

DNMI DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

klima

FRIER BRU
EKSTREME VINDFORHOLD

KNUT HARSTVEIT
RAPPORT NR. 34/91



DNMI - RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3
TELEFON : (02) 60 50 90

ISBN

RAPPORT NR.

34/91 KLIMA

DATO

01.10.1991

TITTEL

**FRIER BRU.
EKSTREME VINDFORHOLD.**

UTARBEIDET AV

KNUT HARSTVEIT

OPPDRAKSGIVER

STATENS VEGVESEN - BRUAVDELINGEN
TELEMARK VEGKONTOR

OPPDRAKSNR.

SAMMENDRAG

Data fra Ferder fyr, Langangen fyr samt korttidsstasjonene Langangen og Vealøs er benyttet i en ekstremanalyse av vindforholdene ved Frier bru. Ferder fyr er vurdert som beste referansestasjon. Det er gitt estimater for 10 og 100 års verdier av 10 min. middelvind og 3-5 sek. vindkast, samt turbulensintensitet i vindretningen. Verdiene er gitt for 10m, 50m og 150m's høyde over fjorden ved brua.

UNDERSKRIFT

Knut Harstveit

Knut Harstveit
SAKSBEHANDLER

Bjørn Aune

Bjørn Aune
FAGSJEF

S A M M E N D R A G

Værstasjonene Ferder fyr og Langøytangen fyr, samt vindprosjektstasjonene Vealøs og Langangen er analysert i denne rapporten. Ferder fyr er vurdert som den beste referansestasjonen og danner hovedgrunnlaget for estimeringen.

Den sterkeste vinden blåser langs fjorden med vest til nordvest som den mest utsatte retning.

Estimerte verdier må oppfattes som svakt konservative. Det anbefales målinger i området, særlig på eksisterende Brevik bru og på en 30 m høy mast på et 27 m høyt nes vest for Blekebakken for å gi et sikrere og mer detaljert lastgrunnlag for brua.

Tabellen viser estimerte ekstremverdier av vindhastigheter (m/s) med 10 min. og 3-5 sek. midlingstider ved den planlagte brua. Tabellen inneholder også estimert horisontal turbulensintensitet og er gitt for 3 nivåer i fjorden.

NIVÅ	10-års vind		100-års vind		Turbulens, I
	10 min.	3-5 sek.	10 min.	3-5 sek.	
10 m	21	32	25	38	0.19
50 m	27	38	32	45	0.15
150 m	32	42	38	50	0.13

1. Innledning.

Bakgrunnen for denne rapporten er en forespørsel fra Statens Vegvesen, Vegdirektoratet. Man er der i gang med prosjektering av ny bru over Frierfjorden i forbindelse med omlegging av E-18 over Eidangerhalvøya. E-18 går i dag over fjorden på Breviksbrua, ei hengebru med hovedspenn på 270 m, åpnet i 1961/62.

2. Sted og topografi.

Bruområdet ligger i Grenland, nedre Telemark, nær sørøstkysten av Sør - Norge. Området ligger ca. 15 km innenfor en utjevnet kystlinje. Ytre del av Langesundsfjorden er imidlertid helt åpen mot sør og sørøst og utgjør en innbuktning på kystlinjen. Dersom kystlinjen regnes innenfor denne bukta blir avstanden inn til Frierbrua ca. 10 km.

Grenlandsområdet består av skogkledde åser med typisk høyde over havet lik 100 - 300 m. Åsene er avrundet i formen, bortsett fra et parti fra Langesund og inn mot Porsgrunn. Terrenget stiger nordvestover mot Langfjellenes sørlig del.

Fjordsystemet i Grenland kan beskrives som et 20 km langt og 5 km bredt fjordområde som har lengdeakse NW - SE. Området er imidlertid brutt opp av to skogkledde halvøyer som løper nord-sør, Langesundshalvøya i sør og Eidangerhalvøya i nord. Halvøyene er adskilt ved et smalt sund på 2-300 m. Nåværende Brevik bru krysser sundet på sørøstsiden, mens Frierbrua blir liggende i nordvestre del.

Begge halvøyene består at et sentralt fjellparti på 100 - 150 moh., med tildels stupbratte fjellsider på vestsiden. På nordvestsiden av halvøyene ligger et indre fjordbasseng, Frierfjorden, der Skiensvassdraget munner ut. Bassenget er ca. 10 km langt og 1 til 3 km bredt, lengdeaksen er NNW - SSE. På øst og sørøstsiden av halvøyene ligger et fjordområde med Langesundsfjorden i sør ut mot Skagerrak, Eidangerfjorden i nord og Langangsfjorden i øst. Denne delen av fjordområdet inneholder en del skogkledde øyer og kan ikke defineres som et åpent basseng. Øyene er mer avrundet i formen enn de to ovennevnte halvøyer.

Frierbrua forbinder fjellpartiene Frierflauene i nord (Porsgrunn kommune) og Høgenhei i sør (Bamble kommune). Fjellpartiet nær brufestet på nordsiden og vestover er svært bratt, 45° eller mer.

3. Vindforholdene i området.

3.1 Vind langs fjorden ved brustedet.

Sundet vil være utsatt for vind fra vest til nordvest og sørøst. Vind fra vest til nordvest vil få lokal forsterkning forbi Flauodden, og denne forsterkningsonen vil gjenfinnes på Frierbrua og nåværende Brevik bru. Vind fra sørøst vil også forsterkes i fjorden, men terrengformen gjør at forsterkningen er mindre utpreget enn vind fra vest til nordvest. Ved begge disse vindretningene er det imidlertid skogkledte åser/øyer få kilometer oppstrøms som virker dempende på vinden ved sin store friksjon.

Vind fra øst har passert over deler av Brevik og vil ha relativt stor friksjonsdempning til vind langs fjorden å være.

Siden sørøstlig og vest til nordvestlig vind kan bli omtrent jevnsterke på Ferder fyr (kap. 4) konkluderer vi med at vind fra vest til nordvest vil være sterkest ved brua og bestemme vinddimensjoneringen.

3.2 Vind på tvers av fjordretningen ved brustedet.

Den sterkeste vinden i regionen generelt, kommer fra sør og sørvest. Sørvestvinden vil være særlig sterk utenfor kystlinjen i kanalsoner som er rettet sørvest-nordøst. Vinden vil også bli sterk på frittliggende høyledrag i området.

Brua er skjermet for sørvestlig vind, i noen grad er østsiden av brua unntatt fra dette, her kommer sørvestvinden skrått inn på brua fra nordsiden av Høgenheiområdet. Øvre del av brutårnet vil i større grad være utsatt for sørvest vind.

Sørlig vind trenger inn i en større del av fjordsystemet enn sørvestvinden, feks. er Langangsfjorden utsatt for slik vind. Frierbrua er imidlertid skjermet for denne vindretning.

Brua er godt skjermet for vind fra nord til nordøst. Slik vind vil blåse i øvre del av brutårnet, men vil være svakere enn sørvestlig vind både p.g.a. friksjonen over Eidangerhalvøya og vindfeltets noe svakere karakter.

4. Bruk av data og resultater.

4.1 Data fra Langøytangen, Jomfruland og Ferder fyr.

Jomfruland fyr har ikke vindregistreringsutsyr. All vindobservasjon skjer ved skjønsmessig vurdering av sjøens tilstand. Dette er ikke godt nok som basis for beregninger.

Langøytingen fyr har registreringsutstyr i en 6-års periode fra 1984-1990. Stasjonen ligger innenfor en utjevnet kystlinje og er ikke spesielt godt egnet som referansestasjon. Stasjonen vurderes imidlertid likevel pga. den nære avstand til brustedet.

Ferder fyr ligger utsatt til for alle vindretninger og egner seg meget godt som referansestasjon for en lokal stasjon med vindmåler. Stasjonen har imidlertid en noe stor avstand til Frierområdet.

Tabell 1.

Middel av de 10 høyeste vindhastighetsobservasjoner (m/s) i 7 sektorgrupper på Ferder og Langøytingen fyr i perioden 1.1.85 - 30.09.90. I siste kolonne er midlere overføringsverdier fra Ferder til Langøytingen gitt.

Sektor	Ferder	Langøytingen	Ferder/Langøytingen
010-070	21.2	13.5	0.64
080-110	17.2	12.0	0.70
120-150	19.0	15.8	0.83
160-210	22.3	18.7	0.84
220-250	23.7	19.0	0.80
260-310	19.3	12.6	0.65
320-360	20.0	16.1	0.81

Tabell 1 er framkommet ved å plukke ut de 10 høyeste registrerte Beaufort-verdier av 10 min. middelvind innenfor perioder på 6 timer. Disse er midlet og omregnet til m/s. Tabellverdiene har større usikkerheter enn tabell 1 indikerer. Hovedinntrykkene på 10-15 % reduksjon fra Ferder fyr til Langøytingen fyr for sørøst, sør og sørvest, samt nordnordvest vind, og 30 - 40 % reduksjon ved nordøst og øst samt vest til nordvest vind synes imidlertid å være fastlagt.

Tabell 1 viser at Langøytingen fyr er en del skjermet i sektor vest til nordvest (270-310°), dvs. i den mest interessante sektor for vurdering av vinden på Frierbrua. Forholdet mellom vindhastigheten i sektor 260-310° og sektor 320-360° på Langøytingen er det motsatte av det som kan regnes ved Frierbrua. Dette gjør Langøytingen fyr lite egnet som referansestasjon. Men det er verd å merke seg at Langøytingen fyr har en overføringskoeffisient fra Ferder fyr på 0.81 for nordnordvestlig vind, dvs. vind ut fra Eidangerfjorden - Langesundsfjorden.

Terrengstudier (Fig. 1) viser at vind fra Eidangerfjorden som føres langs østsida av Langesundshalvøya kommer inn på Langøytingen fyr som en relativt sterk vind i sektor nordnordvest. Vind i sektor vest til nordvest (260-310°) har derimot i større grad blitt dempet av terrenget i Bamble og ytre Langesund. Det er dessuten inhomogeniteter oppstrøms slik at små dreininger i vindfeltet får utslag på stasjonen.

Vi bruker derfor Ferder fyr som referansestasjon. Det er beregnet 100 års ekstremverdier fra Ferder utfra en dataserie på 32 år ved hjelp av Gumbel's ekstremverdifordelingsstatistikk (1). Verdiene er N:28 m/s, NØ:25 m/s, Ø:24 m/s, SØ:27 m/s, S: 33 m/s, SV: 35 m/s, V:27 m/s, NV:26 m/s, Vilkårilig:38 m/s. Målehøyde tilsvarer 10 m over fritt hav.

Dersom vi benytter felles-sektoren V + NV, får vi 28 m/s som 100-års verdi 10 m over fritt hav. Over fritt hav defineres vanligvis høydeøkningen av 10 min. middelvind ved eksponentformelen (se appendiks, lign.A.2) med n-eksponent 0.13 for ekstremt sterk vind. Dette gir en 100-års verdi på 34 m/s av 10 min. middelvind i 50 m's høyde.

Det er nå tre effekter som kan endre dette tallet for Frierbrua, 50 m over fjordflaten.

- 1) Vest og nordvestlig vindfelt er ventelig noe sterkere vest for Ferder fyr slik at en skal være forsiktig med overføringer uten måleverdier.
- 2) Friksjonseffekter vil dempe vinden innenfor kystlinjen.
- 3) Forsterkningseffekter rundt Flauodden vil lokalt øke vindhastigheten.

Det er vanlig at vindhastigheten ved den mest utsatte vindretning i en fjord er dempet til 60 - 90% av vinden utenfor kystlinjen. Frierfjordens korte strømningsbane for vind tilsier høy demping, men forsterkningseffekten rundt Flauodden motvirker denne. Dette betyr at vinden i 10 m's høyde over fjorden trolig ligger på ca. 80 % av vinden på kysten. Ved sammenligning med Ferder må vi ta i betraktning en viss økning i vesavindsfeltet vest for Ferder. Derved blir overføringskoeffisienten liggende i området 0.80 - 0.90, hvilket gir 22 - 25 m/s som 100-års verdi i 10 m's høyde. Omregnet til 50 m's høyde brukes eksponentformelen (A.2) med $n=0.15$, hvilket gir 28 - 32 m/s i 50 m's nivå. 32 m/s anbefales benyttet dersom en ikke, ved målinger på stedet, kan dokumentere annet.

4.2 Øvrige aktuelle vindstasjoner.

På Vealøs FM/TV-sender har det vært i drift en vindmåler i en periode i 1989/90 (2). Vinteren var stormfull og resultatene bygger derfor på et relativt stort materiale. Måleren var plassert i toppen av TV-masten, 150 m over Vealøstoppen. Dessuten ble det målt 10 og 30 m over toppen, i en gittermast. Vealøs ligger 500 moh.

Beregninger av 100-års vind med Ferder som referansestasjon gav 38 m/s for sørlig vind, 35 m/s for sørvest vind og 35 m/s for vest til nordvestvind. For ikke-retningsdefinert vind er verdien 40 m/s. Disse verdiene er nokså lik Ferder-verdiene, men vestlig til nordvestlig vind er noe sterkere. Dette er i overenstemmelse

med antagelsen om at vestlig til nordvestlig vind øker i styrke vest for Ferder, (for eksponerte steder) men skyldes også høydeforskjellen. Utsatte steder i indre Telemark er for øvrig kjent for nedslag av sterk vind fra vest til nordvest (Tveitsund, Vestfjorddalen).

Sørlig vind er sterkere på Vealøs fordi den blåser i stor høyde over lokalt terreng inn mot masta, mens sørvestlig vind blåser over et skogdekket område på Vealøs og over hav på Ferder, slik at økt friksjon oppveier høydeforskjellen.

Effekten av friksjonsdempning kommer tydelig fram når vi ser på resultatene i 10 og 30 m's høyde. For fellessektoren V + NV får vi som 100 årsverdi 23 m/s i 10 m's høyde og 25 m/s i 30 m's høyde.

Disse resultatene indikerer at antatt 100 - årsverdi for vest + nordvestvind ved brua (50 m over fjorden) på 28 - 32 m/s kan være et fornuftig estimat.

4.3 Data fra Langangsbrua.

En har fått oversendt data fra en vindstasjon montert under planleggingsfasen av Langangsbruene, to fritt-fram bruer som er bygget der E-18 krysser Langangen. Disse data er sammenlignet med data fra Ferder fyr og viser at vindhastigheten på målestasjonen var 60 - 65 % av vindhastigheten på Ferder fyr under episoder med sterk sørlig og sørsørvestlig vind. Stedet var mindre utsatt for andre vindretninger. Målestasjonen var en Aanderaastasjon montert på kote 120 og mastehøyden var 10 m. 100-års verdien av 10 min. middelvind på Ferder fyr ved sør til sørsørvestlig vind er tidligere beregnet til 37 m/s, slik at 100 års vinden på målestasjonen i Langangen blir $37 \times 0.63 = 23$ m/s. Vindkast ble ikke registrert.

S-SSV må regnes som vinddimensjonerende retning både på målestedet og ute på Langangsbruene. Det er imidlertid grunn til å tro at vindhastigheten ute på bruene ligger høyere enn målingene tilsier fordi 10 m er for liten målehøyde i slikt terreng. Målinger på skogløse koller i skogsterreng (Hurum, Vealøs) antyder 10 - 20% høyere hastighet 30 m over kollen enn tilfelle er i 10 m's høyde. Bruene krysser smale dalfører i 50 m's høyde og vindhastigheten der ligger nok nærmere 30 m's verdiene på kollene ved brua, dvs. at 100-års vinden ligger i området 25 - 28 m/s.

Data fra Langangen er som det går fram av ovennevnte reson- nementer ikke overførbare til Breviksbrua. Men vi har fått en indikasjon på at vi snakker om samme "vindverden".

4.4. Sammenligning med Varoddbrua.

Vi kan anta at 100 - års vinden ligger i området 28 - 32 m/s, med 32 m/s som en anbefalt, trolig svakt konservativ verdi. Dette er

et noe snillere vindklima som er estimert for Varoddbrua (3) (100-års verdi på 33 m/s som 50-års vind i 30 m's nivå).

Selve fjorden ved Varoddbrua ligger mer eksponert til med direkte innstrømningsbane fra havet utenfor. Men fjorden har likevel en del likhetstrekk med Breviksundet. Dette gjør det naturlig å benytte samme vindprofiler, turbulensintensiteter og kastfaktorer for de to broene så lenge ikke annet er målt.

Med referanse til Varoddbrua og bruk av ligningene i Appendiks, kan da kastfaktoren i 10 m's nivå settes til 1.50 og turbulensintensiteten i samme nivå til 0.19. VindprofilekspONENTEN, n kan videre settes til 0.15. Derved oppnås 25 m/s som 10 min. middelvind i 10 m's nivå og tilsvarende vindkast 38 m/s. I 50 m's nivå fås vindkast på 45 m/s og turbulensintensitet, $I=0.15$. I 150 m's nivå blir tilsvarende verdier 38 m/s (10 min middelvind), 50 m/s (3-5s. vindkast) og 13 % (I). Disse verdier kan også benyttes for vind inn mot brutårnet i 150 m's høyde langs brua fra sør, men vil da være noe konservative. Igjen blir kravet om målinger sentralt pga. stor usikkerhet i anslagene.

Tabell 2.

Tabellen viser estimerte ekstremverdier av vindhastigheter (m/s) med 10 min. og 3-5 sek. midlingstider ved planlagt Frier bru. Tabellen inneholder også estimert horisontal turbulensintensitet og er gitt for 3 nivåer i fjorden.

NIVÅ	10-års vind		100-års vind		Turbulens, I
	10 min.	3-5 sek.	10 min.	3-5 sek.	
10 m	21	32	25	38	0.19
50 m	27	38	32	45	0.15
150 m	32	42	38	50	0.13

5. Referanseliste

1. Vindmåleprogram - Skien FM/TV kringkaster - Vealøs. Oppdragsrapport for televerket. DNMI KLIMA 47/86, pp. 1-9+vedlegg.
2. Vealøs. Vindmålinger 1989/90. Oppdragsrapport for televerket. DNMI KLIMA xx/91. Under trykking.
3. Varoddbrua. Ekstreme vindforhold. Oppdragsrapport for Statens vegvesen. DNMI KLIMA 13/90 pp. 1-5.
4. Askøy bro. Vindmålinger på Storebuneset 01.12.87 - 29.02.88. Oppdragsrapport for Statens vegvesen. DNMI KLIMA 12/88 pp. 1-18 + vedlegg.
5. Hardangerbrua. Vindmålinger 11.11.88 - 01.09.90. Oppdragsrapport for Statens vegvesen. DNMI KLIMA 31/90 pp. 1-53.

APPENDIKS

Turbulensintensitet.

Ved antagelse om normalfordelte gustverdier er høyeste gustavvik med varighet t , fra middelverdien, proporsjonalt med standardavviket, $\sigma(U)$ av momentanverdiene:

$$U_{\max}(t) - U(10\text{min}) = k(t) \cdot \sigma(u) \quad (\text{lign.A.1}).$$

Ved divisjon av begge sider med 10 min. middelvind, og innføring av gustfaktor som $U_{\max}(t)/U(10\text{min})$, får vi følgende sammenheng mellom turbulensintensitet (standardavvik dividert på middelvinden) og gustfaktor:

$$G(t) = 1 + k(t) \cdot I \quad (\text{lign.A.2}).$$

Ut fra undersøkelser vedr. Askøybra (4) og Hardangerbrua (5) er en kommet fram til at $k(3-5\text{sek.}) \approx 2.6$ når I er horisontal turbulensintensitet på langs av vindretningen.

For 1 min. kastfaktor er $k(1\text{min}) \approx 1.15$ en typisk verdi.

Profiler.

Ved horisontalt homogene forhold, dette gjelder over en fjordflate ved vind langs fjordens retning, kan vi beskrive høydevariasjonen av middelvind, turbulensintensitet og kastfaktor ved en eksponensiell ligning:

$$U_2(10\text{min})/U_1(10\text{min}) = G_1/G_2 = I_1/I_2 = (Z_2/Z_1)^n \quad (\text{lign.3}).$$

Ligningene gjelder to nivåer 1, og 2. n er en eksponent som øker med ruheten, eller med turbulensen. Ved fjordforhold kan vi anta 0.15 som en rimelig eksponent. Den ligger noe høyere enn ute på havet (0.11). Dette gir verdier av vindparameterne i 50 og 150 m's nivå når vi kjenner verdiene i 10 meters nivå.

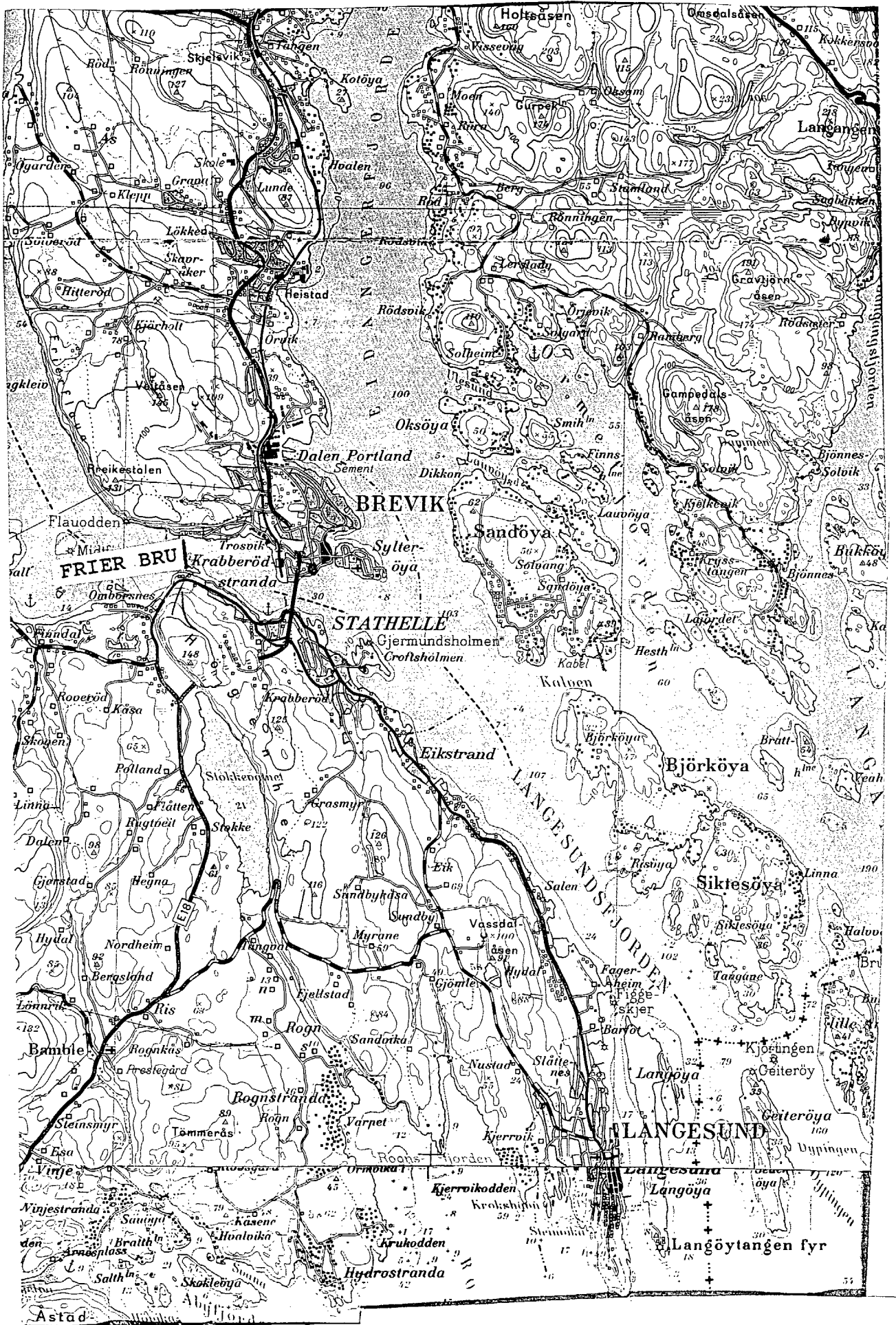


Fig. 1. Lokalkart over området.

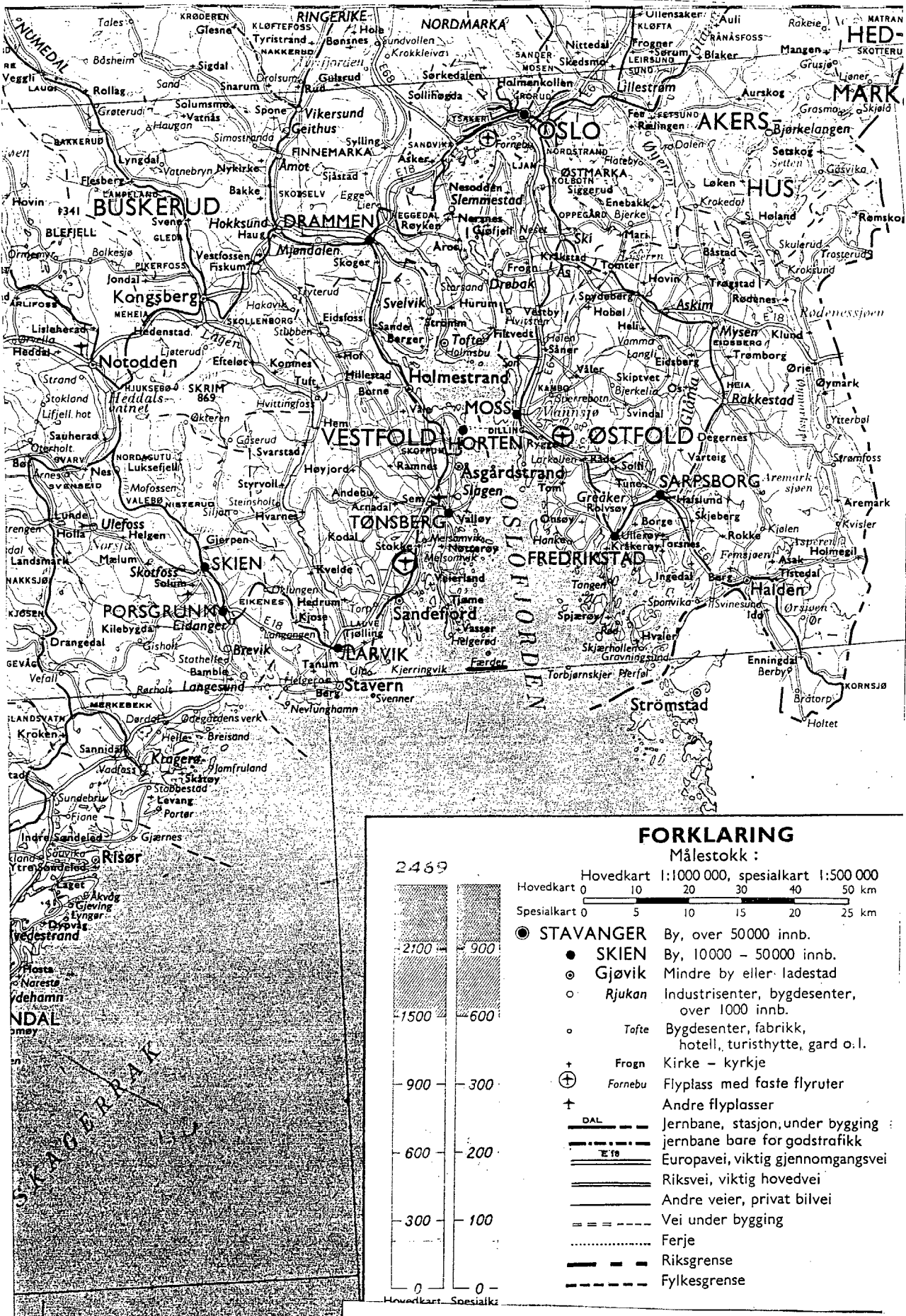


Fig. 2. Oversiktskart over området.