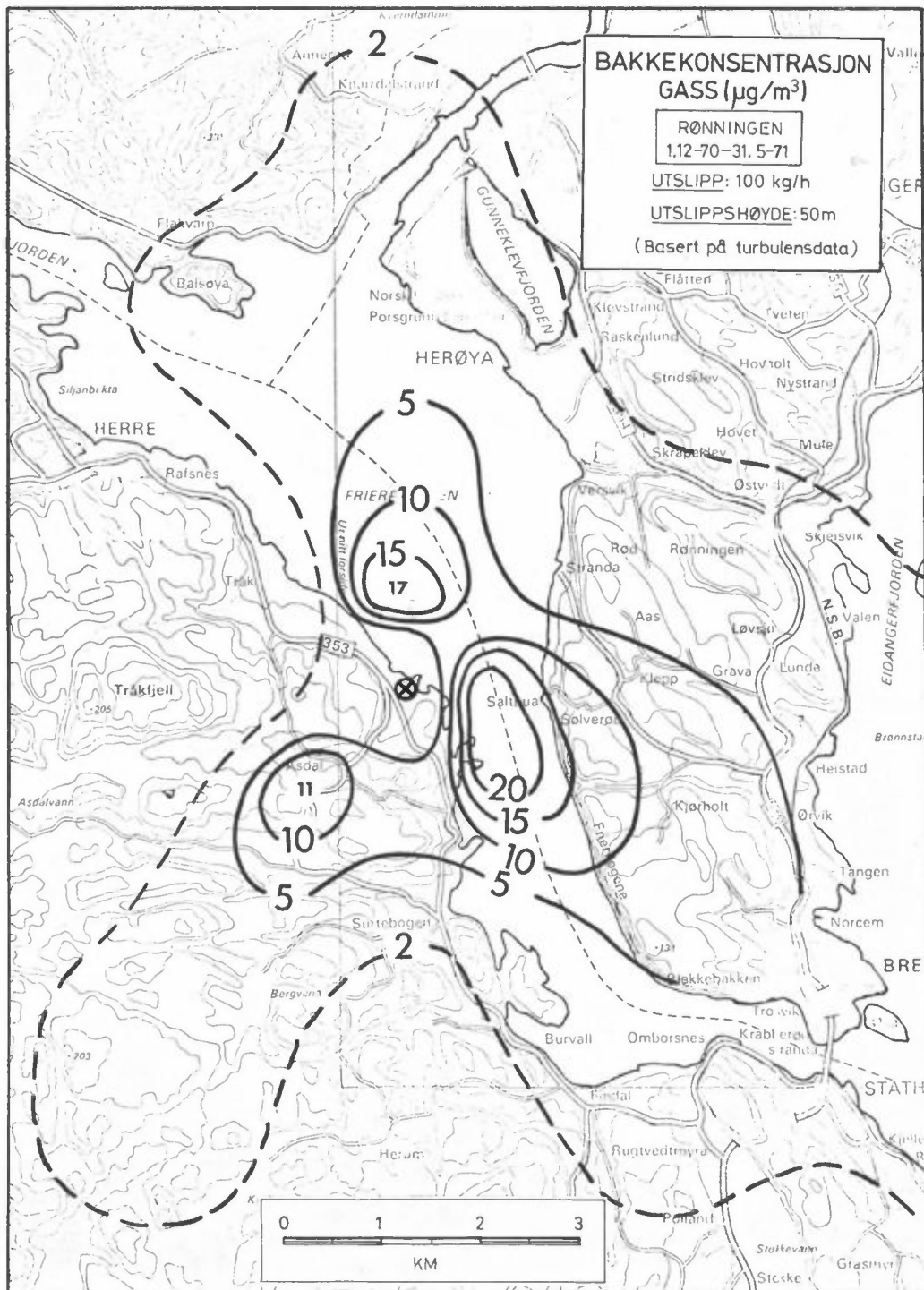
På grunnlag av meteorologiske data fra 1971/72 og informasjon om røyktransporten fra Herøya i forskjellige perioder (se kapitel 4.4), har en anvendt de samme modellene som ovenfor på et realistisk utslipp av NO<sub>2</sub> fra Herøya.

Figur 24 viser konsentrasjonsfordelingen midlet over "modellåret". Figuren viser et maksimumsområde nord-nordvest for Herøya ( $\sim 25 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ ) og et 1-2 km sørøst for Herøya ( $\sim 30 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ ). Dette er i god overensstemmelse med noen av de målingene av NO<sub>2</sub> som har vært gjennomført i området. Se forøvrig andre rapporter fra NILU, som også viser fordelinger for andre år og årstider (7), (11).

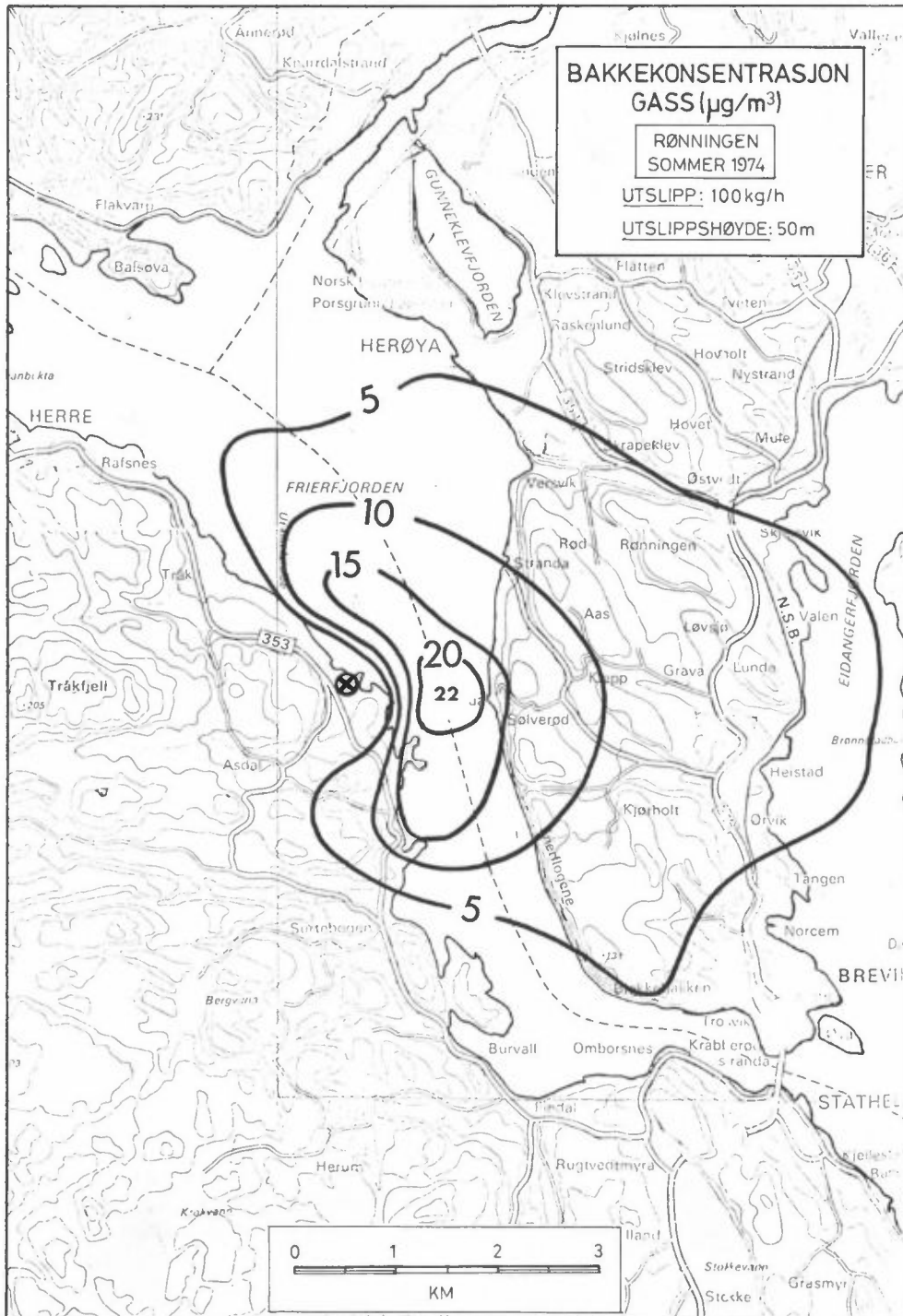




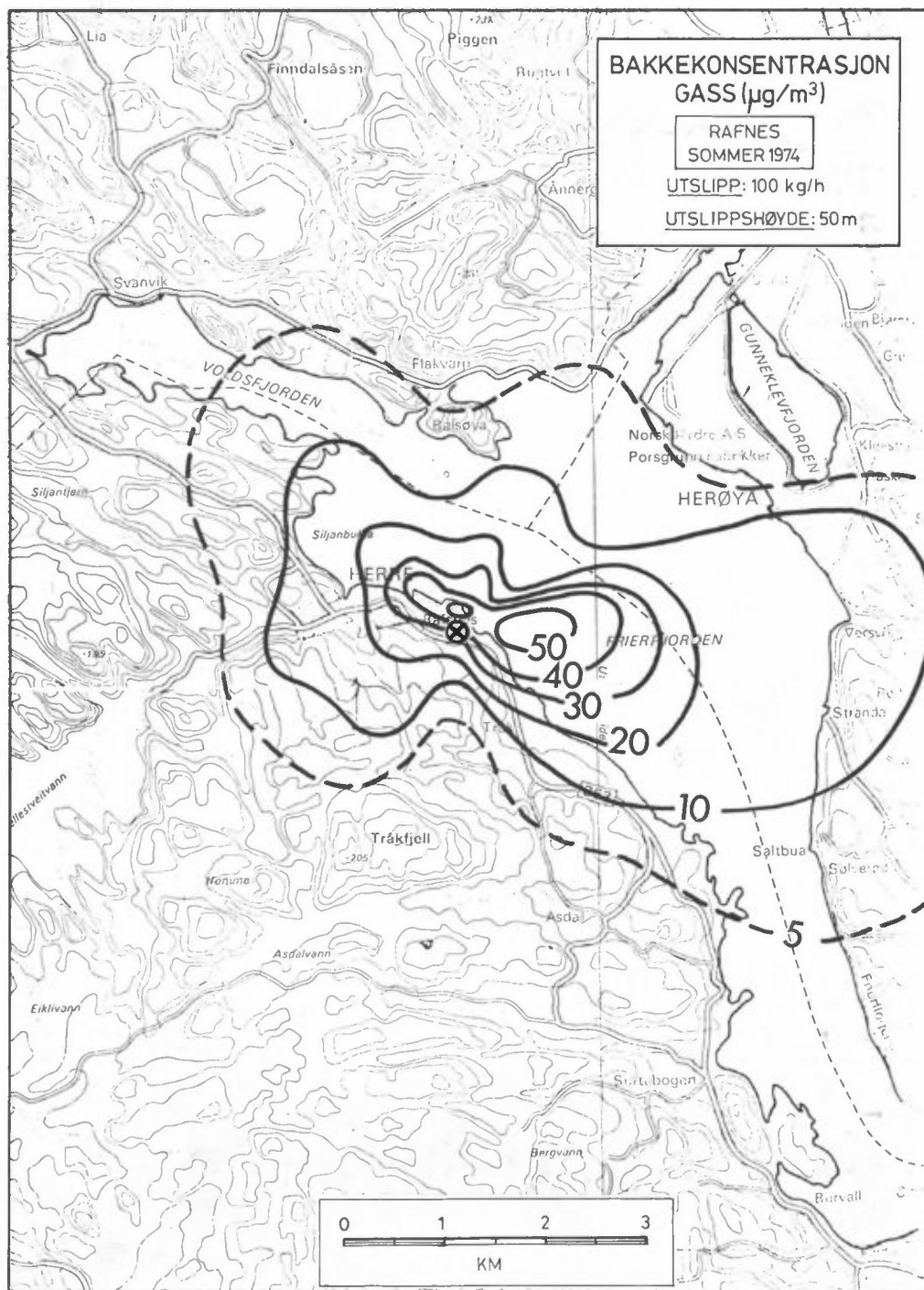
Figur 18



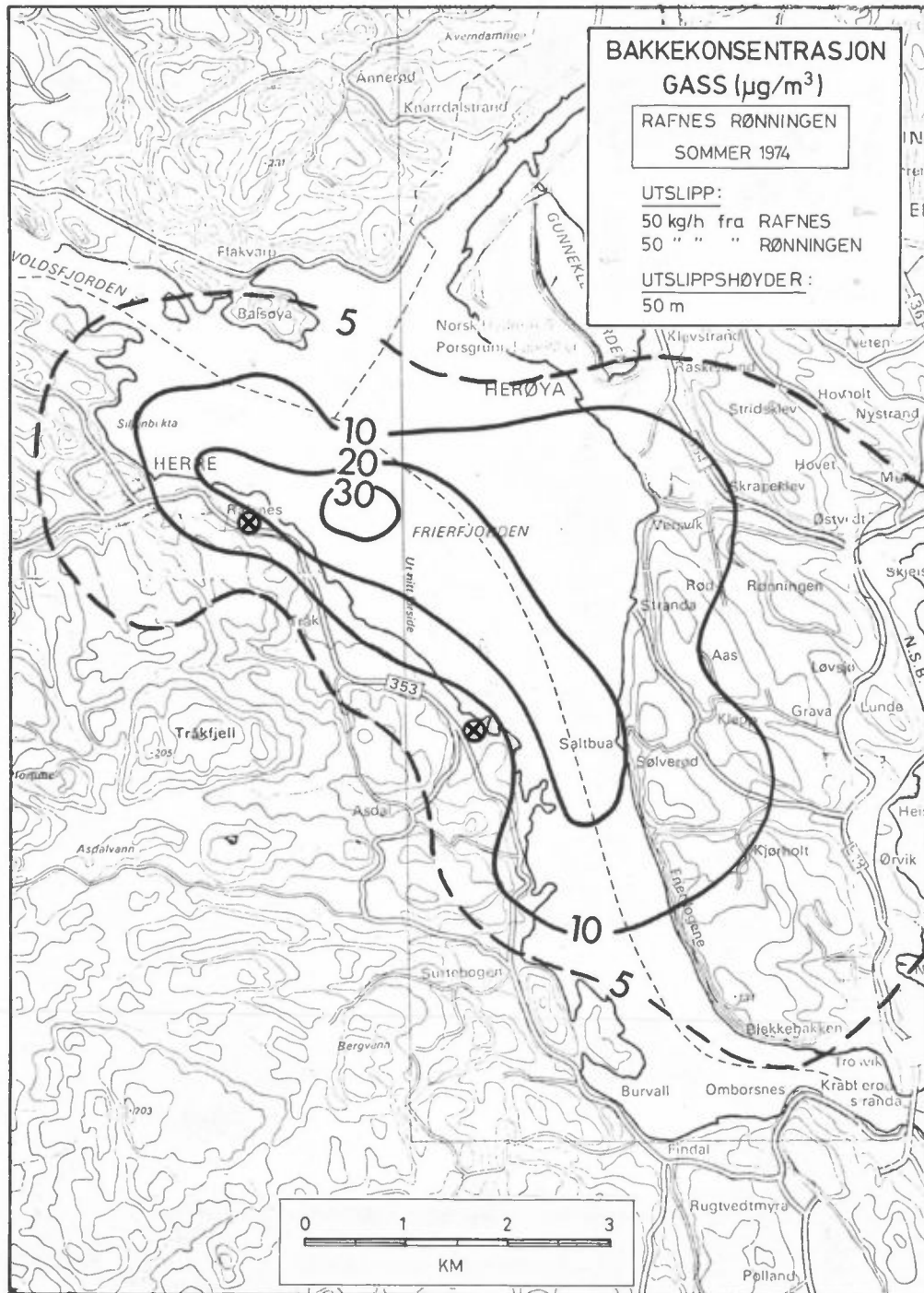
Figur 19



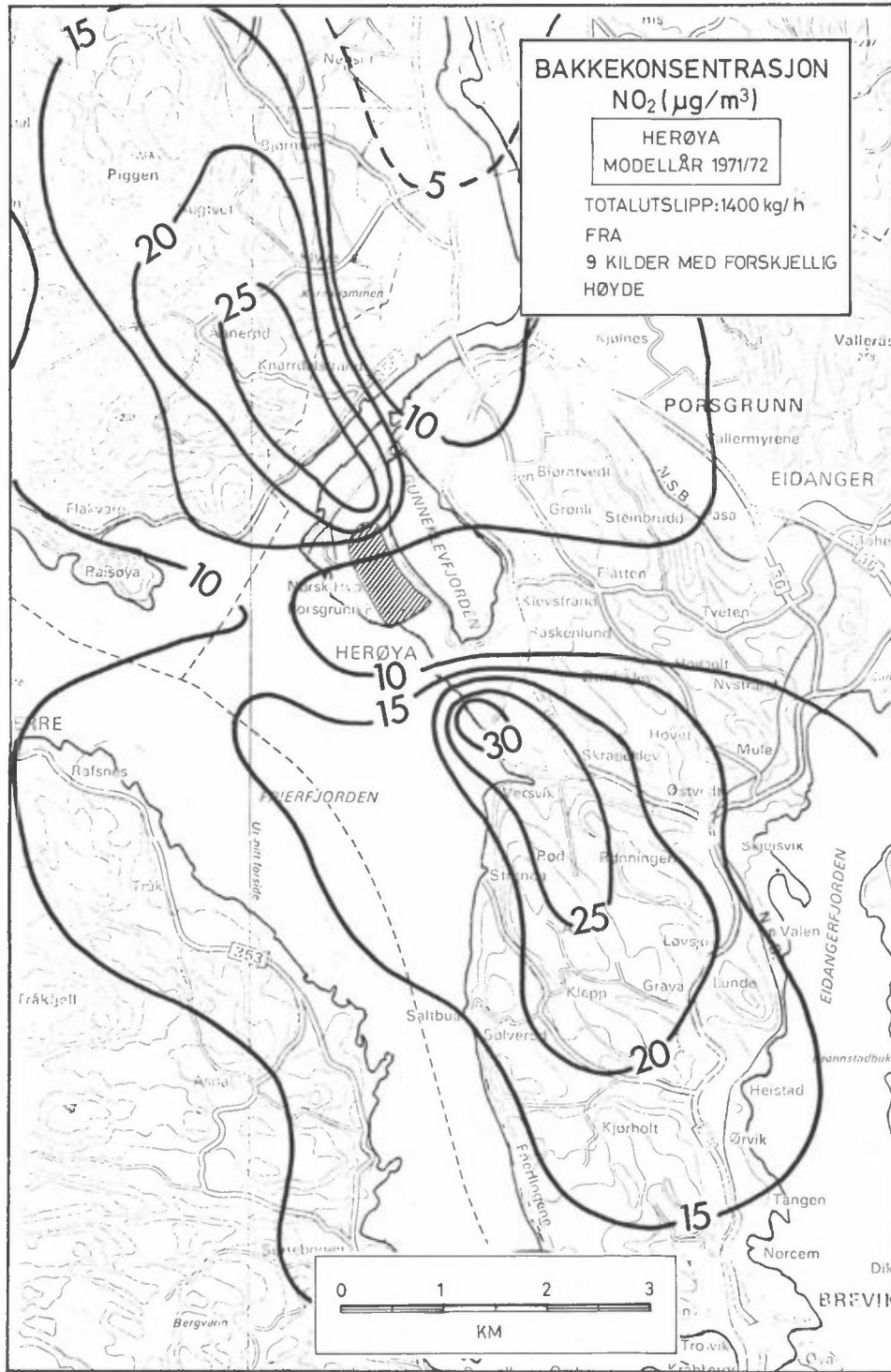
Figur 20



Figur 21



Figur 22



Figur 24

## 7 OPPSUMMERING OG KOMMENTARER

Spredningsforholdene ved industriområdene Rafnes - Rønningen og Herøya er studert. Resultatene er presentert som konsentrasjonsfordelinger på kart over området, i en form som egner seg for arealplanlegging. Fordelingene viser års- midlete eller årstidsmidlete bakkekonsentrasjoner basert på et antatt totalutslipp på 100 kg gass/h fra Rafnes - Rønningen, og 1400 kg NO<sub>2</sub>/h fra Herøya.

Spredningsmønstrene egner seg ikke til dimensjonering av utslipp eller skorsteiner, idet en til dette formål også trenger korttidsmidlete konsentrasjoner i bakkenivå. De kan likevel anvendes som støtte ved områdeplanlegging, idet de gir et kvalitativt bilde av forurensningsbelastningen i de forskjellige områdene.

En bør være klar over at det i flere ledd i beregningene foreligger usikkerheter som gjør at resultatene ikke bør anvendes ukritisk. De største usikkerhetene ligger i:

- spredningsberegningene, hvor det f.eks. antas rettlinjet transport av forurensning ut fra kilden
- de meteorologiske grunnlagsdata, som i enkelte tilfeller ikke er helt representative for det området røyken transporteres over
- den relativt korte perioden med data som ligger til grunn for beregningen. Dette gjelder spesielt sommersesongen 1974, som avviker noe fra en "normal" sommer ved en noe for høy frekvens av vind fra vest (kapittel 4.5).

Spredningsmønstre for en vintersesong er ikke presentert i denne rapporten, men en håper å komme tilbake til dette, når vinddata fra Rafnes foreligger etter vinteren 1974/75.

8 REFERANSER

- (1) Dovland, H.  
Sivertsen, B. Meteorologiske observasjoner fra Nedre Telemark i perioden 1/12 1970 - 19/2 1972. NILU Teknisk notat nr 42/72, oktober 1972.
- (2) Dovland, H.  
Sivertsen, B. Atmosfæriske spredningsforhold ved Naverfjorden i Brunlanes. NILU Oppdragsrapport nr 65/73, november 1973.
- (3) Sivertsen, B.  
Dovland, H. Atmosfæriske spredningsforhold ved Saga i Langangsfjorden. NILU Oppdragsrapport nr 79/74, april 1974.
- (4) Schjoldager, J.  
Sivertsen, B. Vurdering av muligheten for dannelse av fotokjemisk smog i forbindelse med Rafnesutbyggingen. NILU Oppdragsrapport nr 73/74, januar 1974.
- (5) Schjoldager, J.  
Sivertsen, B. Tilleggsrapport om mulighet for dannelse av fotokjemisk smog i forbindelse med Rafnesutbyggingen. NILU Oppdragsrapport nr 76/74, mars 1974.
- (6) Sivertsen, B. Meteorologiske observasjoner fra Nedre Telemark i perioden 1.3.72-31.8.74. NILU Teknisk notat, 1975.
- (7) Schjoldager, J. Statistisk bearbeiding av forurensningsdata, samt bruk av spredningsmodeller i Nedre Telemark. NILU Oppdragsrapport, 1975.



- (8) Grønskei, K.E. En bearbeidelse av Norsk Hydro's meteorologiske data fra Porsgrunn-området i perioden 1.1.67-30.4.69.  
NILU Oppdragsrapport nr 2/70, mars 1970.
- (9) Grønskei, K.E. En bearbeidelse av meteorologiske data fra Porsgrunn-området 1/5 1969 - 31/12 1970.  
NILU Oppdragsrapport nr 29/71, juli 1971.
- (10) Schjoldager, J. Program Kilder, Beregning av spredning fra punktkilder og volumkilder. Programbeskrivelse og brukerveiledning.  
NILU Teknisk notat nr 2/75, november 1974.
- (11) Grønskei, K.E.  
Schjoldager, J.  
Sivertsen, B. Luftforurensninger i Nedre Telemark. Rapport om resultatene av samarbeidet mellom Tilsynsutvalget for luftforurensningene i Nedre Telemark og NILU.  
NILU Oppdragsrapport nr 3/75, januar 1975.

BILAG 1

MODELL FOR BEREGNING AV MIDDELKONSENTRA-  
SJONSFORDELING FRA ENKELTKILDE

BILAG 1

MODELL FOR BEREGNING AV MIDDELKONSENTRA-  
SJONSFORDELING FRA ENKELTKILDE

Modellene som er anvendt for beregning av middelkonsentrasjonene (spredningsmønstre) er basert på at konsentrasjonsfordelingen i røykskyen (horisontalt og vertikalt vinkelrett på vindretningen) er Gaussisk (normal-) fordelt. De empiriske spredningsparametrene som er brukt, er utviklet for relativt flatt terreng, og basert på spredningsforsøk i USA (A1).

Luftkonsentrasjonen som resultat av utslipp fra enkeltkilder er i denne rapporten beregnet som middelerverdier over et langt tidsintervall (måned, sesong, år). Konsentrasjonen umiddelbart over bakkenivå i avstand  $x$  (m) og i retning  $\phi$  fra kilden er gitt ved:

$$C(x, \phi) = \sum_s \frac{0.01 Q f(\phi, s)}{(\pi/2)^{\frac{1}{2}} u(\phi, s) \sigma_z(s) \frac{2\pi x}{n}} \exp \left[ -0.5 \left( \frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad 1.$$

Nedenfor følger en diskusjon av de parametrene som inngår i ligning 1.

---

(A1) Singer, I.A., Smith, M. Atmospheric Dispersion at Brookhaven National Laboratory  
Air & Water Poll. Int. J. 10,  
s. 125-135 (1966).

### Konsentrasjonen (C)

I disse beregningene er konsentrasjonen i en gitt avstand og retning ( $x, \phi$ ) fremkommet ved summasjon av konsentrasjonen over 4 stabilitetsklasser (s) med gitt middelvindstyrke (u) i hver klasse. Konsentrasjonen beregnes i 120 punkter omkring utslippet gitt ved 10 avstander i hver av  $n=12$  retninger. Konsentrasjonen gis i mikrogram pr  $m^3$  ( $\mu g/m^3$ ).

### Kildestyrke (Q)

Kildestyrken er gitt pr tidsenhet og antatt kontinuerlig. Verdiene anvendt i beregningene er gitt i tabell 7 i kapitel 7.1.

### Frekvensfordeling (f)

Frekvensen (i %) av en bestemt stabilitetsklasse er gitt for hver vindretning.

$$f = f(\phi, s)$$

Denne representasjon av frekvensfordelingen forutsetter i modellens gridsystem rettlinjet vindstrømning fra utslippet til et punkt i området. Frekvensfordelingene som er anvendt i beregningene er gitt i tabellene 2-6 i kapitel 6.

### Røykaksens høyde over bakken (H)

Bakkekonsentrasjonen vil være avhengig av høyden på røyk-skyens akse over bakken. Denne defineres i modellen ved:

$$H = h_s + \Delta h - k \cdot h_t \quad 2.$$

hvor  $h_s$  er den fysiske skorsteinshøyden og  $\Delta h$  er overhøyden som resultat av utslippshastighet og varmeoverskudd. En har i disse beregningene sett bort fra  $\Delta h$  ( $\Delta h=0$ ).

$h_t$  er høyden av de topografiske ujevnhetene over det nivå der skorsteinen er plassert, og  $k$  er en faktor mellom 0 og 1, avhengig av terrengets beskaffenhet, bratthet, atmosfærisk stabilitet og utslippets effektive høyde over bakken innenfor en viss omkrets rundt utslippet.

I disse beregningene er effekten av topografien skjønnsmessig vurdert i hvert enkelt av de punktene i modellen hvor konsentrasjonen skal beregnes. Vurderingen av produktet  $k \cdot h_t$  er gjort for en nær nøytral atmosfære og en fysisk skorsteinshøyde på ca 50 m, for et tilfelle med utslipp fra Rønningen i perioden 1971/72 (figur 18).

#### Den vertikale spredningsparameter ( $\sigma_z$ )

Standardavviket i den vertikale konsentrasjonsfordeling, er gitt som en funksjon av avstanden fra utslippet:

$$\sigma_z = a \cdot x^b \quad 3.$$

For de 4 stabilitetsklassene som foreligger i det anvendte meteorologiske grunnlagsmaterialet har en benyttet følgende verdier for konstantene  $a$  og  $b$ :

	a	b
Instabil	0.33	0.86
Nøytral	0.22	0.78
Lett stabil	0.16	0.74
Stabil	0.06	0.71

Disse verdiene av konstantene svarer til spredningsparametrene gitt av Singer og Smith (A1), men modifisert noe for tilpassing til norske forhold. En svært instabil klasse i Singer-Smith's klassifisering er tatt ut og erstattet med en lett stabil spredningsklasse for våre forhold.

Middelvindstyrke (u)

Grunnlaget for vurdering av middelvindstyrken, innen hver spredningsklasse av stabilitet og vindretning er basert på vindstyrkeobservasjoner 10 m over bakken. Middelvindstyrken gis i m/s.

Volumkilde (mange småkilder i området)

For beregning av luftkvalitet som resultat av mange småkilder innenfor de utlagte industriområdene, har en antatt at utslippene fra disse kildene er jevnt fordelt innenfor arealet. Dette er en god antakelse når en på denne måten tar hensyn til den turbulens og gode blanding som oppstår umiddelbart rundt bygningene i et slikt område. Spredningen fra området beregnes som spredningen fra en tilnærmet sylindrisk volumkilde med diameter (B) lik middelbredden av området og høyden (h) lik midlere høyde av kildene i industriområdet.

Konsentrasjonene beregnes i ligning 1. for en "imaginær punktkilde". Avstanden x i ligning 3. erstattes med  $(x + x_z)$

$$\text{der } x_z = (h/(4.3 \cdot a))^{1/b} \quad 4.$$

Avstanden x i ligning 1. erstattes med  $(x + x_y)$

$$\text{der } x_y = B/2 \cdot \sin (\pi/n) \quad 5.$$

Den del av avgassene som ved en gitt vindretning på denne måten faller utenfor en 30°-sektor fra midten av industriarealet legges til nabosektorene. Konsentrasjonsfordelingen fra en volumkilde blir således noe flatere enn fordelingen fra en punktkilde.

BILAG 2

SPREDNINGSFORHOLDENE VED INDUSTRIOMRÅDENE  
(VIND/STABILITETSFORDELINGER)

B.2 SPREDNINGSFORHOLDENE VED INDUSTRIOMRÅDENE  
(VIND/STABILITETSFORDELINGER)

Basert på vind- og stabilitetsdata samt vurderinger presentert i kapitlene 4 og 5, har en i de følgende tabellene presentert frekvensfordelingen av vind og stabilitet fordelt over 12 hovedvindretninger og 4 stabilitetsklasser. Disse frekvensfordelingene danner grunnlaget for beregning av spredningsmønstrene i kapittel 6.

B.2.1 Asdal (Rønningen) 1971 - 1972

Tabell B.2.1 er basert på vindobservasjoner på 10 m høy mast ved Asdal og temperaturdifferensen mellom Lakollen og Asdal i perioden 1.3.71 - 29.2.72.

Stabilitet →	Instabilt		Nøytralt		Lett stabilt		Stabilt		
	Vindretning ↓	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)
	30	1.0	3.9	7.4	4.6	1.5	3.9	0.4	1.9
	60	0.5	4.2	3.0	4.3	0.9	2.7	0.3	1.9
	Ø 90	0.3	3.6	1.0	3.0	1.0	2.8	0.2	2.5
	120	0.2	3.3	1.2	3.7	0.8	3.2	0.3	2.7
	150	0.8	3.2	6.1	3.3	3.4	3.3	1.1	3.2
	S 180	0.9	2.4	4.2	2.2	3.0	2.3	2.2	2.0
	210	0.3	2.8	2.2	2.5	2.3	2.0	2.6	1.3
	240	0.3	2.4	1.5	2.6	2.0	2.0	2.8	1.3
	V 270	0.3	3.9	2.1	2.9	3.5	1.7	5.0	1.3
	300	0.8	3.5	5.1	3.2	5.3	2.4	4.6	1.8
	330	0.7	5.4	3.6	3.0	2.8	3.1	2.4	2.8
	N 360	0.6	5.6	3.5	3.6	1.1	2.4	0.9	1.7

Tabell B.2.1: Vind/stabilitetsfordeling (%) ved Asdal (1.03.71 - 29.02.72).



B.2.2 Asdal (Rønningen), turbulensdata desember 1970 - mai 1971

Tabell B.2.2 er utarbeidet på grunnlag av turbulensdata (vindtrace-bredde) fra vindregistreringene på Asdal (se kapittel 5.3). Stabilitetsklassene er definert ut fra bredden av vindtracen etter følgende inndeling.

Stabilt:            vindtrace bredde mindre enn 30°  
 Lett stabilt:    vindtrace bredde mellom 30 og 60°  
 Nøytralt:        vindtrace bredde mellom 60 og 90°  
 Instabilt:        vindtrace bredde mer enn 90°

De avleste turbulensdata fra perioden 17.12.70 - 31.5.71 er sammenstilt med vinddata fra Asdal i tabell B.2.2.

Stabilitet →	Instabilt		Nøytralt		Lett stabilt		Stabilt		
	Vindretning ↓	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)
30		1.4	4.2	7.9	4.1	4.5	4.0	0.8	4.0
	60	0.6	3.3	2.4	3.8	1.7	3.6	0.2	3.7
Ø 90		0.4	3.2	0.9	3.2	0.5	2.9	0.3	2.8
	120	0.3	2.8	0.7	4.4	0.9	4.2	0.2	2.3
150		2.0	3.1	3.7	2.9	3.0	4.2	1.5	3.4
	S 180	2.4	2.2	5.8	2.5	1.5	1.9	0.8	1.5
210		1.4	2.0	1.8	2.7	1.0	1.7	0.7	0.9
	240	1.2	1.6	1.4	1.7	0.9	1.8	1.2	1.2
V 270		3.5	1.3	3.6	1.9	1.5	1.9	0.9	1.7
	300	3.0	1.4	4.4	1.7	7.1	2.9	1.5	1.9
330		2.2	3.2	3.3	2.5	4.3	3.9	1.6	3.8
	N 360	0.9	2.0	2.3	4.5	2.4	5.8	0.5	2.8

Tabell B.2.2: Vind/stabilitetsfordeling (%) ved Asdal (17.12.70 - 31.05.71) (vindtrace-bredde).

Fordelingen av middelvindstyrkene kan tyde på at anvendelsen av vindtrace-bredden alene som stabilitetsparameter kan være noe uheldig, idet høye vindstyrker ofte er knyttet til vindtrace-bredder mindre enn 60°. Vindstyrken tyder på at atmosfæren sannsynligvis er nøytralt sjiktet i enkelte av disse tilfellene.

B.2.3 Asdal (Rønningen) sommeren 1974

Tabell B.2.3 er basert på vinddata fra Asdal i perioden 25.06. - 31.08.74, samt temperaturdifferensen mellom Lakollen og Knar i samme periode.

Stabilitet → Vindretning ↓	Instabilt		Nøytralt		Lett stabilt		Stabilt	
	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)
30	1.0	1.6	0.7	1.5	0.1	1.0	0.1	-
60	0.9	2.2	0.3	1.9	0.0	-	0.1	5.9
Ø 90	0.5	1.6	1.1	2.4	0.1	2.8	0.0	-
120	1.0	2.9	1.5	2.9	0.4	3.3	0.0	-
150	6.3	3.2	8.2	3.7	1.3	3.4	0.1	1.9
S 180	5.2	2.7	4.1	2.7	0.9	1.7	0.1	0.9
210	5.1	2.9	3.9	1.9	1.9	1.5	0.5	1.3
240	2.6	2.8	3.4	1.5	3.1	1.4	0.9	1.0
V 270	1.9	3.8	4.7	2.4	4.8	1.3	2.2	1.0
300	4.4	3.7	5.3	3.0	5.5	2.0	1.7	1.4
330	5.6	3.1	2.9	2.9	1.9	1.9	0.4	2.6
N 360	1.4	2.0	1.3	1.5	0.6	1.9	0.0	-

Tabell B.2.3: Vind/stabilitetsfordeling (%) ved Asdal, sommeren 1974.

B.2.4 Rafnes sommeren 1974

Tabell B.2.4 er basert på vinddata fra Rafnes og temperaturdata fra Lakollen og Knar i perioden 1.06. - 31.08.74.

Stabilitet →	Instabilt		Nøytralt		Lett stabilt		Stabilt		
	Vindretning ↓	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)
Ø	30	1.6	2.0	1.6	1.7	0.3	0.8	0.0	-
	60	1.8	1.8	1.5	1.4	0.6	1.1	0.0	-
Ø	90	1.7	2.0	3.5	2.0	0.6	1.8	0.2	2.4
	120	3.0	2.6	6.0	3.0	1.3	2.5	0.1	4.6
	150	4.7	2.1	4.9	2.5	1.3	1.8	0.3	2.2
S	180	3.4	2.1	1.3	1.9	0.7	1.3	0.1	0.5
	210	3.7	1.9	2.2	1.9	1.7	0.8	0.2	0.6
	240	1.7	2.3	1.7	1.3	1.5	0.9	0.5	0.6
V	270	4.1	2.9	8.0	2.2	7.4	1.2	4.1	1.1
	300	4.0	2.5	5.0	1.8	5.0	1.4	2.0	1.2
	330	2.9	1.9	1.6	1.5	0.9	1.1	0.1	2.2
N	360	0.9	1.7	0.2	1.8	0.2	1.9	0.0	-

Tabell B.2.4: Vind/stabilitetsfordeling (%) ved Rafnes (1.06. - 31.08.74).

3.2.5 Herøya, "modellår" basert på 1971/72-data

På grunnlag av "røyktransportrosen" i figur 10 (kapittel 4.4), samt stabiliteten gitt ved temperaturdifferensen mellom Lakollen og Knar fordelt over vindretningen registrert på Herøya, og vindstyrkefordelingen på Herøya har en beregnet vind/stabilitetsfordelingen i tabell B.2.5.

Stabilitet →	Instabilt		Nøytralt		Lett stabilt		Stabilt		
	Vindstyrke ↓	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)	Frekvens (%)	Vindstyrke (m/s)
	30	0.3	5.1	4.1	5.0	3.6	3.7	2.0	2.8
	60	0.2	3.0	3.4	3.4	2.4	2.7	1.0	1.6
Ø	90	0.3	4.2	2.0	3.3	1.3	2.6	0.4	1.6
	120	0.2	2.9	3.6	3.1	1.9	2.8	0.3	2.3
	150	0.3	3.6	7.0	3.4	5.0	3.4	0.7	2.5
S	180	0.1	2.6	1.8	3.6	0.9	3.1	0.2	2.4
	210	0.2	4.0	3.6	3.9	1.8	3.1	0.4	1.9
	240	0.3	5.0	3.0	4.2	2.5	3.1	0.2	2.7
V	270	0.3	5.0	1.5	4.4	1.8	3.0	0.2	1.9
	300	1.1	4.1	5.0	4.6	2.3	3.5	0.6	2.3
	330	0.8	6.1	9.5	5.4	7.0	4.0	3.7	3.4
N	360	0.3	5.1	5.0	4.7	4.0	2.8	2.7	2.3

Tabell B.2.5: Vind/stabilitetsfordeling (%) ved Herøya ("modellår", 1971/72).

Frekvensfordelingen danner grunnlaget for en beregning av spredningen av nitrogenoksyder fra Herøya for et modellår.