

# Store ulykker i transport: Hyppighet, utviklingstrekk, forebyggings- muligheter

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

---

**Tittel:** Store ulykker i transport. Hyppighet, utviklingstrekk, forebyggingsmuligheter.

**Forfatter(e):** Rune Elvik; Sverre Fjeld Olsen

TØI rapport 748/2004  
Oslo, 2004-12  
46 sider  
ISBN 82-480-0460-0  
ISSN 0802-0175

**Finansieringskilde:**

Norges forskningsråd

**Prosjekt:** 2908 Store ulykker i transport

**Prosjektleder:** Rune Elvik

**Kvalitetsansvarlig:** Marika Kolbenstvedt

**Emneord:**

Transport; Sikkerhet; Store ulykker;  
Utviklingstrekk; Forebygging

**Sammendrag:**

Rapporten presenterer oppdaterte anslag på det langsiktige, forventede antall store ulykker i transport i Norge. Med store ulykker menes ulykker med minst 5 drepte. Det anslås at man kan forvente 1,8 slike ulykker per år. Mulighetene for å forebygge store ulykker drøftes. Store ulykker kan ikke regnes som vanskeligere å forebygge enn små ulykker. Teknikker for avveining mellom forebygging av

**Title:** Major accidents in transport: frequency, long-term trends and preventability

**Author(s):** Rune Elvik; Sverre Fjeld Olsen

TØI report 748/2004  
Oslo: 2004-12  
46 pages  
ISBN 82-480-0460-0  
ISSN 0802-0175

**Financed by:**

Norwegian Research Council

**Project:** 2908 Major accidents in transport

**Project manager:** Rune Elvik

**Quality manager:** Marika Kolbenstvedt

**Key words:**

Transport; Safety; Major accidents; Long-term trends; Prevention

**Summary:**

The report presents updated estimates of the long-term expected number of major accidents in transport in Norway. A major accident is defined as any accident in which at least 5 people are killed. It is estimated that 1.8 major transport accidents can be expected to occur in Norway each year. The preventability of major accidents is discussed. There is no reason to believe that major accidents are more difficult to prevent than small accidents. Techniques for making tradeoff between the prevention of small accidents and the prevention of major accidents are discussed.

**Language of report:** Norwegian

---

Rapporten kan bestilles fra:  
Transportøkonomisk institutt,  
Postboks 6110 Etterstad, 0602 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - Telefax 22 57  
Pris kr 150

---

The report can be ordered from:  
Institute of Transport Economics, the  
PO Box 6110 Etterstad, N-0602 Oslo,  
Telephone +47 22 57 38 00 Telefax +47 22 57  
Price NOK 150

---

# Forord

Transportsektoren er den sektor i Norge der det skjer flest store ulykker, definert som ulykker der minst 5 mennesker omkommer. I perioden 1970-2001 skjedde det i gjennomsnitt nesten 2 store ulykker i transport hvert år i Norge.

Prosjektet ”Store ulykker i transport: forekomst, læring og forebygging” er ett av prosjektene under Norges forskningsråds program RISIT (Risiko og sikkerhet i transport). Prosjektet utføres i samarbeid mellom Transportøkonomisk institutt og SINTEF, teknologi og samfunn, avdeling sikkerhet og pålitelighet. SINTEF har utgitt to rapporter som dokumenterer deres bidrag til prosjektet. Denne rapporten er en oppsummeringsrapport for hele prosjektet.

Prosjektleder ved Transportøkonomisk institutt har vært Rune Elvik. Sverre Fjeld Olsen har vært knyttet til prosjektet. Ved SINTEF har Erik Jersin og Guro Rausand arbeidet med prosjektet. Kontaktperson i Forskningsrådet har vært Halvdan Buflod.

Avdelingsleder Marika Kolbenstvedt har vært ansvarlig for kvalitetssikring av rapporten. Avdelingssekretær Trude Rømning har utført tekstredigering av rapporten og tilrettelagt den for trykking.

Oslo, desember 2004  
Transportøkonomisk institutt

*Sønneve Ølnes*  
Konstituert instituttsjef

*Marika Kolbenstvedt*  
Avdelingsleder

# Innhold

## Sammendrag

### Summary

<b>1 Bakgrunn og problemstillinger .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Store ulykker i transport i Norge .....</b>	<b>2</b>
2.1 Historisk statistikk for perioden 1970-2001 .....	2
2.2 Store ulykker i transport i Norge opptrer tilfeldig .....	4
2.3 Foreløpige konklusjoner basert på norsk statistikk .....	7
<b>3 Store ulykker i transport internasjonalt.....</b>	<b>8</b>
3.1 Kilder til data om store ulykker i transport internasjonalt.....	8
3.2 Store ulykker i transport – globalt og i Europa.....	8
3.2.1 Store ulykker i luftfart i Europa 1991-2003 .....	9
3.2.2 Store ulykker i sjøfart i Europa 1991-2003 .....	11
3.2.3 Store ulykker i jernbanetransport i Europa 1991-2003 .....	12
3.3 Store ulykker i transport – erfaringstall fra Storbritannia.....	14
3.4 Bruk av utenlandske erfaringer til å anslå hyppigheten av store ulykker i Norge .....	15
3.4.1 Vegtrafikk.....	16
3.4.2 Luftfart .....	18
3.4.3 Sjøfart.....	19
3.4.4 Jernbane.....	20
3.4.5 Sammenstilling av beregninger .....	21
<b>4 Forebygging av store ulykker .....</b>	<b>22</b>
4.1 Når ender uønskede hendelser som store ulykker?.....	22
4.2 Fire hendelser i Norge.....	23
4.3 Muligheter for å forebygge store ulykker .....	25
<b>5 Analyse og prediksjon i statistikkens grenseland .....</b>	<b>28</b>
5.1 Usikkerhet i forventet antall store ulykker per år .....	28
5.2 Sannsynlighetsfordelinger for store ulykker.....	29
5.3 Oppdatering av anslag på hyppighet av store ulykker.....	30
<b>6 Drøfting og konklusjoner .....</b>	<b>32</b>
6.1 Bidraget fra store ulykker til samlet risiko .....	32
6.1.1 Vegtrafikk: De store ulykkene drukner i mengden av de små .....	32
6.1.2 Luftfart: Flest små ulykker, men en høy andel omkomne i store ulykker.....	33
6.1.3 Sjøfart: Både små og store ulykker bidrar til risikoen.....	34
6.1.4 Jernbane: Flest små ulykker, store ulykker er sjeldne .....	34
6.1.5 Ulik risikoprofil i ulike transportgrener .....	36
6.2 Beslutningsteoretiske og samfunnsøkonomiske perspektiver på katastroferisiko.....	36
6.2.1 Mål som ikke lar seg forene: beslutningsteoretisk analyse .....	36
6.2.2 En multiattributiv nyttefunksjon for ulykkesforebygging .....	39
6.2.3 Samfunnsøkonomiske perspektiver.....	41
6.3 Konklusjoner.....	43
<b>7 Referanser.....</b>	<b>45</b>

**Sammendrag:**

# **Store ulykker i transport: hyppighet, utviklingstrekk, forebyggingsmuligheter**

Denne rapporten presenterer anslag for den langsiktige hyppigheten av store ulykker under transport i Norge. Rapporten er laget som ledd i forskningsprogrammet RISIT (Risiko og sikkerhet i transport) i regi av Norges forskningsråd.

## **Store ulykker i transport i Norge 1970-2001**

I en rapport utgitt av SINTEF (Jersin 2003) er det gitt en oversikt over store ulykker under transport i Norge fra 1970 til 2001 (32 år). Med store ulykker menes ulykker der minst 5 mennesker er omkommet. Det er registrert 63 slike ulykker i Norge mellom 1970 og 2001. Det tilsvarer en årlig hyppighet på nesten 2 store ulykker. Det største antallet store ulykker har skjedd i sjøfart (25), fulgt av luftfart (21), vegtrafikk (13) og jernbane (4).

Ved å undersøke hvordan de store ulykkene fordeler seg over år, kan man fastslå at de inntreffer helt tilfeldig. Det er ikke mulig å peke ut ett enkelt år i perioden 1970-2001 da store ulykker var mer sannsynlige enn andre år. Det kan heller ikke påvises noen tendens til at antallet store ulykker øker eller avtar over tid. Det gjennomsnittlige antallet omkomne i hver storulykke viser ingen tendens til å endre seg over tid. Man må likevel ikke glemme at de norske dataene er begrensede, slik at de ikke er mulig å utføre særlig avanserte statistiske analyser på grunnlag av dem.

## **Europeiske erfaringer 1991-2003 og britiske erfaringer 1967-2003**

For å oppnå et bedre grunnlag for å anslå den langsiktige forventede hyppigheten av store ulykker under transport i Norge, er data om store ulykker i Europa i perioden 1991-2003 og Storbritannia i perioden 1967-2003 benyttet. Begge disse datasettene tyder på at antallet store ulykker viser en tendens til å synke over tid. Begge datasett gir også grunnlag for å estimere såkalte FN-kurver. Dette er kurver der man plotter antallet store ulykker ( $F$  = frekvens) med  $N$  eller flere drepte per tidsenhet mot antallet omkomne per ulykke ( $N$  = antall). Slike kurver tegnes som regel med logaritmisk skala og viser vanligvis en fallende tendens. Jo brattere kurven faller, desto sjeldnere er ulykker med minst  $N$  drepte.

De europeiske og britiske dataene ble kombinert med norske data for å anslå den langsiktige hyppigheten av store ulykker under transport i Norge.

## Langsiktig forventet hyppighet av store ulykker under transport i Norge

Tabell S.1 viser beregnet langsiktig hyppighet av store ulykker under transport i Norge, angitt som forventet antall ulykker per år. Usikkerhet i forventet antall ulykker per år er anslått ved å anta at ulykkene er Poissonfordelt og at forventningen er konstant.

Tabell S1: Langsiktig forventet hyppighet av store ulykker under transport i Norge etter transportmåte og etter antall drepte pr ulykke

Drepte per ulykke	Forventet årlig antall ulykker med N eller flere drepte – 95% konfidensintervall i parentes under hvert tall				
	Veg	Luft	Sjø	Jernbane	Alle
5 eller flere	0,50 (0,29 – 0,86)	0,50 (0,33 – 0,76)	0,70 (0,48 – 1,03)	0,10 (0,04 – 0,26)	1,800 (1,408 – 2,303)
11 eller flere	0,05 (0,01 – 0,28)	0,20 (0,10 – 0,39)	0,15 (0,07 – 0,35)	0,05 (0,02 – 0,18)	0,450 (0,279 – 0,731)
21 eller flere	0,002 (0,000 – 0,184)	0,10 (0,04 – 0,26)	0,10 (0,02 – 0,56)	0,025 (0,006 – 0,139)	0,227 (0,106 – 0,494)
51 eller flere	0,000 (undefinert)	0,05 (0,02 – 0,18)	0,05 (0,01 – 0,28)	0,005 (0,000 – 0,092)	0,105 (0,038 – 0,307)
101 eller flere	0,000 (undefinert)	0,025 (0,006 – 0,139)	0,025 (0,006 – 0,139)	0,000 (undefinert)	0,050 (0,015 – 0,181)

Kilde: TØI rapport 748/2004

Man kan se at usikkerheten i de beregnede hyppighetene er betydelig, spesielt når det gjelder hyppigheten av ulykker med mer 50 eller mer 100 drepte.

## Muligheter til å forebygge store ulykker

Mulighetene for å forebygge store ulykker under transport er vurdert ved å ta utgangspunkt i tre typer studier:

1. En studie av fire uønskede hendelser i Norge – to som endte som store ulykker og to som ikke gjorde det.
2. En gjennomgang av studier som har analysert mulighetene for å bedre sikkerheten i ulike transportgrener.
3. En studie av den langsiktige utviklingen av sikkerheten i ulike transportgrener i Norge.

Hvert år inntreffer det et stort antall uønskede hendelser under transport i Norge. Noen av disse ender som store ulykker; andre blir avbrutt før ulykken er et faktum. Ved å benytte en modell av ulykker som et resultat av svikt i sikkerhetsbarrierer, ble fire hendelser i Norge analysert. I to av de fire tilfellene fungerte sikkerhetsbarrierene i det minste såpass godt at en stor ulykke ble avverget, i to av tilfellene fungerte ikke barrierene. Man kan imidlertid lett tenke seg tiltak som vil gjøre sikkerhetsbarrierene mer effektive, og dermed høyest sannsynlig kunne ha forhindre de ulykkene der disse sviktet.

En gjennomgang av studier der mulighetene for å bedre sikkerheten i ulike transportgrener er vurdert, viser at det finnes mange sikkerhetstiltak som kan gjøre ulykker mindre sannsynlige eller mindre alvorlige. Det er ingen grunn til å tro at tiltak som forhindrer ulykker i sin alminnelighet ikke også forebygger de store ulykkene.

For alle transportgrener, viser norsk statistikk der alle dødsulykker inngår, ikke bare de store, en tendens til at ulykkestallet synker over tid. Denne tendensen kan ikke anslås særlig presist i luftfart og sjøfart, der en høy andel av de omkomne omkommer i store ulykker, og der en enkelt stor ulykke følgelig kan påvirke den langsiktige trenden i betydelig grad. Det er likevel rimelig å anta at en generell tendens i retning av færre ulykker også betyr at det blir færre store ulykker.

## **Mål og prioritering av tiltak for å forebygge store ulykker**

Det er gjort en analyse med sikte på å bedømme om et mål om å forebygge store ulykker lar seg forene med andre mål om å bedre sikkerheten, og med sikte på å bedømme om en særskilt prioritering av tiltak mot store ulykker kan begrunnes rasjonelt.

Mål om å bedre sikkerheten i en transportgren kan omfatte (men er ikke nødvendigvis begrenset til):

1. Å redusere det totale antallet drepte mest mulig,
2. Å redusere forskjeller i risiko,
3. Å forebygge store ulykker (ulykker med mange drepte).

Disse tre målene kan i prinsippet veies mot hverandre ved hjelp av en multiattributiv nyttefunksjon.

I kjølvannet av store ulykker fremmes det ofte sterke krav om bedre sikkerhet. Store ulykker har en tendens til å bli oppfattet som et tegn på at sikkerheten er drastisk forverret. Slike reaksjoner er i sin alminnelighet ikke riktige og må karakteriseres som et tegn på manglende rasjonalitet i folks risikooppfatninger. Det er tvilsomt om det kan gis en etisk begrunnelse for at det riktige å forebygge en stor ulykke enn mange små med det samme antall drepte.

**Summary:**

# **Major accidents in transport: frequency, long-term trends and preventability**

This report presents estimates of the expected long-term frequency of major accidents in transport in Norway. It has been prepared as part of the RISIT research programme of the Research Council of Norway (RISIT = Risk and safety in transport).

## **Historical data for Norway 1970-2001**

Data have been collected on the occurrence of major accidents in transport in Norway from 1970 to 2001 (32 years). Major accidents are defined as accidents in which at least five people are killed. There were 63 major accidents in transport in Norway between 1970 and 2001, giving an annual frequency of close to 2 per year. The largest number of major accidents occurred in maritime transport (25), followed by aviation (21), road transport (13) and rail transport (4).

By examining the distribution of major accidents by year for each transport mode, it can be determined that the accidents occur completely at random. There is no evidence that major accidents were more likely to occur in any specific year during the period 1970-2001 than in other years, nor can any long-term trend in the frequency of major accidents be discerned. Furthermore, there is no evidence that the mean number of victims per accident has changed over time. It should be recognised, however, that the Norwegian historical data are too sparse to serve as the basis for any advanced statistical analyses.

## **European experience 1991-2003 and British experience 1967-2003**

To provide a better basis for estimating the long term frequency of major accidents in transport in Norway than that provided by Norwegian data alone, use was made of data found in other reports regarding major accidents in transport in Europe from 1991 to 2003 and in Great Britain between 1967 and 2003. Both the European and British data sets indicated that the number of major accidents is declining. Both data sets allowed the estimation of FN-curves for all modes of transport. An FN-curve is a curve fitted to a diagram that plots the frequency of accidents (denoted F) with at least N fatalities against the number of fatalities per accident (denoted N). These curves are usually plotted on logarithmic scales and



tend to slope downwards. The steeper the slope, the more rare are accidents with at least N fatalities.

The European and British data were combined with Norwegian data in order to estimate the long-term frequency of major accidents in transport in Norway.

## The long-term frequency of major accidents in Norway

Table S.1 shows the estimated long-term frequency of major accidents in Norway and the uncertainty of these estimates. Uncertainty was estimated by assuming that the occurrence of accidents follows the Poisson probability law, and that the expected long-term frequency will remain constant.

*Table S1: Estimated long-term frequency of major accidents in Norway and 95% confidence intervals for the estimates*

Fatalities/accident	Expected annual number of accidents with at least 5 fatalities – 95% confidence intervals in parentheses				
	Road	Air	Sea	Rail	All
5 or more	0.50 (0.29 – 0.86)	0.50 (0.33 – 0.76)	0.70 (0.48 – 1.03)	0.10 (0.04 – 0.26)	1.800 (1.408 – 2.303)
11 or more	0.05 (0.01 – 0.28)	0.20 (0.10 – 0.39)	0.15 (0.07 – 0.35)	0.05 (0.02 – 0.18)	0.450 (0.279 – 0.731)
21 or more	0.002 (0.000 – 0.184)	0.10 (0.04 – 0.26)	0.10 (0.02 – 0.56)	0.025 (0.006 – 0.139)	0.227 (0.106 – 0.494)
51 or more	0.000 (not defined)	0.05 (0.02 – 0.18)	0.05 (0.01 – 0.28)	0.005 (0.000 – 0.092)	0.105 (0.038 – 0.307)
101 or more	0.000 (not defined)	0.025 (0.006 – 0.139)	0.025 (0.006 – 0.139)	0.000 (not defined)	0.050 (0.015 – 0.181)

It can be seen that the estimates are highly uncertain, in particular with respect to the frequency of the largest accidents, involving more than 50 or more than 100 fatalities.

## The preventability of major accidents

The preventability of major accidents was assessed by reference to three sets of data or studies:

1. A study of four cases in Norway – two of which ended as major accidents, to of which did not end as major accidents.
2. A review of studies that have assessed the preventability of transport accidents.
3. An examination of long-term trends in safety in each transport mode.

Each year, there are many unwanted events in transport. Some of these unwanted events result in major accidents; other events go more or less unnoticed by the public, because they do not result in accidents. By applying a model of accident occurrence as a failure of safety barriers, four cases in Norway were analysed. It was concluded that the safety barriers were adequate to prevent major accidents in

two cases, insufficient in the other two cases. One can, however, easily imagine measures that would have made the safety barriers effective in the two major accidents, and thus most likely have prevented these.

Studies that have surveyed measures to improve safety in various transport modes all conclude that a number of safety measures can be taken that may greatly improve safety. In general, it is reasonable to think that measures that make any accident less likely, or reduce its harmful impacts, will also reduce the likelihood of major accidents.

In Norway, a long-term trend towards fewer accidents can be detected in all transport modes. This trend cannot be very precisely estimated in aviation and maritime transport; in both these modes of transport major accidents make a major contribution to the total number of accident fatalities. There are, however, no reasons to believe that a favourable trend applying to accidents in general should not apply to major accidents as well.

## **Targets and priority setting for the prevention of major accidents**

An analysis is made to determine whether a policy objective of preventing major accidents can be rationally pursued along with other objectives for improving safety, and whether assigning a higher priority to the prevention of major accidents than to the prevention of smaller accidents can be rationally justified.

Objectives for a policy designed to improve transport safety may include (but not necessarily be limited to):

1. Seeking the maximum reduction of the total number of fatalities,
2. Trying to reduce disparities in fatality risk,
3. Preventing disasters (accidents with multiple fatalities)

In principle, these objectives can be traded off against each other by means of multiattributive utility analysis.

Demand for the prevention of major accidents is always strong in the wake of a disaster. Major accidents are widely interpreted as signs of a drastic deterioration of safety. Such an interpretation is generally not justified, and the panics following major accidents reflect a lack of rational risk assessment in the public. There does not seem to be any ethically defensible basis for giving higher priority to measures designed to prevent major accidents than to measures designed to prevent an equivalent number of fatalities in minor accidents.

# 1 Bakgrunn og problemstillinger

Norges forskningsråds program "Risiko og sikkerhet i transport" (RISIT) tar sikte på å belyse transportsikkerhet i et vidt perspektiv. Ett av prosjektene i programmet har tittelen: "Store ulykker i transport: forekomst, læring og forebyggingsmuligheter". Dette prosjektets formål er å studere hvor ofte det forekommer store ulykker i transport, hva man kan lære av slike ulykker og hvordan de kan forebygges. Hovedproblemstillingene i prosjektet er:

- Hvor ofte kan store ulykker i transport (ulykker med minst 5 drepte) forventes å forekomme i Norge? Gir norske historiske erfaringer et godt nok grunnlag for å anslå den forventede hyppigheten av store ulykker?
- Kan man si noe om endringer over tid i hyppigheten av store ulykker i transport? Forekommer store ulykker oftere nå enn tidligere, eller er de blitt sjeldnere?
- Kan internasjonale erfaringer når det gjelder store ulykker i transport overføres til Norge? Kan utenlandske tall "skaleres ned" for å gi anslag på hyppigheten av store ulykker i transport i Norge?
- Hvilke faktorer har betydning for om uønskede hendelser i transport utvikler seg til store ulykker eller ikke? Når ender en uønsket hendelse uten alvorlige konsekvenser, når ender den som en stor ulykke?
- Kan store ulykker i transport forebygges? Kan omfanget av konsekvensene ved store ulykker reduseres? Hva kan vi lære av å granske uønskede hendelser og store ulykker med sikte på å forebygge dem?
- Er det mulig å begrunne en sterkere prioritering av det å forebygge store ulykker enn det å forebygge et større antall mindre ulykker med det samme totale antallet drepte? Er katastrofeaversjon rasjonelt?

Denne rapporten oppsummerer de viktigste resultater fra prosjektet. I tillegg til denne rapporten foreligger to rapporter på prosjektet fra SINTEF teknologi og samfunn:

1. Guro Rausand: Storulykker innen passasjertransport globalt i perioden 1991-2003. (Rapport STF38 A04406, Januar 2004).
2. Erik Jersin: Katastrofepotensialet ved uønskede hendelser innen transport; hvilke faktorer avgjør om en hendelse utvikler seg til en storulykke. (Rapport STF38 A04411, April 2004).

Disse rapportene danner en viktig del av kildegrunnlaget for denne rapporten.

## 2 Store ulykker i transport i Norge

### 2.1 Historisk statistikk for perioden 1970-2001

Erik Jersin (2003) har utarbeidet en oversikt over store ulykker ved transport i Norge i perioden 1970-2001 (32 år). Denne oversikten er benyttet som kilde for de analyser som presenteres i dette kapitlet.

Oversikten omfatter ulykker med minst 5 drepte, ulykker der de materielle skader bedømmes å overstige 30 millioner kroner og ulykker som har medført store miljøskader. Her betraktes kun den første av disse tre gruppene av ulykker som relevant. Tabell 1 gir en oversikt over ulykker med 5 drepte eller mer ved transport i Norge i perioden 1970-2001.

I tabell 1 er de store ulykkene fordelt på transportgrener. For hver transportgren oppgis to kolonner. Den første viser antall ulykker, hvert år fra 1970 til 2001. Den andre viser antallet drepte i ulykkene. Her er antall drepte i hver ulykke oppgitt. Eksempelvis oppgis det for luftfart i 1972 to ulykker. Antallet drepte var 17 i den ene ulykken og 40 i den andre. Dette er i tabell 1 angitt ved tallene ”17,40”.

Det var i perioden 1970-2001 21 store ulykker ved luftfart på norsk område. I disse ulykkene omkom til sammen 423 mennesker, det vil si i gjennomsnitt 20,1 per storulykke. I den største ulykken omkom 141 mennesker. Denne ulykken inntraff på Svalbard og de omkomne var russiske gruvearbeidere. Ifølge regler for statistikk i internasjonal luftfart, skal ulykker føres til det land luftfartøyet var registrert i. Disse reglene tilsier derfor at denne ulykken føres i russisk luftfartsstatistikk. Fire av de store luftfartsulykkene som har skjedd på norsk område etter 1970 skal ifølge internasjonale regler føres i andre lands luftfartsstatistikk.

I sjøfart er det registrert 25 store ulykker med til sammen 360 omkomne. I den største ulykken, Scandinavian Star ulykken i 1990, omkom 159 mennesker. Gjennomsnittlig antall omkomne per storulykke er 14,4. I likhet med luftfarten, tilsier internasjonale regler for statistikk over sjøulykker at ulykker føres til det land skipet er registrert i. Dette medfører at fire av de store ulykkene i sjøfart skal føres til andre lands statistikk.

I jernbanetransport er det registrert fire store ulykker i Norge etter 1970. I den største av disse, Trettenulykken i 1975, omkom 27 mennesker. Gjennomsnittlig antall omkomne per storulykke i jernbanen er 14,0 mennesker.

I vegtrafikk oppgir Jersin (2003) 13 store ulykker i perioden 1970-2001, med til sammen 85 omkomne. Han tar imidlertid et forbehold om hvor fullstendig statistikken er, spesielt for første del av perioden. Gjennomsnittlig antall omkomne per storulykke i vegtrafikk er 6,5 mennesker.

Tabell 1: Oversikt over store ulykker ved transport i Norge 1970-2001. Omfatter alle ulykker på norsk område

År	Luffart		Sjøfart		Jernbane		Veg	
	Ulykker	Drepte	Ulykker	Drepte	Ulykker	Drepte	Ulykker	Drepte
1970	0		0		0		0	
1971	1	5	1	7	0		0	
1972	2	17,40	1	6	0		0	
1973	0		1	6	0		0	
1974	1	6	3	5,11,15	0		0	
1975	1	5	0		1	27	0	
1976	0		1	7	0		1	6
1977	1	12	1	5	0		1	7
1978	2	7,18	1	9	0		0	
1979	0		1	5	0		0	
1980	0		0		0		0	
1981	1	5	3	5,7,9	0		0	
1982	1	15	0		0		0	
1983	0		1	7	0		0	
1984	0		0		0		0	
1985	0		1	10	0		1	5
1986	2	6,8	0		0		0	
1987	1	10	0		0		0	
1988	1	36	0		0		1	16
1989	1	55	0		0		2	5,5
1990	2	5,5	1	159	1	5	0	
1991	0		0		0		1	6
1992	0		1	6	0		1	5
1993	1	6	1	9	1	5	0	
1994	0		0		0		0	
1995	0		4	5,6,8,10	0		2	6,7
1996	1	141	0		0		0	
1997	1	12	1	20	0		1	5
1998	1	9	1	7	0		1	5
1999	0		1	16	0		0	
2000	0		0		1	19	1	5
2001	0		0		0		0	
Sum	21	423	25	360	4	56	13	85

Kilde: TØI rapport 748/2004

For vegtrafikk er det foretatt en spesialutkjøring fra Statens vegvesens ulykkesregister STRAKS for perioden fra 1.1.1985 til 31.10.2001 (16 år og 10 måneder). Resultatene av denne utkjøringen er vist i tabell 2. Det er ikke klart om utkjøringen kun dekker riksveger eller alle offentlige veger.

Tabell 2 viser at det i perioden 1985-2001 ble registrert 11 store ulykker i vegtrafikk med til sammen 70 drepte (gjennomsnitt på 6,4 drepte per storulykke). Ved å sammenligne med tabell 1, ser man at Jersins tall for store ulykker i vegtrafikk er fullstendige for perioden 1985-2001.

Tabell 2: Vegtrafikkulykker med drepte i perioden 1.1.1985-31.10.2001 fordelt etter antallet drepte per ulykke

Antall drepte per dødsulykke	Antall ulykker 1985-2001	Antall drepte i alt
1	4382	4382
2	365	730
3	56	168
4	24	96
5	7	35
6	2	12
7	1	7
16	1	16

Kilde: TØI rapport 748/2004

Hva kan disse tallene fortelle oss om hyppigheten av store ulykker i transport i Norge? Viser slike ulykker en tendens til å forekomme hyppigere eller sjeldnere? Tallene er analysert nærmere for om mulig å finne svar på dette spørsmålet.

## 2.2 Store ulykker i transport i Norge opptrer tilfeldig

Det har i perioden 1970-2001 vært 21 store ulykker i luftfart i Norge. Det vil si at de store ulykkene har inntruffet med en gjennomsnittlig hyppighet på  $21/32 = 0,656$  per år. I mange av årene fra 1970 til 2001 inntraff ingen storulykke i luftfart. I noen av årene inntraff 1 slik ulykke, og i ett år inntraff to store ulykker. Mer enn to store ulykker i luftfart har ikke forekommet noe år i perioden 1970-2001.

Ved å telle opp antallet år med 0, 1 eller 2 ulykker, kan man teste statistisk om ulykkene, for hele perioden 1970-2001, har inntruffet tilfeldig eller ikke. Ulykker som inntreffer tilfeldig beskrives vanligvis av Poissonfordelingen. For å avgjøre om ulykkene inntreffer tilfeldig, kan man sammenligne den faktiske fordelingen av år etter antall ulykker med Poissonfordelingen. En slik sammenligning er vist i tabell 3.

Tabell 3: Fordeling av store ulykker i luftfart i Norge 1970-2001 per år sammenlignet med en rent tilfeldig fordeling (Poissonfordelingen)

Antall år med x ulykker (0,1, osv)	Faktisk fordeling	Rent tilfeldig fordeling (Poisson)
Alle ulykker på norsk område medregnet (21 ulykker på 32 år)		
0	15	16,6
1	13	10,9
2	4	4,5
Ulykker med utenlandske luftfartøy holdt utenfor (17 ulykker på 32 år)		
0	18	18,8
1	11	10,0
2	3	3,2

Kilde: TØI rapport 748/2004

I 15 år inntraff det ingen store ulykker i luftfart. Forventet antall år med 0 ulykker, dersom ulykkene inntreffer helt tilfeldig, er 16,6 år. Den faktiske fordelingen av antall ulykker per år ligger svært nær en rent tilfeldig fordeling. Man kan teste om de to fordelingene skiller seg fra hverandre med en Kji-kvadrat-test. Kji-kvadratet kan beregnes til 0,735. Med 2 frihetsgrader har dette en signifikanssannsynlighet på 0,69.

Dersom man holder de fire ulykkene med utenlandske luftfartøy utenfor, blir verdien av Kji-kvadratet 0,929, med en signifikanssannsynlighet på 0,62.

Tabell 4 sammenfatter resultatene av tilsvarende statistiske tester for store ulykker i alle transportgrener for perioden 1970-2001.

Tabell 4: Resultater av statistiske tester om store ulykker i transport i Norge opptrer rent tilfeldig eller ikke

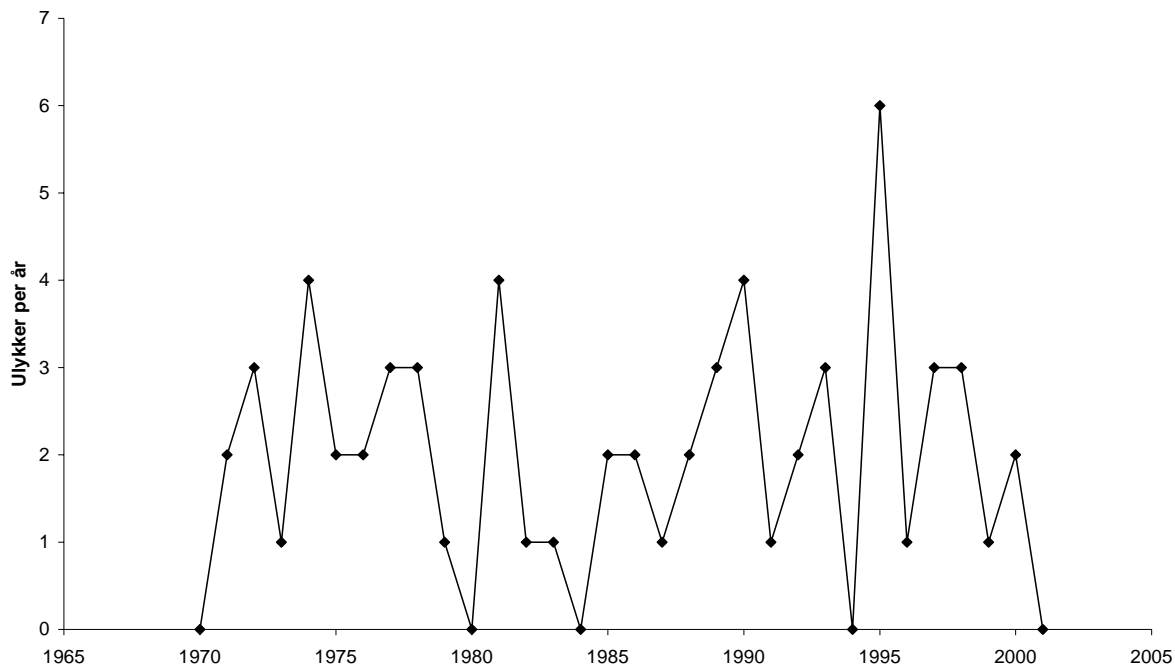
Transportgren	Forventet antall store ulykker per år (1970-2001)	Kji-kvadratverdi for test av om ulykker inntreffer rent tilfeldig	Signifikanssannsynlighet (P-verdi) for Kji-kvadrat
Luffart	0,6563	0,736	0,692
Sjøfart	0,7813	0,097	0,999
Jernbane	0,1250	0,913	0,339
Vegtrafikk	0,4063	0,993	0,609
Alle transportgrener	1,9688	0,909	0,989

Kilde: TØI rapport 748/2004

De statistiske testene viser at en antakelse om de store ulykkene i transport i Norge opptrer rent tilfeldig ikke kan forkastes. Vanligvis kreves at signifikanssannsynligheten for testobservatoren (i dette tilfellet Kji-kvadratet) er lavere enn 0,05 (5%) for å forkaste en hypotese. Som tabell 4 viser, er signifikanssannsynlighetene her meget langt fra en verdi på 0,05.

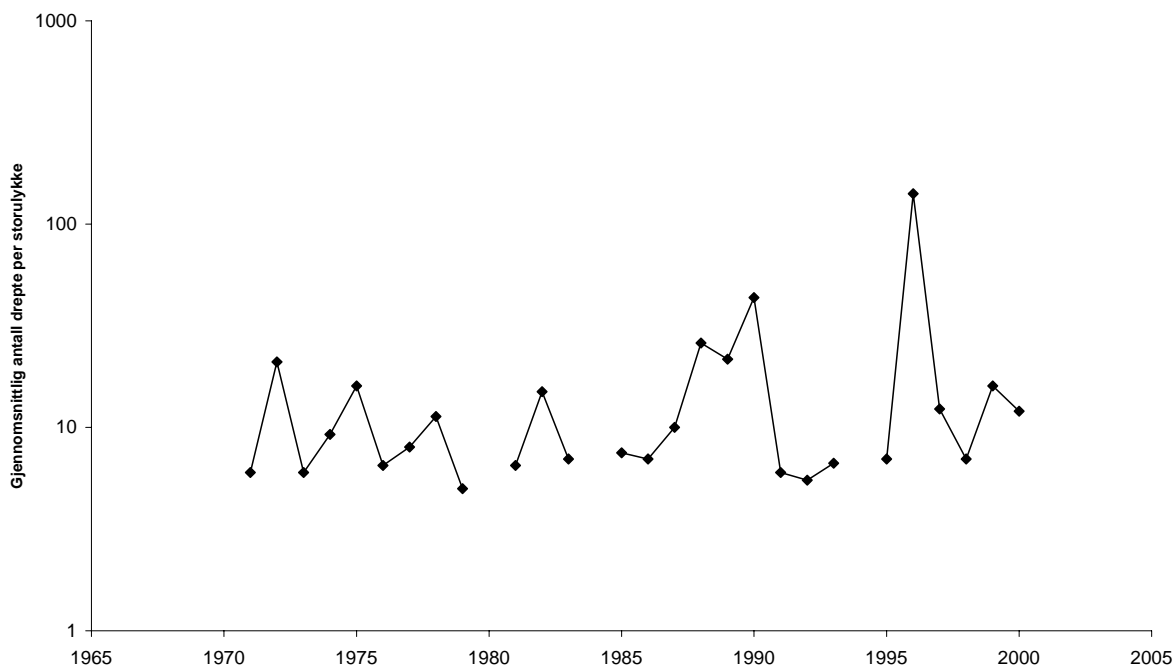
Av dette følger at det heller ikke er mulig å påvise noen tendens over tid med hensyn til antallet storulykker i transport i Norge. Figur 1 bekrefter dette. I figur 1 er det årlige antallet storulykker i transport i Norge, alle transportgrener sett under ett, vist for perioden 1970-2001. Det er ingen åpenbar trend i figuren. Formelle statistiske tester bekrefter dette: Antallet storulykker svinger helt tilfeldig rundt gjennomsnittet for perioden.

Hva så med omfanget av de store ulykkene? Har det skjedd noen endring over tid i antallet drepte per ulykke? Figur 2 viser antall drepte per storulykke i perioden 1970-2001 for alle transportgrener sett under ett. Av hensyn til lesbarheten, er antallet drepte per storulykke tegnet på en logaritmisk skala. Utslagene av Scandinavian Star ulykken i 1990 og av flyulykken på Svalbard i 1996 er meget tydelige. Man finner ingen klar tendens over tid til at det omkommer flere eller færre i de store ulykkene. Dersom man føyer en linje til punktene, viser den riktignok en svak stigning fra 1970 til 2001, men korrelasjonen mellom denne linjen og datapunktene er så svak at det ikke finnes noe statistisk grunnlag for å konkludere med at antallet drepte per storulykke har endret seg over tid.



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 1: Antall storulykker under transport i Norge 1970-2001



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 2: Gjennomsnittlig antall drepte ved store ulykker i transport i Norge



## **2.3 Foreløpige konklusjoner basert på norsk statistikk**

På grunnlag av norsk historisk statistikk over store ulykker i transport i perioden 1970-2001 kan man trekke følgende foreløpige konklusjoner:

1. I perioden 1970-2001 inntraff det i gjennomsnitt ca 2 storulykker i transport i Norge hvert år. De fleste storulykker har inntruffet i luftfart og sjøfart. Færrest storulykker har inntruffet i jernbanetransport.
2. De store ulykkene i transport i Norge synes å inntreffe helt tilfeldig. Det finnes overhodet ikke noe systematisk mønster i forekomsten av disse ulykkene. Antall ulykker viser ingen tendens til å øke eller synke over tid. Det er heller ingen tendens til at antallet omkomne per storulykke har endret seg over tid.
3. Norske historiske erfaringstall representerer et spinkelt grunnlag for å anslå den langsiktige forventede hyppigheten av store ulykker under transport. Historiske erfaringstall for ett bestemt land i en bestemt periode gir alene ikke et fullstendig grunnlag for å predikere potensialet for store ulykker i transport.

På bakgrunn av disse konklusjonene, er internasjonal statistikk om store ulykker i transport gjennomgått.

## 3 Store ulykker i transport internasjonalt

### 3.1 Kilder til data om store ulykker i transport internasjonalt

Det finnes ingen datakilde som gir en samlet oversikt over storulykker i transport for hele verden. Det er en møysommelig oppgave å fremskaffe en slik oversikt. Man må sette sammen mer eller mindre mangelfulle opplysninger fra en rekke kilder.

I rapporten ”Storulykker innen passasjertransport globalt i perioden 1991-2003” (Rausand 2004) er opplysninger fra ulike kilder satt sammen med sikte på å gi en så fullstendig oversikt over storulykker i hele verden som mulig. Oversikten går ikke lenger bakover i tid enn 1991, fordi pålitelige og lett tilgjengelige datakilder, ikke finnes for perioden før 1991. Oversikten ble satt sammen i løpet av 2003 og antas derfor ikke å dekke hele dette året.

European Transport Safety Council (1999, 2003) har samlet inn opplysninger om store ulykker i transport for medlemsland i EU. For Storbritannia, er opplysninger om store ulykker formidlet av Andrew Evans (2003A, 2003B, 2004). I dette kapitlet vil opplysninger fra disse ulike kildene bli satt sammen med sikte på å vurdere hvor godt egnet de er til å supplere historiske norske erfaringer som grunnlag for å beregne den langsiktige hyppigheten av store ulykker i transport.

### 3.2 Store ulykker i transport – globalt og i Europa

Oversikten over store ulykker i verden 1991-2003 dekker luftfart, sjøfart og jernbanetransport (Rausand 2004). Vegtrafikk inngår ikke, da egnede datakilder ikke fantes. Storulykker inkluderer alle ulykker med minst 5 drepte, samt ulykker med store materielle skader eller store miljøskader. Her er kun ulykker med drepte tatt med. Tabell 5 viser antall storulykker i hele verden og i Europa i perioden 1991-2003.

Tabell 5: Storulykker i passasjertransport i verden og i Europa 1991-2003. Kilde: Rausand 2004

Transportgren	Verden		Europa	
	Antall ulykker	Antall omkomne	Antall ulykker	Antall omkomne
Luftfart	504	21347	102	2923
Sjøfart	294	13009	57	1828
Jernbane	272	7950	56	751

Kilde: TØI rapport 748/2004

Det er registrert til sammen 1.070 storulykker i hele verden (vegtrafikk ikke medregnet), med til sammen 42.306 omkomne. Det høyeste antallet ulykker og omkomne har luftfart. Lavest er antall ulykker og antall omkomne i jernbanetransport. 20% av alle storulykker i verden er registrert i Europa. Europa har imidlertid bare 13% av alle omkomne i storulykker.

Innen luftfart er det dokumentert at ulykkesrisikoen varierer betydelig mellom verdensdeler. Regnet per flyavgang, er det færrest store flyulykker i Nord Amerika og Oceania (Australia, New Zealand og en rekke mindre øystater i Stillehavet). Nest lavest er risikoen i Europa. I andre verdensdeler er risikoen for store ulykker betydelig høyere enn i Nord Amerika, Oceania og Europa. Med tanke på å bruke internasjonale erfaringer som grunnlag for å anslå hyppigheten av store flyulykker i Norge, anses de europeiske tallene som mest relevante.

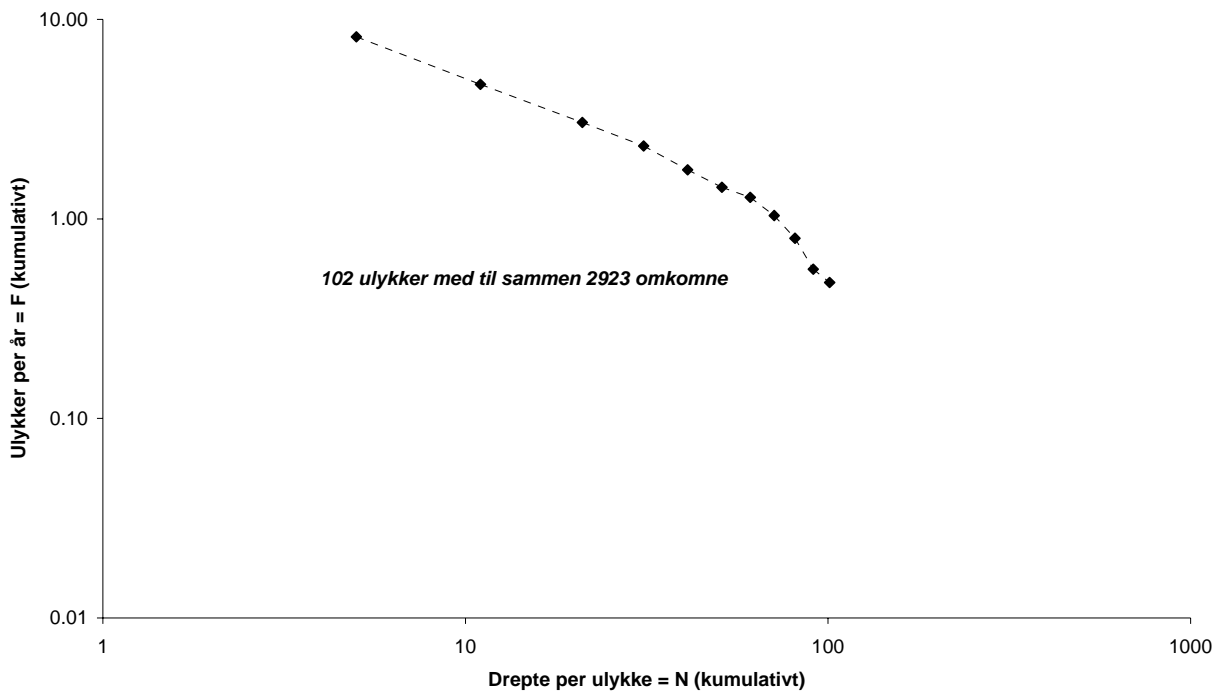
Det finnes ingen tilsvarende lett tilgjengelig statistikk som viser hvordan risikoen for store ulykker varierer mellom ulike verdensdeler innenfor sjøfart og jernbanetransport. Det er likevel neppe særlig dristig å anta at det også innenfor disse transportgrenene er store forskjeller i risikonivå mellom ulike verdensdeler. De europeiske erfaringene er derfor også for sjøfart og jernbane betraktet som mest relevante for norske forhold.

### 3.2.1 Store ulykker i luftfart i Europa 1991-2003

I perioden fra 1991 til 2003 ble det registrert 102 store ulykker i luftfart i Europa (Rausand 2004). Det var til sammen 2.923 omkomne i disse ulykkene. Gjennomsnittlig antall omkomne per storulykke var 28,7. Det tilsvarende tallet for Norge i perioden 1970-2001, beregnet i kapittel 2, var 20,1 omkomne per storulykke. Figur 3 viser en såkalt FN-kurve for store flyulykker i Europa i perioden 1991-2003. Det er en kurve der antallet drepte per ulykke ( $N$ ) er avsatt vannrett. Antall ulykker med  $N$  eller flere drepte ( $F = \text{frekvens} = \text{antall ulykker per tidsenhet}$ ) er avsatt loddrett. I figur 3 er antall ulykker regnet per år. Begge akser i figuren er tegnet med logaritmisk skala og begge akser er "kumulative". Det vil si at datapunktet øverst til venstre omfatter alle ulykker med minst  $N$  drepte, neste datapunkt omfatter alle ulykker med minst  $N + X$  drepte, og så videre.

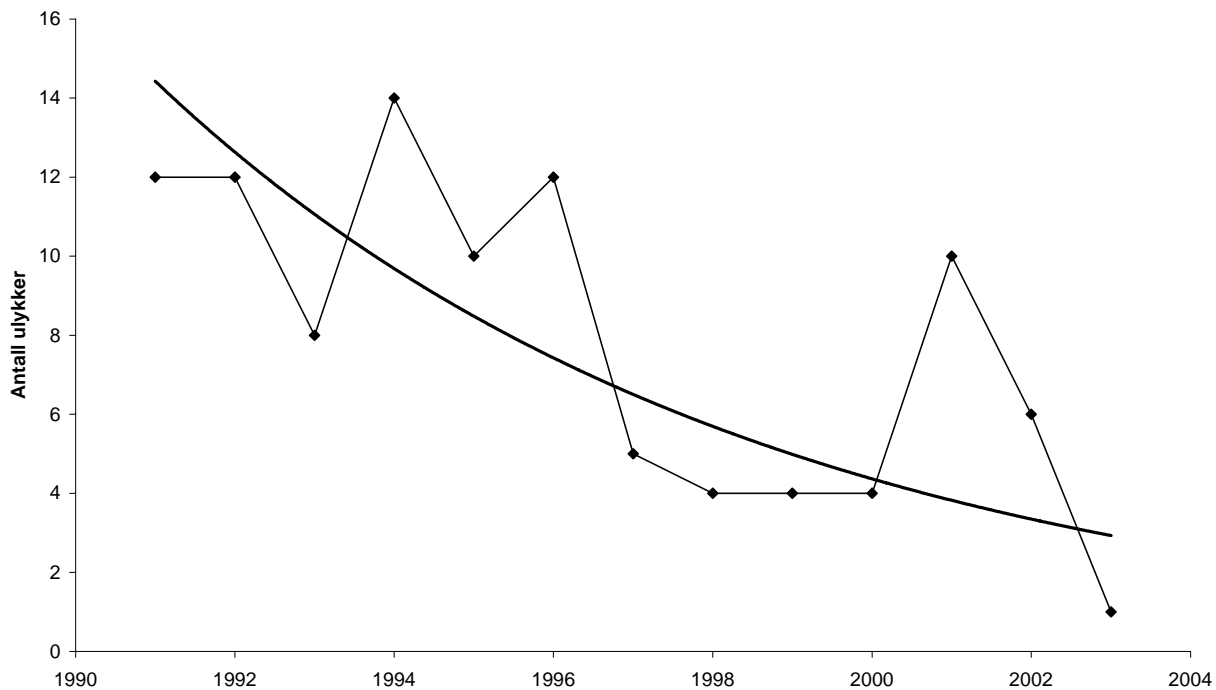
Figur 3 viser at hyppigheten av store ulykker synker jo flere omkomne det er i ulykkene. Man skal imidlertid være oppmerksom på at den laveste frekvens som kan forekomme i dette datamaterialet (bortsett fra 0) er ca 0,08, som tilsvarer 1 ulykke i løpet av de 12,5 år datagrunnlaget omfatter.

Figur 4 viser antallet store ulykker år for år fra 1991 til 2003. Det er en tendens til at antallet store ulykker i luftfart synker. En kurve som viser den langsiktige utviklingen er tegnet inn i figuren. Den viser en årlig nedgang i antallet store ulykker på 13,3 prosent. En lineær nedgang (en rett linje) gir bedre tilpasning til data, men anses som lite realistisk, fordi den predikerer negative ulykestall etter ca 2006.



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 3: FN-kurve for store ulykker i luftfart i Europa 1991-2003



Kilde: TØI rapport 748/2004

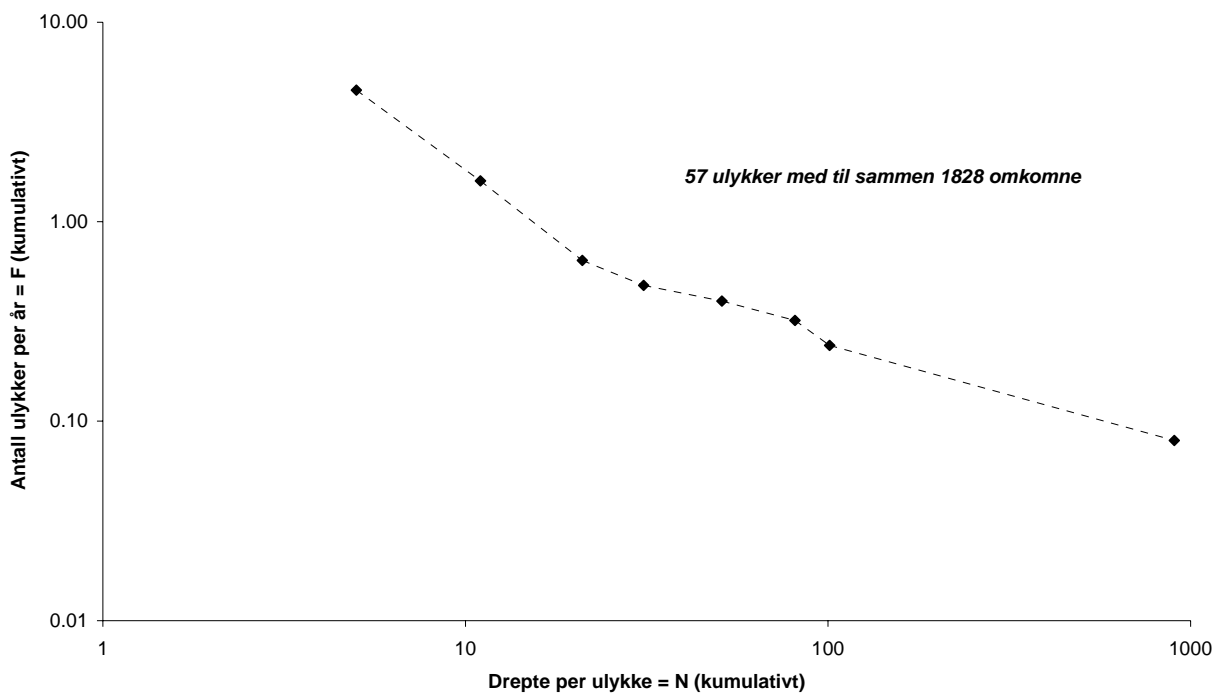
Figur 4: Utvikling av store flyulykker i Europa 1991-2003

Antall omkomne per storulykke i luftfart i Europa viser ingen klare endringer i perioden 1991-2003. Det er ingen klar tendens til at ulykkene er blitt ”større” (flere omkomne per ulykke) eller ”mindre” (færre omkomne per ulykke).

### 3.2.2 Store ulykker i sjøfart i Europa 1991-2003

Det ble i perioden 1991-2003 registrert 57 store ulykker i sjøfart i Europa, med til sammen 1.828 omkomne. Av disse omkom nesten halvparten, 909 mennesker, i Estonia-ulykken i 1994. Gjennomsnittlig antall omkomne per ulykke er 32,1 når Estonia-ulykken medregnes, 16,4 når den holdes utenfor. I Norge var gjennomsnittlig antall omkomne ved store ulykker i sjøfart i perioden 1970-2001 14,4 mennesker.

Figur 5 viser en FN-kurve for store ulykker i sjøfart i Europa 1991-2003. Punktet lengst ute til høyre i figuren er Estonia-ulykken. Figuren viser, i likhet med store ulykker i luftfart, at hyppigheten av store ulykker avtar jo flere omkomne det er i hver ulykke.

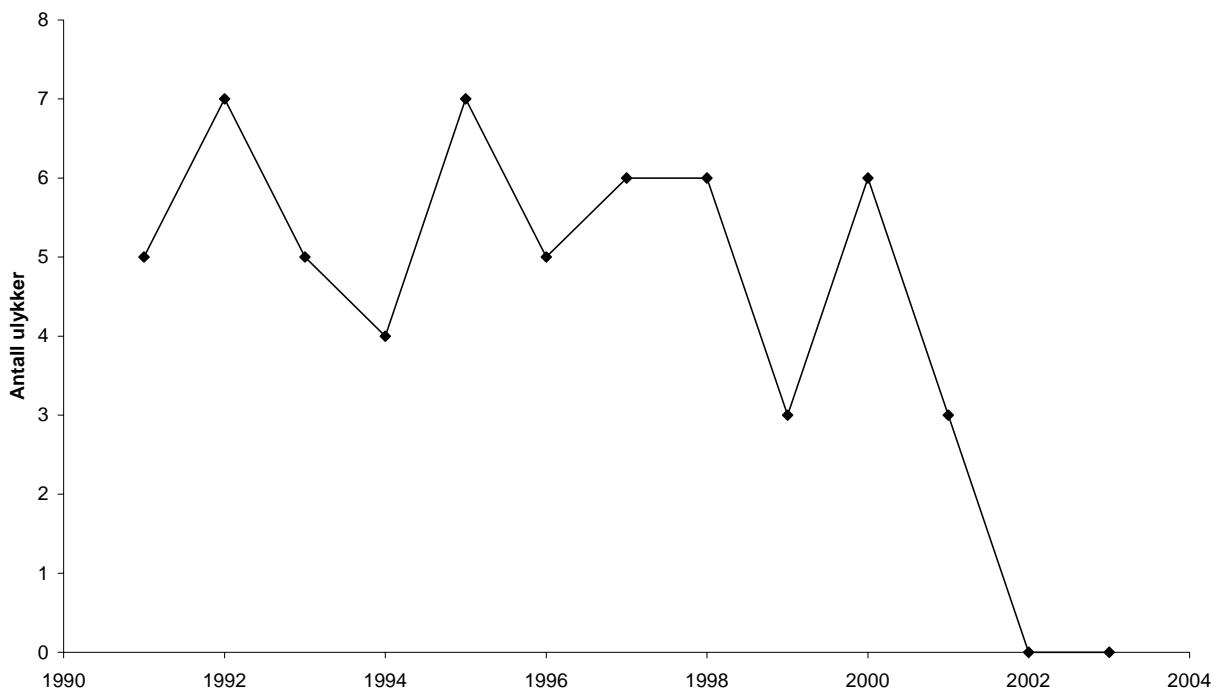


Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 5: FN-kurve for store ulykker i sjøfart i Europa 1991-2003

Figur 6 viser utviklingen fra år til år i antallet store ulykker i sjøfart i Europa. Det er en tendens, spesielt mot slutten av perioden, til at antallet ulykker per år synker. Den gjennomsnittlige årlige prosentvise nedgangen i perioden 1991-2003 kan beregnes til 10 prosent. Det understrekes at det knytter seg stor usikkerhet til denne langsiktige utviklingstendensen.

Antall omkomne per storulykke i sjøfart i Europa viste i perioden 1991-2003 ingen klar tendens til å øke eller avta.



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 6: Utvikling av store ulykker i sjøfart i Europa 1991-2003

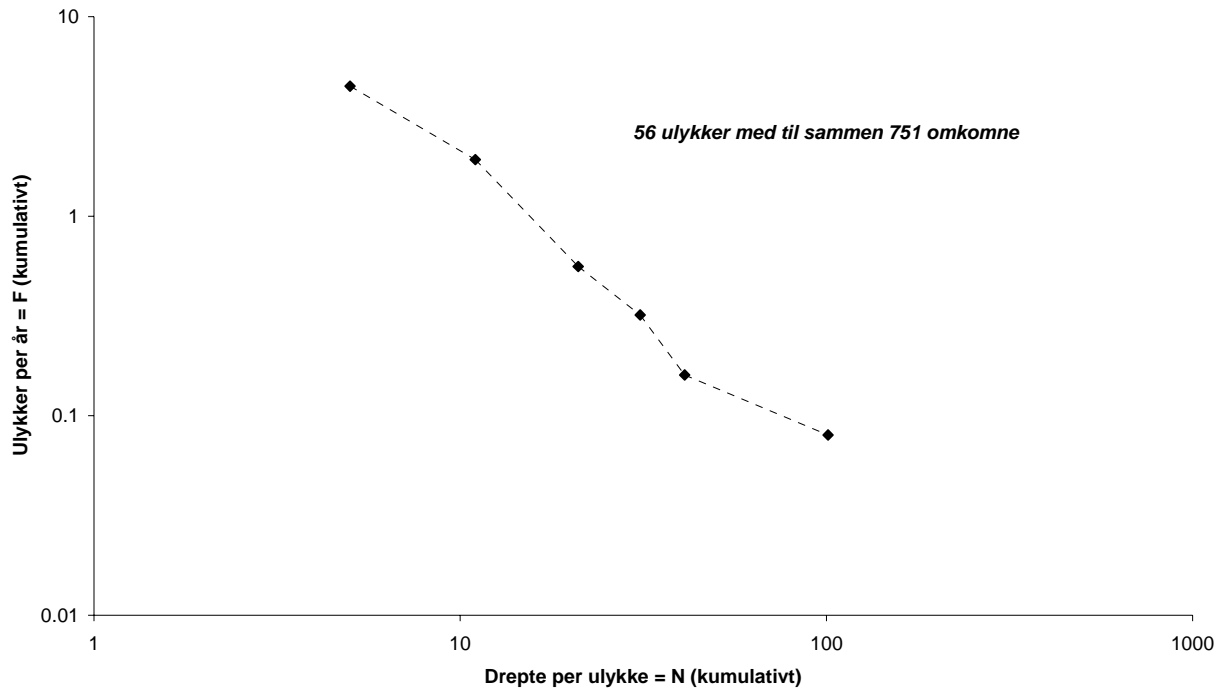
### 3.2.3 Store ulykker i jernbanetransport i Europa 1991-2003

Det ble i perioden 1991-2003 registrert 56 store ulykker ved jernbanetransport i Europa. Det var til sammen 751 omkomne i disse ulykkene, noe som tilsvarer i gjennomsnitt 13,4 omkomne per ulykke. Det tilsvarende tallet i Norge i perioden 1970-2001 var 14,0 omkomne per storulykke ved jernbanetransport.

Figur 7 viser en FN-kurve for store ulykker ved jernbanetransport i Europa i perioden 1970-2001. Som for de andre transportgrenene viser kurven at de største ulykkene inntreffer sjeldnere enn ulykker der antallet omkomne ligger ned mot nedre grense for det som regnes som en storulykke.

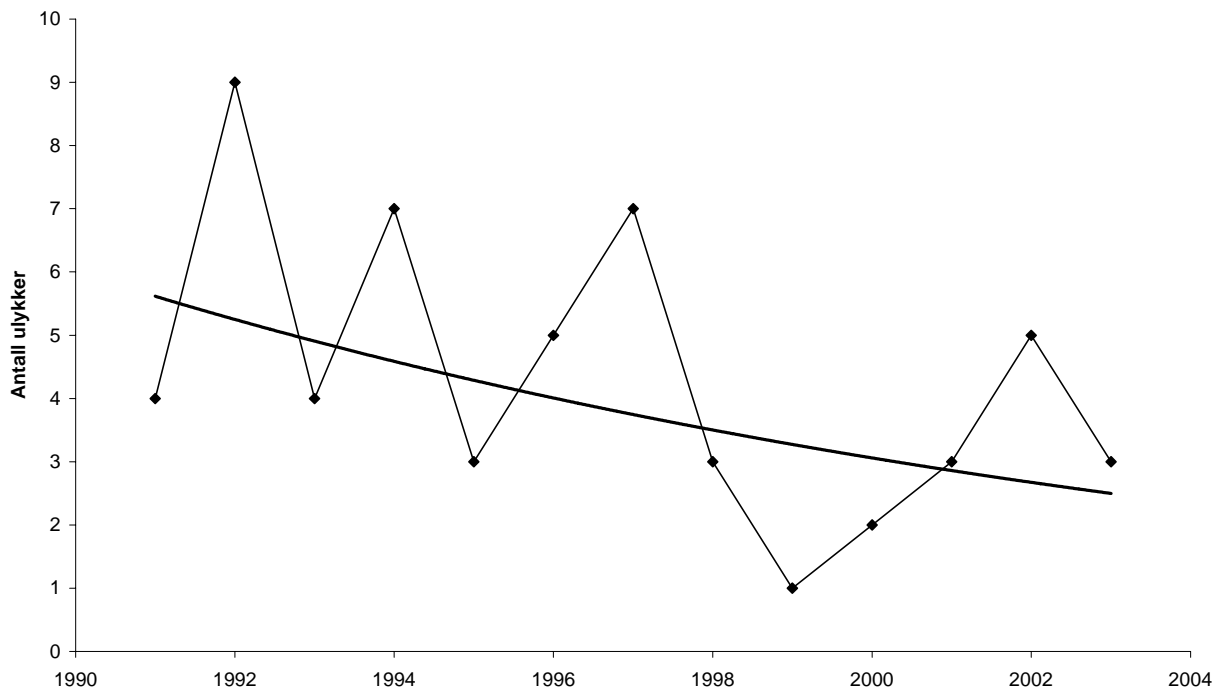
Figur 8 viser utviklingen av antall store ulykker ved jernbanetransport i Europa fra år til år i perioden 1991-2003. Antall ulykker per år viser en synkende tendens. Årlig prosentvis nedgang er beregnet til 6,8 prosent.

Antall omkomne per storulykke med tog i Europa viste i perioden 1991-2003 ingen klar tendens til å øke eller avta.



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 7: FN-kurve for store ulykker under jernbanetransport i Europa 1991-2003

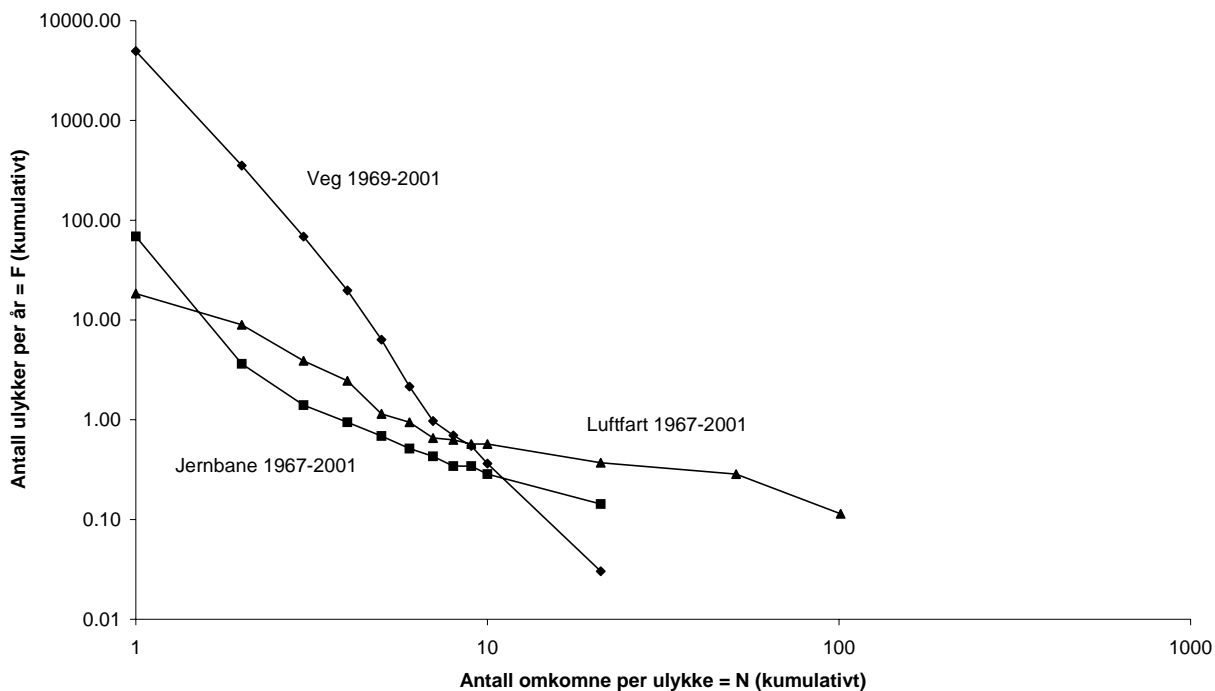


Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 8: Utvikling av store ulykker i jernbanetransport i Europa 1991-2003

### 3.3 Store ulykker i transport – erfaringstall fra Storbritannia

Evans (2003A) har etter oppdrag fra Health and Safety Executive i Storbritannia beregnet FN-kurver vegtrafikk, jernbanetransport og luftfart for Storbritannia. For vegtrafikk omfatter data perioden 1969-2001 (33 år). For jernbanetransport og luftfart omfatter data perioden 1967-2001 (35 år). Figur 9 viser FN-kurver for disse tre transportgrenene.



Figur 9: FN-kurver for dødsulykker i vegtrafikk, jernbane og luftfart i Storbritannia. Kilde: Evans 2003A

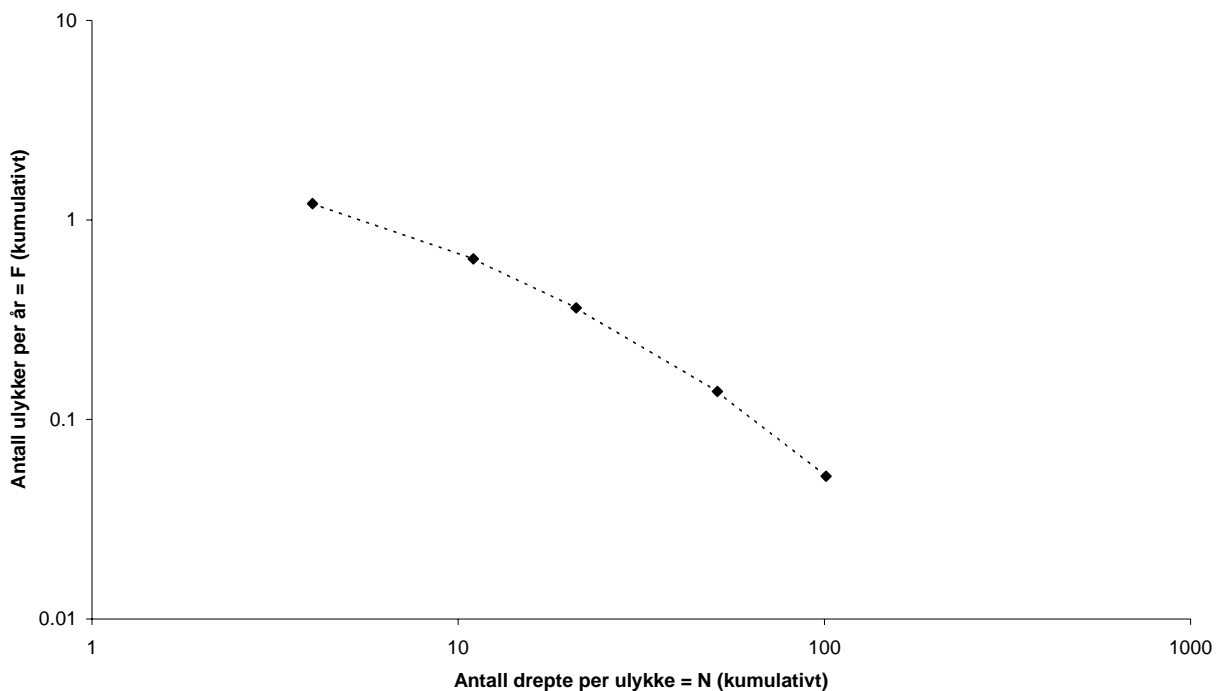
Den bratteste kurven gjelder vegtrafikk. Av alle dødsulykker, har 92,9 prosent her kun 1 drept. Det høyeste antallet drepte som i perioden 1969-2001 har forekommet i en ulykke i vegtrafikk i Storbritannia er 32. I perioden 1969-2001 forekom det 12 ulykker med 10 eller flere omkomne i vegtrafikken i Storbritannia.

Den flateste kurven gjelder luftfart. Selv i luftfart er imidlertid små ulykker mer vanlige enn mange kanskje tror. I 51,2 prosent av dødsulykkene i britisk luftfart i perioden 1967-2001 ble kun ett menneske drept. Høyeste antall drepte i en ulykke var 146.

FN-kurven for jernbanetransport krysser både kurven for vegtrafikk og for luftfart. Jernbanen inntar en mellomstilling mellom vegtrafikk og luftfart med hensyn til fordelingen av dødsulykker etter antallet omkomne. Det var kun 1 drept i hele 94,7 prosent av dødsulykkene med jernbane i Storbritannia i perioden 1967-2001. Det forekom 10 ulykker med 10 eller flere drepte. Høyeste antall drepte i en ulykke var 49.



Når det gjelder skipsfart, foreligger det ikke opplysninger om de minste ulykkene. Det foreligger en statistikk for perioden 1946-2003 om ulykker med 4 eller flere drepte med britisk registrerte skip. Etter 1989 har alle registrerte ulykker vært små, det vil si at det har vært mindre enn 4 drepte i hver ulykke. På grunnlag av denne statistikken viser figur 10 en FN-kurve for omkomne i store ulykker med britisk registrerte skip i perioden 1946-2003.



Figur 10: FN-kurve for store ulykker med britisk registrerte skip 1946-2003. Kilde: Evans 2003A

Denne kurven omfatter alle ulykker som har skjedd over hele verden med britiske skip, i samsvar med reglene for tildeling av ulykkers nasjonalitet i internasjonal sjøfartsstatistikk. Mange av ulykkene har skjedd utenfor britisk farvann.

### 3.4 Bruk av utenlandske erfaringer til å anslå hyppigheten av store ulykker i Norge

I kapittel 2 ble det konkludert med at historiske norske erfaringer i perioden 1970-2001 isolert sett gir et begrenset grunnlag for å anslå den langsiktige forventede hyppigheten av store ulykker under transport. Spørsmålet er om, og hvordan, internasjonale erfaringstall for store ulykker kan supplere de norske som grunnlag for å anslå hyppigheten av store ulykker. Det er tre hovedproblemer med å bruke utenlandske erfaringstall som en del av grunnlaget for å beregne hyppigheten av store ulykker knyttet til transport i Norge:

1. Det må velges en "skaleringfaktor". Som regel finnes det flere å velge mellom, blant dem folketall, et eller annet mål på trafikkmengde

(personkilometer eller lignende), eller en annen indikator på eksponering for risiko (kystlinjens lengde).

2. Det må, så langt tilgjengelige data gjør det mulig, bringes på det rene om risikonivået er det samme i Norge som i de andre landene man benytter statistikk fra.
3. Det må avgjøres om risikonivået i den perioden de utenlandske dataene gjelder var konstant, eller viste en tendens til å øke eller synke.

Skaleringsfaktoren (punkt 1) skal ideelt sett reflektere forskjellen i eksponering (reiseomfang, trafikkmengde) mellom Norge og utlandet. Dersom, for eksempel, eksponeringen i Europa er 50 ganger så høy som i Norge, skaleres europeiske tall ned med en faktor på 50. Antallet ulykker avhenger ikke bare av eksponeringen, men også av risikonivået. Dersom risikonivået i Europa, for eksempel, er 1,5 ganger så høyt som i Norge, må de europeiske tallene skaleres ytterligere ned med en faktor på 1,5. Endelig kan det tenkes at risikoen ikke er konstant over tid. Man må da ta hensyn også til dette.

I dette avsnittet vil de europeiske og britiske erfaringstallene for store ulykker som er presentert foran bli brukt som grunnlag for å anslå hyppigheten av store ulykker under transport i Norge.

### 3.4.1 Vegtrafikk

Når det gjelder store ulykker i vegtrafikk, foreligger kun ett utenlandsk datasett, nemlig de britiske tallene som dekker perioden 1969-2001. Heldigvis ligner Storbritannia en god del på Norge både det gjelder reiseomfang og risikonivå i vegtrafikk.

I perioden 1999-2001 reiste hver brite i gjennomsnitt 9.955 kilometer i vegtrafikk. Dette fordelte seg med 9.194 kilometer med bil eller annet individuelt motorkjøretøy, 394 kilometer med buss, 304 kilometer til fots og 63 kilometer med sykkel (Department for Transport, National Travel Survey, Table 10.6). Tilsvarende norske tall (Denstadli og Hjorthol 2002) var 9.672 kilometer med bil, 900 kilometer med buss, 329 kilometer til fots og 148 kilometer med sykkel. Antall drepte per milliard personkilometer for ulike transportmidler i Norge og Storbritannia fremgår av tabell 6 (ulik ulykkesrapportering gjør det tvilsomt å sammenligne skaderisiko).

Tabellen viser at risikoen for å bli drept i trafikken i Storbritannia ligger nær nivået i Norge. Sett på bakgrunn av at både reisemønsteret (eksponeringen) og risikonivået i hovedtrekk er det samme i Storbritannia som i Norge, vurderes det som forsvarlig å benytte de britiske tallene for store ulykker i vegtrafikk som grunnlag for å anslå hyppigheten av slike ulykker i Norge. De britiske tallene skaleres ned til norske forhold på grunnlag av innbyggertallet (siden reiselengde per innbygger og risiko per personkilometer viser samme mønster i de to landene).

Tabell 6: Dødsrisiko i vegtrafikk i Norge og Storbritannia. Drepte per milliard personkilometer. Representative tall gjeldende år 2000.

Transportmiddel	Drepte per milliard personkilometer	
	Norge (1998-2002)	Storbritannia (2001-2002)
Personbil	3,8	2,9
Varebil	1,4	1,0
Buss	0,9	0,3
Fotgjenger	32,1	46,3
Sykkel	22,6	31,1
Moped og motorsykkel	38,8	111,8

Kilde: TØI rapport 748/2004

Gjennomsnittlig antall drepte i vegtrafikk i Norge i perioden 1999-2003 (5 år) betraktes som representativt for dagens risikonivå. Tabell 7 viser beregnet årlig hyppighet av vegtrafikkulykker fordelt etter antall drepte, basert på britiske tall og de norske tallene for perioden 1985-2001 som ble omtalt i kapittel 2.

Tabell 7: Forventet langsiktig hyppighet av store ulykker i vegtrafikk i Norge beregnet på grunnlag av britiske tall og norske erfaringstall for perioden 1985-2001

Antall drepte per ulykke (kumulative tall der 1- betyr 1 eller flere)	Beregnet antall ulykker per år	
	Britiske erfaringstall 1969-2001	Norske erfaringstall 1985-2001
1-	290,5	259,4
2-	20,7	24,4
3-	4,0	4,9
4-	1,2	1,9
5-	0,65	0,59
10-	0,0231	0,0536
21-	0,0018	

Kilde: TØI rapport 748/2004

De britiske tallene er representative for det gjennomsnittlige antallet dødsulykker i vegtrafikk i Storbritannia i perioden 1969-2001. I Norge var det gjennomsnittlige antallet drepte i vegtrafikkulykker i perioden 1970-2003 395,9 personer per år. I perioden 1999-2003 var gjennomsnittlig antall drepte 302 personer per år. De britiske tallene er skalert ned til norske forhold med utgangspunkt i folketallet, og deretter justert ned med faktoren 302/395,9, for å komme på et nivå som er representativt for dagens antall drepte i vegtrafikkulykker. De norske erfaringstallene er tilsvarende justert ned til nivået for perioden 1999-2003, som er lavere enn gjennomsnittet for perioden 1985-2001.

I perioden 1994-2003 var det i gjennomsnitt 267,3 dødsulykker i vegtrafikken i Norge, med i gjennomsnitt 300,8 drepte per år. Sett for hele perioden 1970-2003 viser antall dødsulykker og antall drepte i vegtrafikken i Norge en synkende tendens, men denne tendensen har flatet noe ut de siste årene. Det gjennomføres en rekke trafiksikkerhetstiltak som kan bidra til fortsatt nedgang i antall dødsulykker og antall drepte i trafikken. For likevel ikke å undervurdere forventet langsiktig hyppighet av store ulykker i vegtrafikken i Norge, vil vi ta utgangspunkt i gjennomsnittstallene for perioden 1994-2003. Dermed kan den

langsiktige årlige hyppigheten av store ulykker i vegtrafikken i Norge beregnes til følgende:

1 eller flere drepte	267,0
2 eller flere drepte	29,5
3 eller flere drepte	7,1
4 eller flere drepte	2,6
5 eller flere drepte	0,5
10 eller flere drepte	0,05
20 eller flere drepte	0,002

Usikkerheten i disse anslagene drøftes i kapittel 5.

### 3.4.2 Luftfart

For luftfart er det innhentet opplysninger om store ulykker i Europa 1991-2003 og i Storbritannia 1946-2003. Ulykkene i Storbritannia inngår i ulykkene i Europa 1991-2003. European Transport Safety Council (1999) oppgir at 34% av flyulykkene skjer under avgang, 8% skjer underveis og 58% skjer under nedstigning og landing. Tallene bygger på statistikk utarbeidet av flyprodusenten Boeing. Siden de fleste flyulykker skjer under avgang eller landing, betraktes ofte antall avganger som det beste eksponeringsmålet for flyulykker. Dessverre foreligger ikke lett tilgjengelig internasjonal statistikk for antall avganger. Antall flykilometer er derfor i stedet benyttet som eksponeringsmål. Tabell 8 viser beregnet langsiktig årlig hyppighet av store ulykker i luftfart i Norge basert på de to internasjonale datasettene (skalert ned til norske forhold på grunnlag av antall flykilometer; UN Statistical Yearbook 2003).

Tabell 8: Beregnet langsiktig årlig hyppighet av store flyulykker i Norge. Basert på Rausand (2004) og Evans (2003A)

Antall drepte	Forventet årlig hyppighet av store flyulykker		
	Europeiske tall	Britiske tall	Norske tall
5-	0,196	0,175	0,656
11-	0,113	0,087	0,250
21-	0,073	0,057	0,125
51-	0,035	0,044	0,063
101-	0,012	0,017	0,031

Kilde: TØI rapport 748/2004

Beregninger på grunnlag av de europeiske eller britiske tallene gir langt lavere hyppighet av store flyulykker i Norge enn den faktisk observerte hyppigheten i perioden 1970-2001. De europeiske tallene antyder, som tidligere nevnt, at antallet store flyulykker viser en synkende tendens. En tilsvarende tendens kan

ikke påvises i norske tall, men tallene er små. Det har imidlertid ikke inntruffet store ulykker i rutegående luftfart i Norge etter 1993. Selv om datagrunnlaget er spinkelt, er det rimelig å anta at det er en tendens til synkende ulykkestall også i Norge. På grunnlag av dette, anslås den langsiktige årlige hyppigheten av store flyulykker i Norge til følgende:

5 eller flere drepte	0,50
11 eller flere drepte	0,20
21 eller flere drepte	0,10
51 eller flere drepte	0,05
101 eller flere drepte	0,025

Usikkerhet i tallene drøftes i kapittel 5.

### 3.4.3 Sjøfart

For ulykker i sjøfart foreligger to internasjonale datasett: ett for Europa (1991-2003) og ett for Storbritannia (1946-2003). Det sistnevnte gjelder ulykker med britiske skip, og er ikke avgrenset til britisk, eller europeisk farvann. Her er kun ulykker som er oppgitt å ha skjedd i europeisk farvann benyttet. De fleste av disse ulykkene har skjedd nær Storbritannia, men noen få har skjedd i andre europeiske farvann. Ulykkene antas å representere en eksponering tilsvarende den norske kystlinjen.

For sjøfart foreligger det praktisk talt ingen eksponeringstall. Når man skal skalere ned de utenlandske tallene til norske forhold, er kystlinjens lengde (Rausand 2004) praktisk talt den eneste skaleringsfaktoren som finnes. Forventet hyppighet av store skipsulykker i Norge basert på de utenlandske kildene, sammenstilt med norske historiske erfaringstall, er vist i tabell 9.

Tabell 9: Beregnet langsiktig årlig hyppighet av store ulykker i sjøfart i Norge. Basert på Rausand (2004) og Evans (2003A)

Antall drepte	Forventet årlig hyppighet av store ulykker i sjøfart		
	Europeiske tall	Britiske tall	Norske tall
5-	1,018	0,793	0,781
11-	0,357	0,397	0,156
21-	0,143	0,259	0,031
51-	0,089	0,086	0,031
101-	0,054	0,034	0,031

Kilde: TØI rapport 748/2004

Tallene i de ulike kildene viser samme hovedmønster. Anslagene på hyppighet av de største ulykkene varierer en del. Det kan ikke påvises noen langsiktig utviklingstendens i hyppigheten av store ulykker til sjøs på grunnlag av norske data. Både britiske og europeiske data tyder på at antallet ulykker har sunket de

siste årene. På grunnlag av tabell 9, anslås den forventede langsiktige, årlige hyppigheten av store ulykker til sjøs i Norge til følgende:

5 eller flere drepte	0,70
11 eller flere drepte	0,15
21 eller flere drepte	0,10
51 eller flere drepte	0,05
101 eller flere drepte	0,025

### 3.4.4 Jernbane

For jernbane foreligger europeiske data for perioden 1991-2003 og britiske data for perioden 1967-2003 (Rausand 2004, Evans 2004). Det finnes flere eksponeringsmål for jernbanetraffikk. Her er de utenlandske tallene skalert ned til norske forhold ved å benytte personkilometer som eksponeringsmål. Tabell 10 viser beregnet årlig hyppighet av store ulykker ved jernbanetransport basert på de ulike datakildene.

Tabell 10: Beregnet langsiktig årlig hyppighet av store ulykker ved jernbanetransport i Norge. Basert på Rausand (2004) og Evans (2004)

Antall drepte	Forventet årlig hyppighet av store ulykker ved jernbanetransport		
	Europeiske tall	Britiske tall	Norske tall
5-	0,023	0,039	0,125
11-	0,010	0,016	0,063
21-	0,003	0,008	0,031
51-	0,001	0,000	0,000
101-	0,0004	0,000	0,000

Kilde: TØI rapport 748/2004

Tabell 10 viser at hyppigheten av store jernbaneulykker i Norge ligger høyere enn man skulle forvente på grunnlag av de europeiske og britiske tallene. Forskjellen kan imidlertid ikke tillegges noen vekt. Det har i perioden 1970-2001 bare vært 4 store jernbaneulykker i Norge. Det har i perioden etter 1970 vært en tendens til at antall omkomne ved jernbaneulykker i Norge har sunket. Det er følgelig rimelig å anta at hyppigheten av store ulykker i perioden 1970-2001 ligger høyere enn det som kan forventes i årene som kommer. På grunnlag av tabell 10, er den langsiktige årlige hyppigheten av store ulykker ved jernbanetransport i Norge beregnet til følgende:

5 eller flere drepte	0,10
11 eller flere drepte	0,05
21 eller flere drepte	0,025
51 eller flere drepte	0,005

101 eller flere drepte

0,000

### 3.4.5 Sammenstilling av beregninger

Tabell 11 gir en sammenstilling av beregnet langsiktig forventet årlig hyppighet av store ulykker knyttet til transport i Norge.

Tabell 11: Forventet årlig hyppighet av store ulykker knyttet til transport i Norge

Drepte per ulykke	Forventet årlig antall ulykker med N eller flere drepte				
	Veg	Luft	Sjø	Jernbane	Alle
5 eller flere	0,50	0,50	0,70	0,10	1,80
11 eller flere	0,05	0,20	0,15	0,05	0,45
21 eller flere	0,002	0,10	0,10	0,025	0,227
51 eller flere	0,000	0,05	0,05	0,005	0,105
101 eller flere	0,000	0,025	0,025	0,000	0,050

Kilde: TØI rapport 748/2004

Forventet hyppighet av store ulykker, det vil si alle ulykker med 5 drepte eller mer, er beregnet til 1,8 per år. Observert hyppighet i perioden 1970-2001 var 1,97 per år. Forventet hyppighet av ulykker med 51 drepte eller flere er anslått til 0,105. Observert hyppighet i perioden 1970-2001 var 0,094.

Utenlandske erfaringstall er benyttet som et supplement til norske historiske erfaringstall for å beregne den langsiktige hyppigheten av store ulykker. De utenlandske erfaringstallene bygger på et større antall ulykker enn norske historiske erfaringer. De er skalert ned til norske forhold, for å gi en referanse for å bedømme om de norske historiske erfaringstallene bør justeres eller "glattes".

I kapittel 2 ble det vist at store ulykker under transport i Norge opptrer tilfeldig. Det må følgelig betraktes som tilfeldig at man i Norge i perioden 1970-2001 hadde to transportulykker med mer enn 100 omkomne (Scandinavian Star, flyulykken på Svalbard). Observert hyppighet er 0,063, forventet hyppighet er beregnet til 0,050. Hadde man brukt perioden 1960-1991 som observasjonsperiode i Norge, ville hyppigheten av ulykker med mer enn 100 drepte ha vært 0,031.

Beregningene er følgelig forbundet med stor usikkerhet. Kapittel 5 drøfter hvordan denne kan tas i betraktning.

## 4 Forebygging av store ulykker

### 4.1 Når ender uønskede hendelser som store ulykker?

Ikke alle uønskede hendelser under transport ender som store ulykker. I 2003 gransket Havarikommisjonen for sivil luftfart og jernbane 145 uønskede hendelser i luftfart. Kun 23 av disse var ulykker. 10 hendelser er klassifisert som alvorlige (Havarikommisjonen for sivil luftfart og bane, årsrapport 2003). Dette kan eksempelvis omfatte nærpasseringer av fly. Kan man si noe generelt om betingelsene for at uønskede hendelser skal utvikle seg til store ulykker, respektive at man klarer å avbryte hendelsesforløpet før en ulykke har fått et stort omfang? Dette spørsmålet er drøftet av Jersin (2004). Her skal kun noen hovedpunkter i drøftingen nevnes.

Det er tatt utgangspunkt i en modell der hendelser som ender som ulykker kan tenkes avbrutt på ulike trinn av hendelsesforløpet, ved hjelp av sikkerhetsbarrierer. Med slike barrierer menes tekniske, organisatoriske eller andre planlagte og iverksatte tiltak som har til hensikt å bryte en identifisert uønsket hendelseskjede (Jersin 2004). Slike barrierer kan for eksempel være tiltak som skal hindre avvik fra normal drift fra å oppstå, varsle om avvik når de har oppstått, iverksette tiltak for å korrigere avvik før de får skadelige konsekvenser, eller begrense omfanget av konsekvensene etter at en uønsket hendelse har inntruffet. Figur 11 viser en prinsippskisse av en modell av årsaker til uønskede hendelser og konsekvenser av slike hendelser, der sikkerhetsbarrierer er angitt i form av trekantene som avbryter et hendelsesforløp på et bestemt trinn i prosessen.

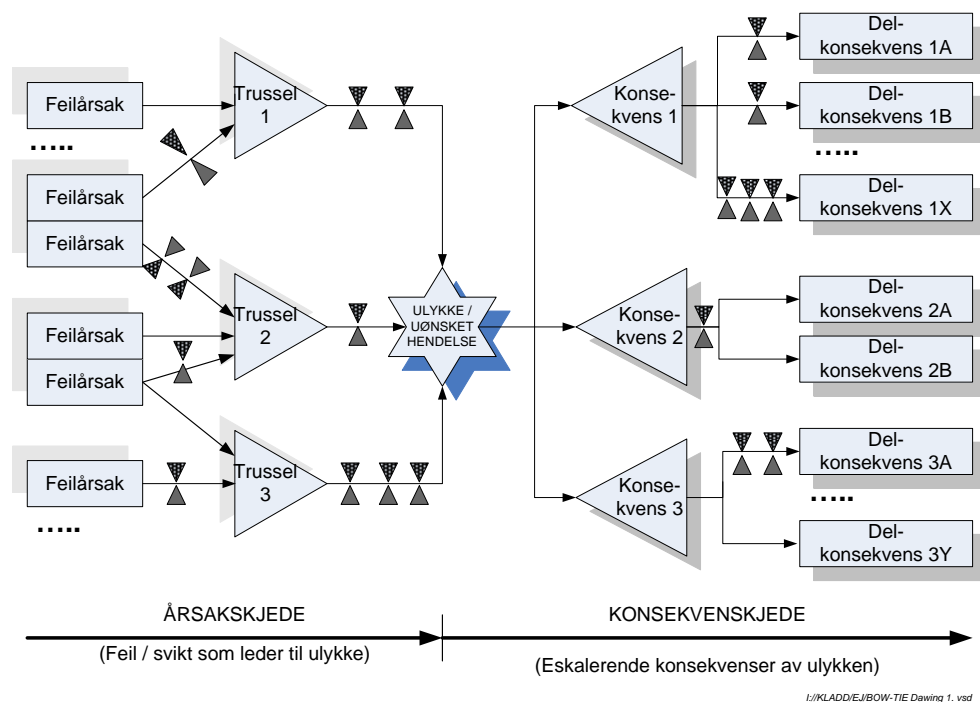
Barrierene kan enten bidra til å forhindre at ulykken (skaden/tapet) i det hele tatt inntreffer, eller de kan bidra til å redusere konsekvensene (omfanget av skade/tap). Starten på den uønskede hendelseskjeden betegnes ofte som *den initierende hendelsen*. Det vil alltid være årsakssammenheng mellom den initierende hendelsen og ulykken / nestenulykken. I noen sammenhenger kan det være hensiktsmessig å skille mellom den initierende hendelsen og det som forårsaker denne - det initierende *avviket*.

I enhver prosess skjer det til daglig en rekke slike større eller mindre avvik. De færreste av avvikene vil imidlertid lede til en ulykke, og enda færre til en stor ulykke. Både årsaker til ulykker og konsekvensene påvirkes av bestemte egenskaper eller kjennetegn ved det systemet som hendelsen inntreffer i. Med "system" menes her kombinasjonen av teknologi, menneske, organisasjon og ytre forhold. Størst mulighet for å utvikle seg til en storulykke har hendelser som inntreffer i systemer som er karakterisert ved ett eller flere av følgende faktorer eller særtrekk:



- Store energikonsentrasjoner
- Høy utløsningshastighet av energien
- Mange sårbare objekter
- Manglende ”forsvar i dybden” (det vil si få barrierer og liten redundans)
- Liten feiltoleranse
- ”Tette koblinger” (det vil si få muligheter til å improvisere når noe har gått galt)
- Uheldige omstendigheter av tilfeldig art

De nevnte faktorene vil være felles for de fire transportområdene, men vekten vil være ulik.



Figur 11: Modell av en ulykkesprosess med sikkerhetsbarrierer. Kilde: Jersin 2004

## 4.2 Fire hendelser i Norge

I Jersins rapport, er fire hendelser i Norge beskrevet, med sikte på å forklare hvorfor to av dem endte som dødsulykker, mens de to andre ikke gjorde det. De fire hendelsene er:

- **SJØFART:** Hvorfor utviklet grunnstøtingen av MS Sleipner i 1999 seg til en storulykke med 16 omkomne, når alle i utgangspunktet kunne/burde ha overlevd?
- **LUFTFART:** Hvorfor utviklet ikke nærpaseringen av to Boeing-fly over Meråker i 1997 seg til en storulykke med 261 omkomne, når alt lå til rette for det?

- JERNBANE: Hvorfor forårsaket Lillestrøm-ulykken i 2000 bare materielle skader, når den kunne ha utslettet store deler av Lillestrøm og dens befolkning?
- VEGTRAFIKK: Hvorfor omkom 2 personer og hvorfor ble 8 skadet ved sammenstøtet mellom et vogntog, en personbil og en buss ved Svorkmo i Orkdal 1995?

Ved Sleipnerforliset i 1999 ble ingen skadet i sammenstøtet med skjæret båten gikk på. Under evakuering gikk imidlertid mye galt og 16 mennesker omkom. Ulykken har vært gransket av en granskningskommisjon. På grunnlag av denne granskningen kan det konkluderes med at ulykken og dens utfall skyldes svikt i en rekke sikkerhetsbarrierer. Barrierene fantes, men virket ikke slik de skulle. Dette viser at det ikke er mulig å forebygge store ulykker bare ved å etablere sikkerhetsbarrierer. Man må, som blant annet Reason (1997) påpeker, også etablere et "forsvar i dybden". Dette innebærer for det første at man har redundans, det vil si mer enn en barriere for hver farekilde som skal dekkes. Det betyr at hvis en barriere svikter, trer en annen i funksjon. For det andre, må personell som skal betjene et system i en kritisk situasjon læres opp i hvordan barrierene fungerer. For det tredje, må man enten ved øvelser eller fullskalaforsøk forsikre seg om at barrierene fungerer slik de skal. Dette er naturligvis meget strenge krav, siden mennesket ikke har fantasi til å forestille seg alt som kan gå galt og måtene det kan gå galt på.

Den 17. desember 1997 kl. 16.42 passerte to Boeing 737 fly hverandre i samme flyhøyde over Meråker med en horisontal separasjon på bare mellom 100 og 200 meter. Det ene flyet var en SAS-maskin på vei sydover, det andre et nordgående fly fra Air Europa (AEA). Flyene hadde til sammen 261 mennesker om bord. Den direkte årsaken til hendelsen (klassifisert som "ukontrollert nærpassering") var at de to flyene ble klarert for samme flyhøyde og møtende kurs av en flygeleder i Trondheim kontrollsentral. I rapporten fra daværende Havarikommisjonen for Sivil Luftfart (HSL) hevdes det at: "*Med dagens nøyaktige navigasjonssystemer, kunne en tilsvarende hendelse med to like flyindivider fra et og samme selskap og med identisk navigasjonsutstyr, fått et katastrofalt utfall.*" I klartekst ville flyene med andre ord ha kollidert i luften. Når de i dette tilfellet gikk klar av hverandre med en margin på 100-200 meter i horisontalplanet, skyldes det at navigasjonsinstrumentene var programmert ørlite grann forskjellig i de to flyselskapene. Sett i lys av barriereperspektivet kan det følgelig karakteriseres som en ren tilfældighet at hendelsen ikke fikk katastrofale følger.

Den 5. april 2000 kjørte et godstog fra Oslo med ni vogner inn i et annet godstog som sto på Lillestrøm stasjon og ventet på klarsignal for utkjøring i retning Trondheim. Førstnevnte tog hadde to tankvogner nærmest lokomotivet, hver lastet med ca. 46 tonn kondensert propan. Kollisjonshastigheten var ca. 62 km/t. Den ene propantanken sprang lekk, og den utstrømmende gassen ble antent ca 10 minutter etter sammenstøtet. Dette førte til oppvarming av tanken. I en slik situasjon vil det innvendige gasstrykket øke på grunn av oppvarmingen, samtidig som materialet som tanken er laget av, svekkes lokalt. Dersom ikke ilden slukkes eller tanken kjøles tilstrekkelig ned med vann, vil resultatet oftest bli at tanken til slutt revner. Det vil da oppstå en trykkbølge og en stor, kuleformet sky av gass og luft som forbrenner med stor hastighet, en såkalt brannball. Beregninger i ettertid

viste at ildkulen ville hatt en diameter på 200 meter sett ovenfra, og at det bare var minutter fra at dette hendte. Hendelsen ville i så fall ha utslettet store deler av Lillestrøm pga trykket, varmestrålingen og antennelse av bygninger. Mennesker som ikke var evakuert, ville antakelig ha omkommet innenfor en radius på mange hundre meter (NOU 2001: 9). Det var flere mangler og svakheter ved sikkerhetsbarrierene på årsakssiden. Dette var årsaken til at kollisjonen inntraff. Når konsekvenskjeden ble avbrutt før en brannball oppstod, skyldes det en kombinasjon av tidlig varsling, brannvesenets beredskap, god vannforsyning på åstedet, råd fra tilkalte eksperter, og et ikke ubetydelig element av tilfeldigheter. Enkelte heldige omstendigheter fikk denne gangen større betydning enn de uheldige.

Søndag 25. november 1995 kl. 14.25 fikk et vogntog på vei fra Orkdal til Fredrikstad sleng på tilhengeren i en kurve. Hengeren kom over i motsatt kjørebane, der den først kolliderte med en møtende personbil og deretter med en møtende buss. I personbilen ble 2 personer skadet. I bussen omkom 2 passasjerer og 6 ble skadet da bussen kjørte av vegen, fortsatte ned en skråning og ned i elven Orkla, ca. 25 meter nedenfor. De materielle skadene var også meget store. Når konsekvensene av de to kollisjonene ble som de ble - to omkomne og 8 skadet – kan en anta at det skyldes at enkelte barrierer på konsekvenssiden enten manglet eller ikke ble brukt (for eksempel vegrekkverk eller sikkerhetsbelter i bussen), mens andre barrierer kanskje fungerte tilfredsstillende (for eksempel støtabsorberende karosseri og/eller kollisjonsputer i personbilen).

### **4.3 Muligheter for å forebygge store ulykker**

Så vel norsk statistikk som de fire eksemplene som ble drøftet i avsnitt 4.2 viser at det langt på veg kan være tilfeldig om en uønsket hendelse ender som en stor ulykke. I tidligere tider trodde man at ulykker som opptrådte tilfeldig ikke kunne forebygges. Tanken var vel noe i retning av følgende: Hvis man ikke kan peke på noen årsaksfaktorer bak ulykkene, kan de heller ikke forebygges. Hvis ulykker er rent tilfeldige hendelser, har de ikke årsaker. De bare skjer (Haight 1980).

Disse synspunktene beror på misforståelser. Når ulykker sies å inntreffe tilfeldig, betyr det at det ikke er noe systematisk mønster i fordelingen av ulykker i tid og/eller rom. I kapittel 2 ble eksempelvis påvist at store ulykker har vært tilfeldig fordelt over år etter 1970 i Norge. Det betyr at det i denne perioden ikke kan pekes på ett bestemt år der store ulykker var mer eller mindre sannsynlige enn noen av de andre årene. En slik observasjon sier i seg selv ingen ting om mulighetene for å forebygge ulykkene.

På samme måte kan man si at den enkelte ulykke er en tilfeldig hendelse i den forstand at vi aldri kan forutsi nøyaktig når og hvor den vil skje. Hadde vi kunnet det, ville ulykken høyst sannsynlig ikke ha skjedd. Men det betyr ikke at ulykken ikke har årsaker, eller at disse årsakene ikke – i det minste delvis – kan bringes under menneskelig kontroll.

Det var ren flaks – tilfeldig hell, med andre ord – at nærpasseringen av to fly over Meråker i 1997 ikke endte med kollisjon midt i luften. Betyr det at slike hendelser er umulige å forebygge? Slett ikke. I dag er store passasjerfly utstyrt med

antikollisjonssystemer som, om de virker etter hensikten, skal hindre kollisjoner midt i luften. Slik teknologi reduserer sterkt sannsynligheten for slike ulykker.

Martland med flere (2001) har studert mulighetene for å forebygge togulykker med avansert teknologi for togframføring. Tog kan utstyres med ATC-teknologi (ATC = Automatic Train Control) som i sin mest avanserte utgave bremser og stanser tog som har passert stoppsignal, hindrer at tog kjører over fartsgrensen på banestrekningen og varsler om sporbrudd, slik at toget kan stanses før man kommer til bruddstedet. Toget utstyres med en datamaskin som optimaliserer senketiden for bommer ved planoverganger, og dermed unngår problemet med at bommene senkes så lenge før toget kommer at vegtrafikanter som ikke vil vente tar sjansen på å passere mellom senkede bommer. Martland med flere (2001) har anslått at den mest avanserte teknologien kan redusere antall togulykker med over 80%. De ulykkene som fremdeles skjer, vil skje ved lavere fart og dermed få mindre alvorlige konsekvenser.

European Transport Safety Council (1996A, 1996B) peker på muligheter for å forebygge flyulykker eller gjøre konsekvensene av dem mindre alvorlige. Organisasjonen argumenterer for at anonym rapportering av uønskede hendelser til en felles database drevet av EU kan bedre flysikkerheten. Begrunnelsen for dette forslaget, er at interne rapporteringsordninger i flyselskapene ikke alltid fungerer særlig godt, både fordi anonymitet kan være vanskelig å få til og fordi det enkelte ganger har vist seg at ansatte som har meldt fra om feil de har begått, er blitt sanksjonert av selskapet for disse feilene. Enhver motivasjon for å melde fra om feil faller bort, dersom det eneste man oppnår med dette er å miste jobben, bli omplassert, miste lønnstillegg, eller bli rammet av andre negative personlige konsekvenser.

I en annen rapport peker European Transport Safety Council (1996B) på at andelen som overlever flyulykker kan økes ved en rekke tekniske tiltak i flykabinen. Den samlede virkningen av tiltakene er anslått til 31% økning av overlevelseshraten ved flyulykker, med andre ord at 31% flere ville overleve enn tilfellet er i dag. En slik beregning er naturligvis usikker, men viser at det fremdeles finnes tekniske forbedringer som kan redusere dødeligheten ved flyulykker.

I vegtrafikk finnes det en rekke tiltak som kan redusere såvel ulykkestallene som konsekvensene av ulykker (Elvik 1999). Det er ingen ting som tyder på at mulighetene for å redusere antall drepte i trafikken er oppbrukt.

Hva er lettest å forebygge? Store eller små ulykker? Det er umulig å gi et klart svar på dette spørsmålet. I de fleste transportgrener, og spesielt i vegtrafikk, er små ulykker mer tallrike enn store. Grunnlaget for statistiske analyser er derfor bedre for små ulykker enn for store. Det betyr at man rent statistisk lettere kan påvise risikofaktorer for små ulykker enn for store. Gjennom å identifisere risikofaktorer som bidrar til ulykkene, kan man utvikle forebyggende tiltak.

Store ulykker, som forekommer vesentlig sjeldnere enn små, egner seg ikke så godt for statistisk analyse. Mange store ulykker i transport kan beskrives som "organisatoriske ulykker", et navn James Reason (1997) har gitt ulykker som skjer i store bedrifter. Risikofaktorene bak organisatoriske ulykker kan være andre enn risikofaktorene bak små ulykker, som ikke skjer i en bedrift. I en bedrift kan ulykker knyttes til økonomiske og organisatoriske forhold på en annen måte enn

ulykker som skjer i privat transport. En bedrift kan for eksempel lettere benytte belønning som virkemiddel for å øke sikkerheten enn de muligheter man har for å belønne uorganiserte operatører for sikker atferd. En bedrift kan etablere rutiner som hindrer at uheldig praksis og uvaner utvikler seg. Eksempelvis benytter SAS ikke faste par av kapteiner og styrmenn på sine fly, men roterer bemanningen, slik at kaptein og styrmann ikke skal bli så godt kjent med hverandre at de etablerer uformelle rutiner seg i mellom som går på tvers av selskapets formelle sikkerhetsrutiner. En bedrift kan også etablere systemer for å rapportere uønskede hendelser, som, hvis de fungerer optimalt, kan gi signaler om at noe er galt før en stor ulykke har skjedd. I en bedrift vil dessuten ansvaret for sikkerheten være tydeligere beskrevet og klarere plassert enn tilfellet er for uorganisert transport.

Selv om sjeldenheten av store ulykker gjør det vanskelig å finne forebyggende tiltak gjennom statistiske analyser, kan man fordi slike ulykker er organisatoriske finne forebyggingsmuligheter som ikke like lett kan benyttes i uorganisert transport. Det er derfor ingen grunn til å tro at store ulykker skulle være vanskeligere å forebygge enn små ulykker.

## 5 Analyse og prediksjon i statistikkens grenseland

Hvor godt kan vi anslå hyppigheten av store ulykker? Når hendelser blir sjeldne nok, ender vi i statistikkens grenseland, der vanlige statistiske metoder kommer til kort som grunnlag for å si hvor ofte en hendelse kan forventes (i ordets statistiske forstand; det vil si forventningen (gjennomsnittet) til en stokastisk variabel) å forekomme. Selv om vi kommer til at det er mulig å anslå det langsiktige forventede antall storulykker i transport, har et slikt anslag den store begrensningen at det ikke sier noe om når eller hvor neste store ulykke vil skje. Er den forventede hyppigheten lav (1 ulykke per 100 år), kan neste ulykke like gjerne skje om hundre år som i neste uke. Det eneste en beregnet hyppighet sier, er at en stor ulykke kan forventes å skje en gang per hundre år. Men det betyr ikke nødvendigvis at det vil skje en ulykke i det hele tatt de neste 100 år; samtidig kan altså ulykken skje i morgen. Ingen av disse utfallene er uforenlige med den beregnede hyppigheten. Slik sett er en hypotese om at det i gjennomsnitt i det lange løp vil skje en stor ulykke per 100 år knapt empirisk testbar. Kun et meget klart avvikende utfall, som at det skjedde 7 eller 8 ulykker i løpet av 100 år, ville avsanne hypotesen. I dette kapitlet drøftes hvordan usikkerheten i beregnet langsiktig hyppighet av store ulykker i transport kan tallfestes.

### 5.1 Usikkerhet i forventet antall store ulykker per år

I kapittel 2 ble det vist at store ulykker i transport i Norge opptrer tilfeldig. Det er følgelig naturlig å beregne usikkerheten i det langsiktige, forventede antall ulykker per år ved å anta at dette tallet representerer forventningen i en Poisson-fordeling. Standardavviket til gjennomsnittet (standard error of the mean) kan da beregnes ved å ta utgangspunkt i det ulykkestall som ligger til grunn for den beregnede langsiktige hyppigheten.

Konfidensintervallet for det forventede antall ulykker i observasjonsperioden er beregnet ved å anta at ulykkestallet er Poisson-fordelt. Nedre grense i intervallet bestemmes slik at hvis Poisson-fordelingen har dette som forventning blir sannsynligheten 0,025 for å observere et ulykkestall like stort eller større enn det faktiske. Øvre grense i intervallet bestemmes slik at hvis dette er forventningen blir sannsynligheten 0,025 for å observere et ulykkestall like stort eller mindre enn det faktiske. Beregningen ble foretatt ved systematisk å forsøke ulike forventningsverdier til den riktige ble funnet. Beregning av sannsynligheter og søk ble gjort i et program skrevet i C.

Konfidensintervallet for forventet årlig antall ulykker finnes ved å dividere nedre og øvre grense i konfidensintervallet for forventet antall ulykker i observasjonsperioden med antall år.

De tall som i kapittel 3 oppgis for det forventede årlige gjennomsnittlige antall store ulykker, bygger også på utenlandske erfaringstall og antakelser om fremtidig utvikling av hyppigheten av store ulykker. Tallene er derfor ikke identiske med de historisk observerte norske tallene. Tallene må til en viss grad sies å være anslått skjønnsmessig, men de avviker i de fleste tilfeller ikke vesentlig fra de norske historiske erfaringstallene. Ved beregning av usikkerhet, er det følgelig valgt å ta utgangspunkt i de norske ulykkestallene, så langt dette er mulig.

Tabell 12 oppgir 95% konfidensintervaller for beregnet langsiktig hyppighet av store ulykker knyttet til transport i Norge.

Tabell 12: Forventet årlig hyppighet av store ulykker knyttet til transport i Norge og usikkerhet i den forventede årlige hyppigheten

Drepte per ulykke	Forventet årlig antall ulykker med N eller flere drepte – 95% konfidensintervall i parentes under hvert tall				
	Veg	Luft	Sjø	Jernbane	Alle
5 eller flere	0,50 (0,29 – 0,86)	0,50 (0,33 – 0,761)	0,70 (0,48 – 1,03)	0,10 (0,04 – 0,26)	1,800 (1,408 – 2,303)
11 eller flere	0,05 (0,01 – 0,28)	0,20 (0,10 – 0,39)	0,15 (0,07 – 0,35)	0,05 (0,02 – 0,18)	0,450 (0,279 – 0,731)
21 eller flere	0,002 (0,000 – 0,184)	0,10 (0,04 – 0,26)	0,10 (0,02 – 0,56)	0,025 (0,006 – 0,139)	0,227 (0,106 – 0,494)
51 eller flere	0,000 (udefinert)	0,05 (0,02 – 0,18)	0,05 (0,01 – 0,28)	0,005 (0,000 – 0,092)	0,105 (0,038 – 0,307)
101 eller flere	0,000 (udefinert)	0,025 (0,006 – 0,139)	0,025 (0,006 – 0,139)	0,000 (udefinert)	0,050 (0,015 – 0,181)

Kilde: TØI rapport 748/2004

Man kan se at usikkerheten i de anslåtte langsiktige verdiene for forventet antall storulykker per år er betydelig. Konfidensgrensene er ikke symmetriske rundt forventningsverdien

## 5.2 Sannsynlighetsfordelinger for store ulykker

De store ulykkene inntreffer tilfeldig. Man kan dermed beregne sannsynligheten for at det skal skje 0, 1, 2, osv ulykker i løpet av et år ved å legge den beregnede gjennomsnittsverdien til grunn og forutsette at ulykkene er Poissonfordelt. Tabell 13 viser beregnede årlige sannsynligheter, basert på nedre 95% konfidensgrense for gjennomsnittlig antall ulykker per år (beste utfall) og øvre 95% konfidensgrense for gjennomsnittlig antall ulykker per pr (verste utfall).

Dersom man ser alle transportgrener under ett, er det mest sannsynlig at det i et normalt år vil inntreffe 1 eller 2 store ulykker i transport, avhengig av om man legger laveste eller høyeste anslag for den langsiktige hyppigheten til grunn. Dette stemmer godt overens med historiske erfaringer. I bare 5 av de 32 årene 1970-2001 skjedde det ingen store ulykker i transport i Norge.

Tabell 13: Sannsynlighet for at det skal inntreffe 0, 1, 2 og så videre store ulykker i transport i Norge hvert år, basert på nedre og øvre 95% konfidensgrense for gjennomsnittlig antall store ulykker per år

Sannsynlighet for 0, 1, 2, osv store ulykker (minst 5 drepte) i transport i Norge i løpet av et år, beregnet på grunnlag av nedre (beste) og øvre (verste) konfidensgrense for gjennomsnittlig antall store ulykker per år										
	Veg		Luft		Sjø		Bane		Alle	
Ulykker	Beste	Verste	Beste	Verste	Beste	Verste	Beste	Verste	Beste	Verste
0	0,745	0,425	0,720	0,466	0,621	0,356	0,960	0,774	0,245	0,100
1	0,219	0,364	0,236	0,356	0,296	0,368	0,039	0,198	0,344	0,230
2	0,032	0,155	0,039	0,136	0,070	0,190	0,001	0,025	0,242	0,265
3	0,003	0,044	0,004	0,035	0,011	0,065	0,000	0,002	0,114	0,203
4-	0,000	0,011	0,000	0,008	0,001	0,021	0,000	0,000	0,055	0,201

Kilde: TØI rapport 748/2004

De beregnede sannsynlighetene varierer mye mellom transportgrener, og avhengig av om man legger laveste (beste) eller høyeste (verste) anslag for den forventede hyppigheten til grunn. Dette viser at vi ikke bør bli overrasket dersom det, for eksempel, er 3 år på rad uten at noen stor ulykke i transport inntreffer. Vi bør heller ikke bli overrasket, eller oppfatte det som et tegn på forverret sikkerhet, dersom det skulle inntreffe, for eksempel, 3 store ulykker i løpet av et år. Ingen av disse utfallene er så usannsynlige at de i seg selv tilsier at de beregnede langsiktige hyppighetene er gale.

Man bør likevel oppdatere beregninger av langsiktige hyppigheter av store ulykker for hver ny ulykke som skjer. Det er så få store ulykker i transport, at hver ulykke vil påvirke anslaget for gjennomsnittlig antall ulykker per år i det lange løp.

### 5.3 Oppdatering av anslag på hyppighet av store ulykker

Hvordan bør anslag på hyppigheten av store ulykker oppdateres når det inntreffer en ny stor ulykke?

Dette spørsmålet drøftes blant annet av Evans (2003A). Hans hovedsynspunkt er at i en transportgren det der skjer mange ulykker, og de fleste ulykker er små, kan man benytte gjennomsnittstall for et lite antall år, for eksempel de siste fire eller fem år, som anslag på forventet antall ulykker eller forventet antall drepte. I Norge er vegtrafikk den eneste transportgrenen som er kjennetegnet av mange små og få store ulykker.

I transportgrener der det skjer få ulykker, og der ulykker med mange drepte bidrar relativt mye til det totale antallet drepte, anbefaler Evans at man benytter historiske data for en relativt lang periode, det vil si minst 25 år, og føyer en trendlinje til disse dataene. De historiske dataene bør omfatte alle ulykker, ikke bare de store. Oppdatering av forventet antall drepte skjer ved at man oppdaterer trendlinjen etter hver ny ulykke.

Evans sier ikke noe om hvor langt bakover i tid man skal gå for å finne en historisk trendlinje. Dette vil være et spørsmål om faglig skjønn. I luftfart, for eksempel, vet man at innføringen av jettfly på 1960-tallet bidro til å redusere



ulykkesrisikoen (Foreman 1993). Tidsrekker for flyulykker bør derfor neppe gå lengre tilbake i tid enn ca 1970. På samme måte argumenterer Evans (2004) for at 1967 er starten på "den moderne tid" i britisk jernbanedrift. Da ble dampdriften avvirket, alle strekninger hadde elektriske signaler og linjeblokk og mange spor var helsveiset. I Norge kan disse endringene tidfestes til ca 1970.

I neste kapittel av rapporten er trendlinjer for antall drepte i alle transportgrener vist for perioden etter 1970. For å illustrere hvordan man kan oppdatere forventet antall drepte på bakgrunn av nye store ulykker, er det laget et eksempel for luftfart og et for jernbane.

I luftfart var det i Norge i gjennomsnitt 17,4 drepte per år i perioden 1970-1995. En trendlinje basert på utviklingen i denne perioden ga et predikert antall drepte i 1996 på 15,4 personer. Trendlinjen viste en årlig nedgang i antallet drepte på 0,9 prosent. I 1996 inntraff flyulykken på Svalbard med 141 drepte. Det var til sammen 145 drepte i luftfart i Norge i 1996. Gjennomsnittlig antall drepte i perioden 1970-1996 var 22,1 personer per år. En trendlinje føyd til perioden 1970-1996 viste nå en tendens til økning av antall drepte per år og ga et predikert antall drepte i 1996 på 25,4 personer.

Vi ser at Svalbardulykken gir et utslag både på gjennomsnittet og på trendlinjen. Anslag på antall drepte basert på gjennomsnittet eller trendlinjen er likevel bedre uttrykk for det langsiktige, forventede antall drepte enn det registrerte tallet for 1996, som avviker betydelig fra det forventede tallet.

For jernbane var gjennomsnittlig antall drepte i perioden 1970-1999 11,9 personer per år. En trendlinje predikerte 4,3 drepte i år 2000. I 2000 inntraff Åstaulykken (19 drepte) og andre ulykker, slik at til sammen 30 mennesker omkom i jernbaneulykker det året. Gjennomsnittet for perioden 1970-2000 endret seg imidlertid lite i forhold til gjennomsnittet for perioden 1970-1999: fra 11,9 til 12,5 drepte per år. En trendlinje føyd til perioden 1970-2000 predikerte 6,3 drepte i 2000. Dette er et betydelig bedre anslag for den langsiktige forventede hyppigheten av antallet drepte i jernbaneulykker i Norge enn det registrerte tallet for året 2000. En indikasjon på at trendlinjen gir et brukbart anslag på forventet antall drepte, er at den for perioden 2001-2003 predikerer 16,9 drepte til sammen i jernbaneulykker. Faktisk antall drepte i denne perioden var 14.

Konklusjonen er at oppdatering av anslag på forventet antall drepte i en transportgren der store ulykker som inntreffer sjelden bidrar relativt mye til totalrisikoen bør bygge på oppdatering av en trendlinje eller et gjennomsnitt for en lang periode, fortrinnsvis minst 25 år. Det registrerte antallet drepte i år med en stor ulykke er ikke et forventningsrett anslag på antallet drepte i det lange løp.

## 6 Drøfting og konklusjoner

### 6.1 Bidraget fra store ulykker til samlet risiko

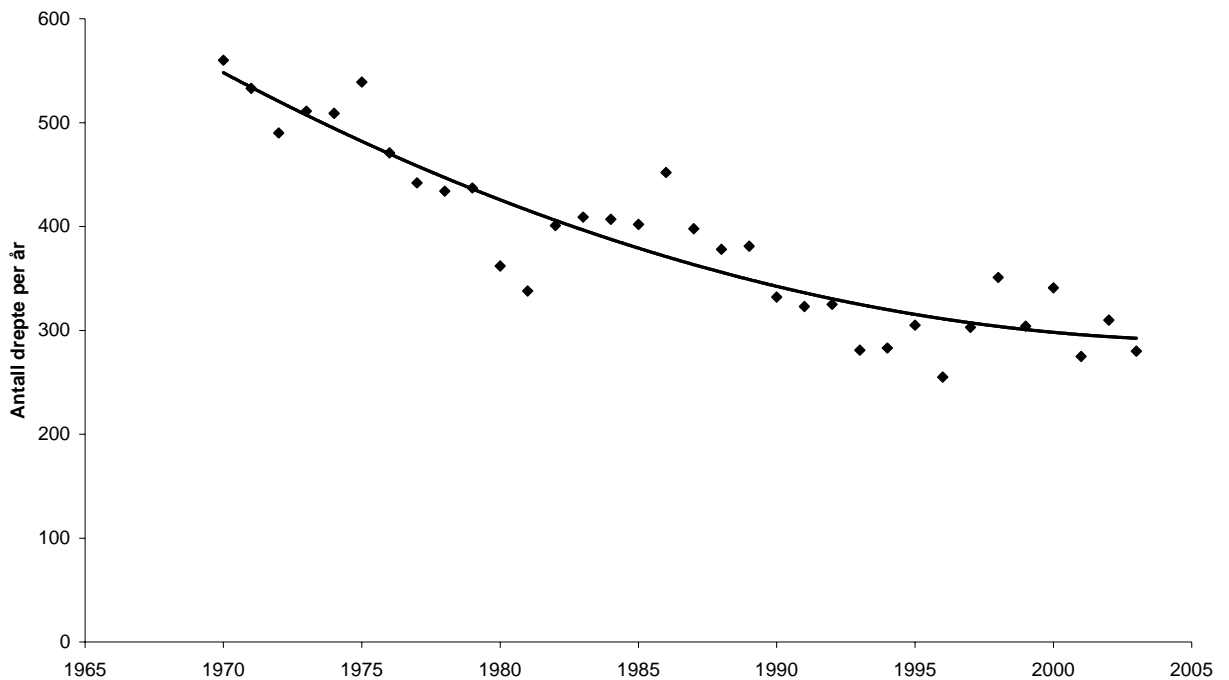
Store ulykker vekker enorm oppsikt. De fører som regel til at det nedsettes granskningskommisjoner, som ofte arbeider i flere måneder (noen ganger flere år) og gransker ulykkene i stor detalj. Det blir ofte rettssaker i kjølvannet av store ulykker. Store ulykker har ofte også konsekvenser for tekniske forskrifter, driftsrutiner og sikkerhetsbestemmelser. De kan føre til at kostbare sikkerhetsinvesteringer blir gjennomført.

Men bærer store ulykker nødvendigvis bud om at sikkerheten er blitt verre? Fortjener de store ulykkene den store oppmerksomhet de gis? Fører de til at innsatsen for å forebygge store ulykker går på bekostning av langt mer tallrike små ulykker? Er det rasjonelt å ha sterk aversjon mot store ulykker? I dette kapitlet drøftes disse spørsmålene, først ved at de store ulykkene settes inn i en større sammenheng, dernest ved å bringe inn noen beslutningsteoretiske og økonomiske perspektiver på katastroferisiko.

#### 6.1.1 Vegtrafikk: De store ulykkene drukner i mengden av de små

Figur 12 viser antall omkomne ved vegtrafikkulykker i Norge fra 1970 til og med 2003. Det høyeste antallet drepte i perioden ble registrert i 1970, 560 drepte. Det laveste tallet var 255 drepte i 1996. Det er en tendens til at antallet drepte har sunket over tid, men nedgangen synes å ha flatet ut de siste ti årene.

Den største ulykken i vegtrafikk i Norge var bussulykken i Måbødalen i 1988 med 16 drepte. Denne ulykken gir ingen synlige utslag i figur 12. Datapunktet for året 1988 ligger ikke markert høyere enn andre datapunkter. I vegtrafikk drukner de få store ulykkene i mengden av de små. I perioden 1985-2001 ble 70 mennesker drept i store ulykker i vegtrafikk, definert som ulykker med minst 5 drepte. Det var i denne perioden til sammen 5.446 drepte i vegtrafikkulykker. Andelen som ble drept i store ulykker var følgelig bare 1,3% av alle drepte. I vegtrafikk må en effektiv forebyggende innsats rettes mot den store mengden av ulykker der kun 1 eller 2 personer omkommer, ikke mot de ytterst få ulykker der det er 5 eller flere omkomne. Å fokusere på disse få ulykkene, er å vende oppmerksomheten bort fra det som er hovedproblemet i vegtrafikken. Sett i lys av den beskjedne andelen av alle drepte som de store ulykkene representerer i vegtrafikken, er det vanskelig å forestille seg at prioritering av trafiksikkerhetstiltak på grunnlag av en aversjon mot katastrofer representerer effektiv ressursbruk.



Kilde: TØI rapport 748/2004

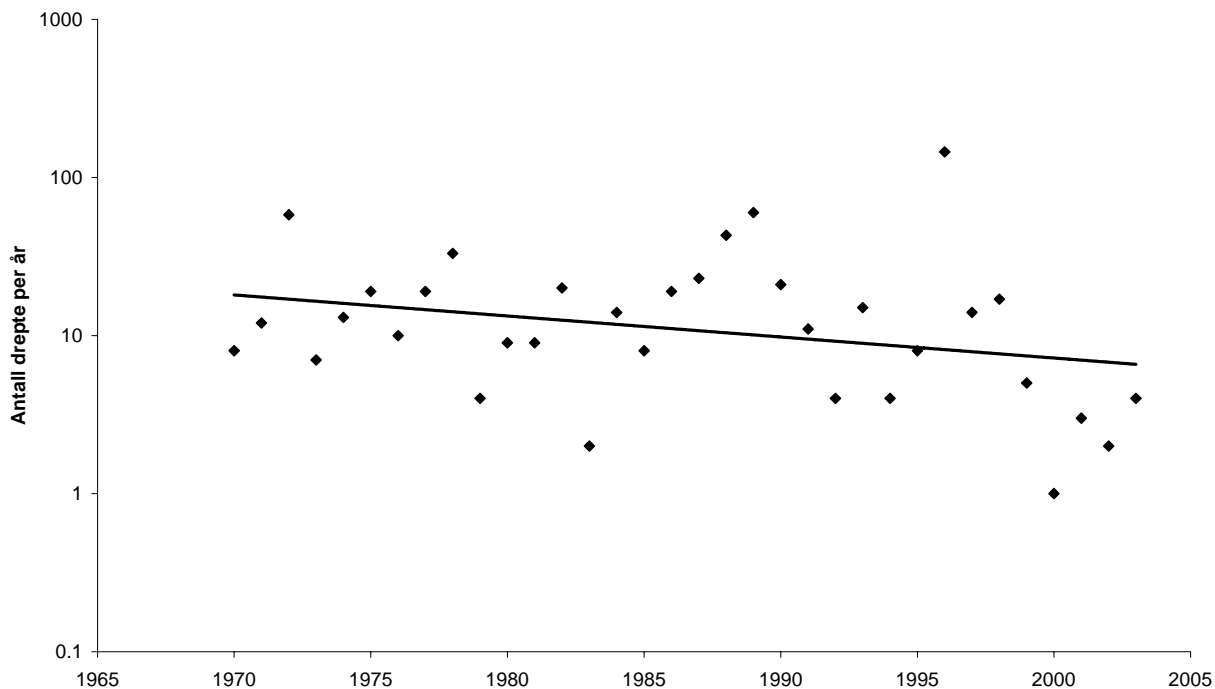
Figur 12: Antall drepte ved vegtrafikkulykker i Norge 1970-2003

### 6.1.2 Luftfart: Flest små ulykker, men en høy andel omkomne i store ulykker

Tabell 1 (side 3) viser at 423 mennesker er omkommet i store ulykker i luftfart i Norge i perioden 1970-2001. Det totale antall omkomne i flyulykker i samme periode var 638 mennesker. Andelen som omkom i store ulykker var 66,3%. Ved fire ulykker var utenlandske luftfartøy innblandet. Holdes disse utenfor, går antallet omkomne i store ulykker ned til 260 mennesker og totalt antall omkomne ned til 458 mennesker. Da er også ulykker med mindre enn 5 omkomne med utenlandsk luftfartøy holdt utenfor. Andel omkomne i "rene norske" store ulykker i luftfart blir da 56,8%. Dette gir et helt annet bilde enn vegtrafikkulykker. Figur 13 viser totalt antall omkomne i flyulykker i Norge, utenlandske fly medregnet, i perioden 1970-2003. Av hensyn til lesbarheten, er antall drepte avsatt på en logaritmisk skala.

De store ulykkene gir her tydelige utslag. Det er likevel ikke noe som tyder på at store ulykker varslers en forverring av flysikkerheten. I alle år etter 1999 (fem år) har antallet drepte vært mindre enn 10 per år, noe som tidligere ikke har vært registrert mer enn tre år på rad. En linje som beskriver den langsiktige utviklingen i antall drepte i flyulykker tyder på en svakt synkende tendens.

Siden en høy andel av de omkomne i flyulykker omkommer i store ulykker, kan katastrofeaversjon her muligens være en bedre begrunnet strategi for forebygging enn i vegtrafikk.



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 13: Antall drepte i flyulykker i Norge 1970-2003

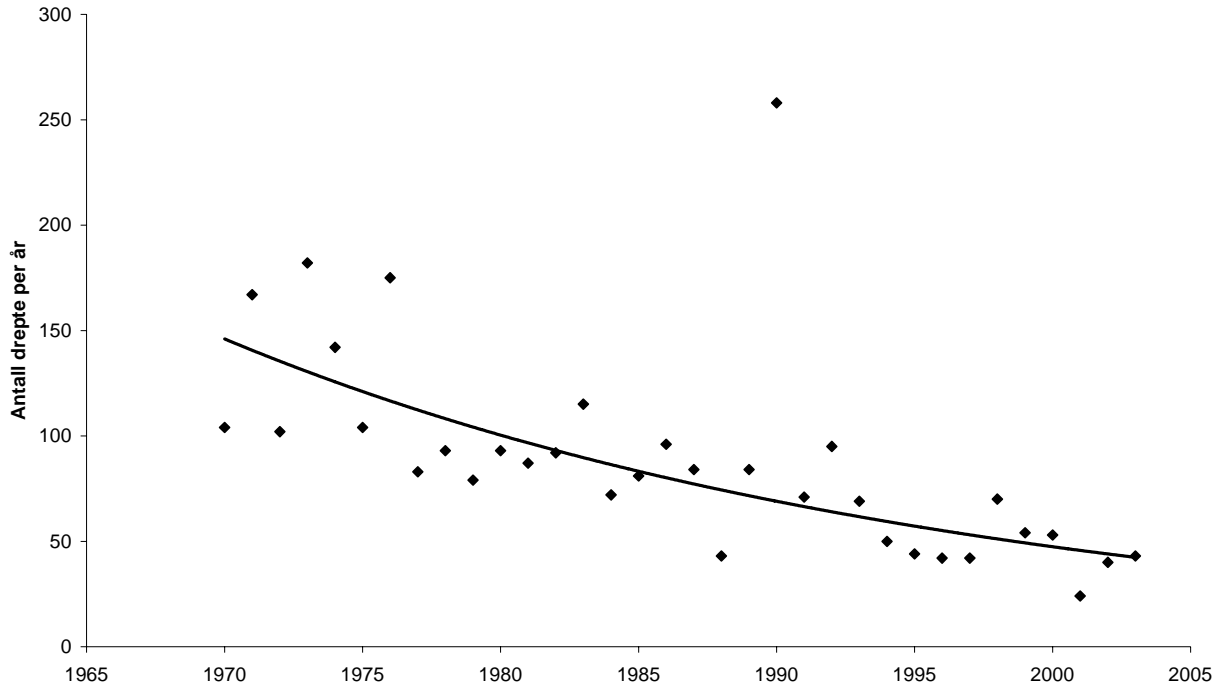
### 6.1.3 Sjøfart: Både små og store ulykker bidrar til risikoen

I sjøfart er 3.033 mennesker omkommet i perioden 1970-2003. 2.147 av disse er omkommet i ulykker med fritidsbåt. Alexander Kielland ulykken i 1980, som er inkludert i sjøulykkesstatistikken, er her ikke inkludert. Scandinavian Star ulykken i 1990, som ikke inngår i norsk sjøulykkesstatistikk, er her medregnet. Antall ulykker med fritidsbåt er oppgitt av Statistisk sentralbyrå (1970-1987) og Norsk Folkehjelp (1988-2003).

Figur 14 viser utviklingen av antallet drepte i perioden 1970-2003. Bidraget fra Scandinavian Star ulykken synes tydelig i figuren i form av et avvikende datapunkt for året 1990. Antall ulykker viser en synkende tendens over tid. Av de omkomne, er 11,9 % omkommet i store ulykker. Når småbåtulykkene medregnes, blir bidraget fra store ulykker i sjøfarten relativt lite. Ulykkesbildet minner mest om vegtrafikken.

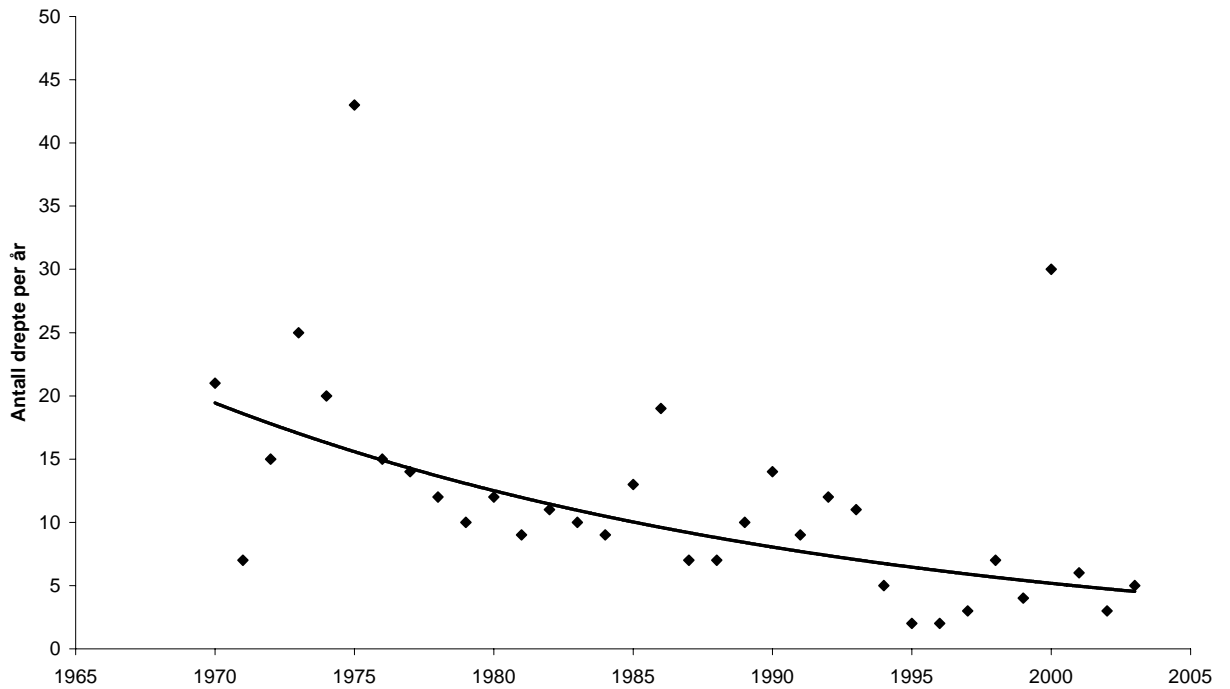
### 6.1.4 Jernbane: Flest små ulykker, store ulykker er sjeldne

Antall dødsulykker ved jernbanetransport viser en synkende tendens. Figur 15 viser antall drepte i forbindelse med jernbanetransport i årene 1970-2003. Tallene omfatter alle drepte, ikke bare reisende med tog. Det var til sammen 402 drepte i denne perioden, av dem 56 i store ulykker (ulykker med minst 5 drepte). Det vil si at 13,9% av de drepte har omkommet i storulykker. I figur 15 synes bidragene fra Trettenulykken i 1975 og Åstaulykken i 2000 tydelig. Datapunktene for disse årene ligger markert høyere enn de øvrige.



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 14: Antall drepte i sjøulykker 1970-2003. Ulykker med fritidsbåt er ikke inkludert



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 15: Antall drepte i jernbaneulykker 1970-2003

### 6.1.5 Ulik risikoprofil i ulike transportgrener

Sammenligningen av de ulike transportgrenene er oppsummert i tabell 14. Tabellen viser utviklingen av antallet drepte etter 1970 og andelen av alle drepte etter 1970 (etter 1985 for vegtrafikk) som har omkommet i store ulykker.

Tabell 14: Utvikling av antall drepte i ulykker etter 1970 i de ulike transportgrenene og andelen av de drepte som omkommer i store ulykker

Transportgren	Langsiktig utvikling av antall drepte (1970-2003)	Variasjon omkring langsiktig trend	Andel av de drepte i store ulykker (5- drepte)
Vegtrafikk	-2,0% per år	Noe, økende mot slutten	1,3%
Luffart	-3,1% per år	Meget stor	66,3%
Sjøfart	-3,8% per år	Ganske stor	11,9%
Jernbane	-4,4% per år	Forholdsvis liten	13,9%

Kilde: TØI rapport 748/2004

I samtlige transportgrener er det en tendens til at antallet drepte synker over tid. Denne tendensen er, kanskje noe overraskende, svakest i vegtrafikk, der den årlige prosentvise nedgangen i antallet drepte i perioden 1970-2003 var 2%. Tendensen til nedgang er klart svakere mot slutten av perioden enn tidligere. Faktisk beskrives den langsiktige utviklingen av antallet drepte i vegtrafikken best av et annengradspolynom som tilsier at nedgangen vil snu til økning etter ca 2006.

I luffart og sjøfart er variasjonene fra år til år antallet drepte store, slik at det knytter seg stor usikkerhet til den langsiktige utviklingen. For jernbanen er spredningen rundt trendlinjen mindre, unntatt i de to årene (1975 og 2000) da man hadde store ulykker.

## 6.2 Beslutningsteoretiske og samfunnsøkonomiske perspektiver på katastroferisiko

### 6.2.1 Mål som ikke lar seg forene: beslutningsteoretisk analyse

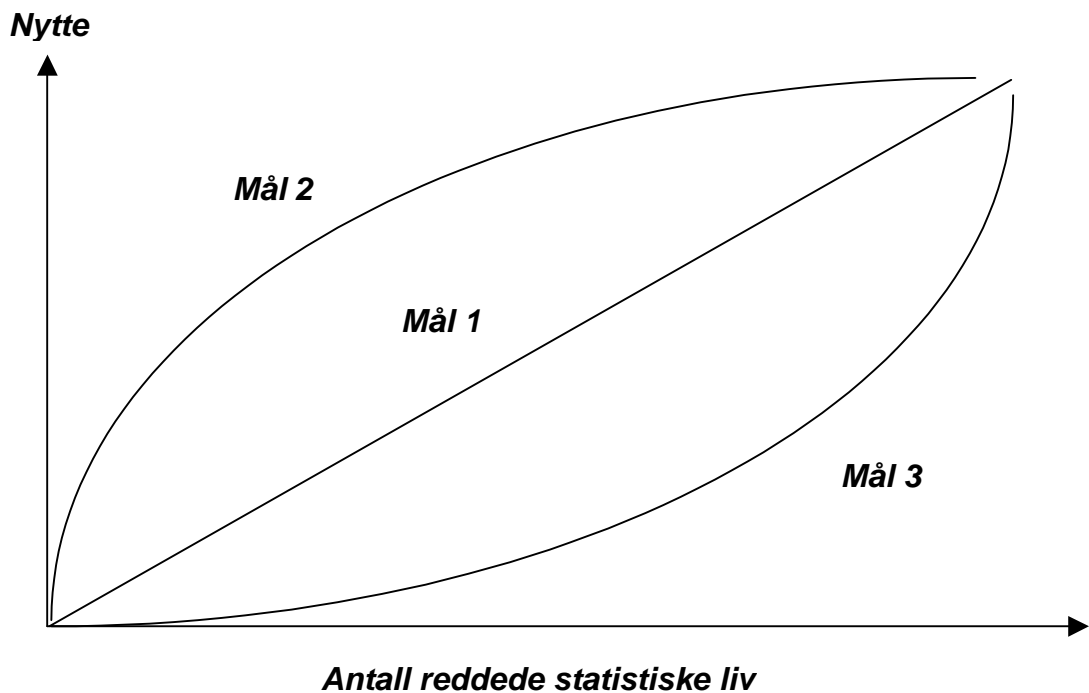
Ralph Keeney har en serie artikler (1980A; 1980B; 1980C; 1982) studert hvilken betydning myndighetenes mål ved regulering av risiko har for samfunnets vurdering av nytten av risikoreduserende tiltak. Keeney tar utgangspunkt i at tre mål kan tenkes for risikoregulerende tiltak:

1. Å forebygge så mange dødsfall som mulig (maksimere antall reddede statistiske liv)
2. Å oppnå en rettferdig fordeling av risiko (jevne ut forskjeller i risiko)
3. Å unngå katastrofer (reduere sannsynligheten for ulykker med mange drepte i samme ulykke)

Nytten av tiltak som fremmer disse målene forutsettes uttrykt i form av en nyttefunksjon. For hvert av målene har Keeney undersøkt hvilke egenskaper ved samfunnets nyttefunksjon for risikoreduserende tiltak som følger logisk av målet.

Samfunnets nyttefunksjon har antall reddede statistiske liv som argument (uavhengig variabel) og verdien (nytten) av å redde  $X$  liv som funksjonsverdi. Verdien av å redde  $X$  statistiske liv forutsettes å fremkomme som summen av individuelle verdsetninger av å redde ett statistisk liv.

Keeney viser at de tre målene impliserer ulike nyttefunksjoner som har ulik form. De ulike formene på nyttefunksjonen som kan utledes av mål 1 (redde flest mulig liv), mål 2 (redusere forskjeller i risiko) og mål 3 (forebygge katastrofer) er vist i figur 16.



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 16: Nyttefunksjoner for tiltak som forebygger dødsfall ved ulykker

Dersom mål nummer 1, om å redde flest mulig liv legges til grunn, må nyttefunksjonen for antall reddede statistiske liv være lineær. Jo flere reddede liv, desto større nytte. Dette innebærer igjen at befolkningens marginale verdsetting av redusert risiko må være uavhengig av risikonivået og tillegge ethvert reddet liv samme verdi. En slik forutsetning er i strid med den vanlige hypotesen i økonomisk teori om at verdsettingen av redusert risiko er høyest når risikoen er høy og avtar når risikoen blir lavere.

Dersom man verdsetter tiltak som reduserer høy risiko høyere enn tiltak som reduserer lav risiko, vil nyttefunksjonen for antallet reddede liv bli konkav (forutsatt at tiltakene prioriteres etter risikonivået og starter med å redusere den høyeste risikoen, går videre til den nest høyeste, osv). En slik form på nyttefunksjonen følger av mål nummer 2, om å jevne ut forskjeller i risiko.

Prioritering av tiltak på grunnlag av en slik nyttefunksjon fører ikke til at antall reddede liv maksimeres.

Målet om unngå katastrofer, dvs ulykker der mange blir drept i samme ulykke (mål nummer 3), impliserer en konveks nyttefunksjon, dvs at nytten av å redde  $X$  statistiske liv tiltar jo høyere  $X$  er. Jo større ulykker man kan forebygge, desto bedre. Som man kan se av figur 16 impliserer de tre målene ulike nyttefunksjoner. Det vil igjen si at det ikke finnes ett enkelt sett av økonomiske verdsettinger som gjør det mulig å nå alle målene samtidig.

Det er lett å lage regneeksempler som belyser hva målene om å redde flest mulig liv, jevne ut forskjeller i risiko og forebygge katastrofer innebærer i økonomiske termer. La oss anta at hver av 100 mennesker er utsatt for en risiko på 0,2 (per eksponeringsenhet, for eksempel milliard personkilometer). Risikoen er den samme for alle og i hver ulykke er det kun 1 drept. Forventet antall dødsfall er  $100 \cdot 0,2 = 20$ . Et tiltak som reduserer antall dødsfall med 50% vil forebygge 10 dødsfall. Hvis hvert unngått dødsfall verdsettes til 1, blir samlet verdi 10.

Anta nå at i en gruppe på 100 mennesker er 10 utsatt for en risiko på 0,8, 10 er utsatt for en risiko på 0,4 og 80 er utsatt for en risiko på 0,1. Forventet antall dødsfall er  $20 [(10 \cdot 0,8) + (10 \cdot 0,4) + (80 \cdot 0,1)]$ . Anta at en reduksjon av den høyeste risikoen som tilsvarer ett statistisk liv verdsettes til 3, en tilsvarende reduksjon av den nest høyeste risikoen verdsettes til 2 og en tilsvarende reduksjon av den laveste risikoen verdsettes til 1. Et tiltak som reduserer risikoen med 50% gjennomføres. Som i det første eksemplet reduserer man da forventet antall drepte med 10, men verdien av dette blir nå  $20 [(8 \cdot 0,5 \cdot 3) + (4 \cdot 0,5 \cdot 2) + (8 \cdot 0,5 \cdot 1)]$ . En reduksjon av den høyeste risikoen alene med 40% gir 3,2 færre drepte til en samlet verdi av  $3,2 \cdot 3 = 9,6$ , som er omtrent det samme som verdien av å redusere antall drepte med 10 når alle har samme risiko.

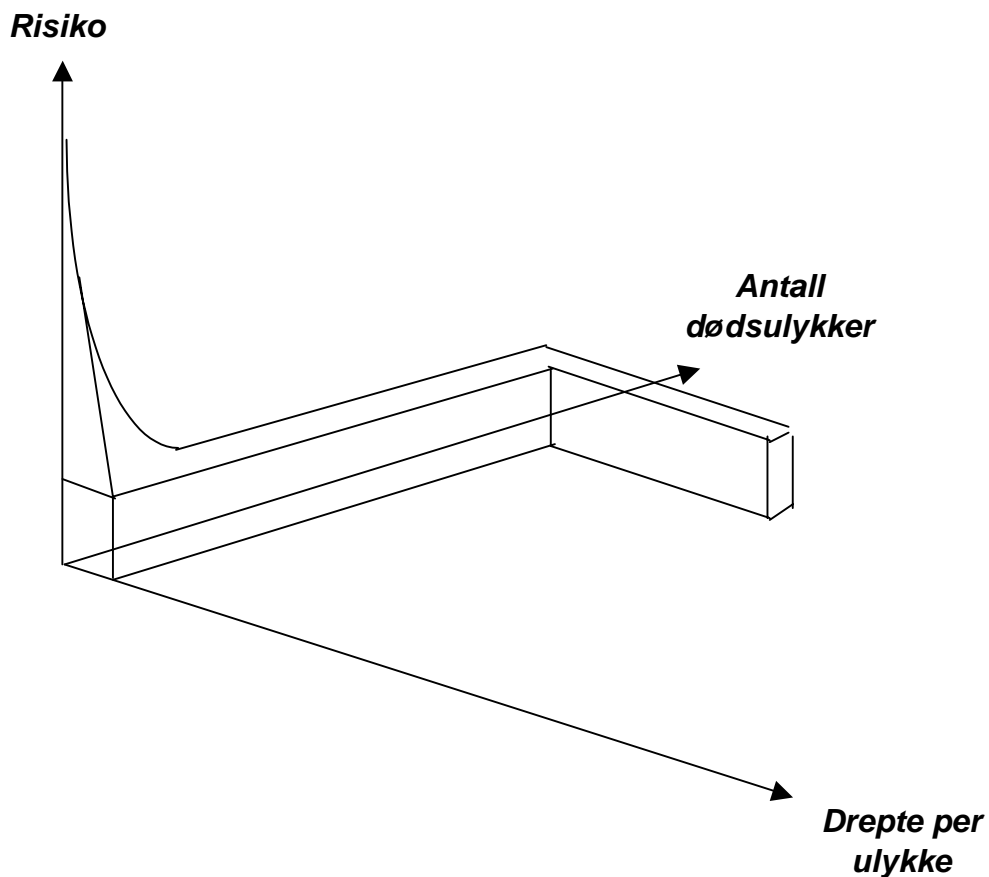
La oss til slutt anta at det i et transportsystem er en risiko på 0,1 for en ulykke med 50 drepte, en risiko på 0,2 for en ulykke med 20 drepte, en risiko på 0,5 for en ulykke med 10 drepte og en risiko på 0,3 for 20 ulykker, hver med 1 drept. Risikoen for hver av disse ulykkene er uavhengig av hverandre. Forventet antall drepte er  $20 [(50 \cdot 0,1) + (20 \cdot 0,2) + (10 \cdot 0,5) + (20 \cdot 1 \cdot 0,3)]$ . Anta at det er en sterk aversjon mot store ulykker, slik at en risikoreduksjon som tilsvarer ett statistisk liv verdsettes til 7 i den største ulykken (50 drepte), 4,5 i den nest største ulykken (20 drepte), 3 i den tredje største ulykken (10 drepte) og 1 i hver av ulykkene med 1 drept. Man kan da beregne at et tiltak som reduserer risikoen for hver ulykke med 50%, og som statistisk sett reduserer antallet drepte med 10, vil bli tillagt en verdi på 37. I dette eksemplet vil en reduksjon av risikoen for den største ulykken med 28%, som gir en reduksjon av forventet antall drepte med 1,4 personer, gi den samme nytten som en reduksjon av forventet antall drepte med 10 personer i det første eksemplet, der alle hadde samme risiko og store ulykker ikke forekom.



## 6.2.2 En multiattributiv nyttefunksjon for ulykkesforebygging

I Keeney analyse har alle de tre nyttefunksjonene antallet reddede liv som argument. Under en slik forutsetning er det riktig, som Keeney også viser matematisk, at nyttefunksjonene må ha ulik form og ikke kan oppsummeres av en enkelt økonomisk verdsetting. Dette betyr likevel ikke nødvendigvis at det er analytisk umulig å veie de tre målene han legger til grunn opp mot hverandre. Avveiningen forutsetter imidlertid at man "spenner ut" målene som tre ulike dimensjoner knyttet til transportrisiko og analyserer den vekt som skal tillegges hvert mål ved hjelp av en multiattributiv nyttefunksjon (Keeney og Raiffa 1976).

Figur 17 viser en prinsippskisse av tre dimensjoner, der den ene angir antall dødsulykker, den andre angir antallet drepte per dødsulykke (katastrofeaspektet) og den tredje angir risikoen for en dødsulykke per eksponeringsenhet (for eksempel milliard personkilometer). I figuren er konturene av risikomønsteret i vegtrafikk forsøkt skissert.



Kilde: TØI rapport 748/2004

Figur 17: Et tredimensjonalt bilde av risiko i vegtrafikken – prinsippskisse

Innerst på samtlige tre akser er en høy søyle som viser de transportmidler i vegtrafikk som har høyest risiko per personkilometer. Dette omfatter moped og motorsykkel, delvis også sykkel og gange. Dødsulykker med disse

transportmidlene medfører praktisk talt alltid kun 1 drept; en sjelden gang 2 drepte. Den høye søylen har derfor ingen utstrekning langs aksene for antallet drepte per ulykke. Lengst ute til høyre på aksene for antall dødsulykker finner vi bussulykker. Buss er et sikkert transportmiddel; risikoen er lav, men det kan forekomme ulykker med mange drepte. Dette er angitt ved rektangelet som peker bortover langs aksene for drepte per ulykke (men i figuren ikke ligger inntil denne aksene). Volumet av figuren er proporsjonal med det totale antallet drepte i vegtrafikkulykker.

La oss nå tenke oss at vi dekomponerer antallet drepte i bidrag fra tre kilder:

1. Drepte i ulykker der antallet drepte per ulykke er lite (la oss si under 5) og der risikoen for å bli drept er relativt lav.
2. Drepte i ulykker som inntreffer under ferdsel med transportmidler som har høy risiko. Antallet drepte i slike ulykker er i vegtrafikk lavt, men kan i prinsippet også være høyt).
3. Drepte i ulykker der det omkommer mange i en og samme ulykke, eksempelvis 5 eller flere drepte i samme ulykke.

Det viser seg for vegtrafikkens vedkommende at disse tre kildene er tilnærmet uavhengige av hverandre. Man kan dermed formulere følgende additive nyttefunksjon:

Nytte av bedre sikkerhet i vegtrafikk =

(Nyttevekt for reduksjon av antall drepte totalt x andel av de drepte) +

(Nyttevekt for reduksjon av høy risiko x andel av drepte utsatt for høy risiko) +

(Nyttevekt for reduksjon av store ulykker x andel av de drepte i store ulykker)

Det er logisk mest naturlig å inkludere alle drepte i den første av disse tre komponentene, siden man ut fra et mål om å redusere det totale antallet drepte ikke legger vekt på risikonivået eller antallet drepte per ulykke. I den andre komponenten kan man inkludere den andel av de drepte som er knyttet til transportmidler med høy risiko. I den tredje komponenten kan man inkludere andelen av de drepte som er knyttet til ulykker med mange drepte. Summen av de tre andelene, slik definert, vil bli mer enn 1. Hvis man ser det som ønskelig at andelene skal summere seg til 1, bør den første komponenten defineres slik det er gjort over, det vil si som drepte i små ulykker knyttet til transportmidler som ikke har unormalt høy risiko. Denne kategorien vil ikke overlape de to andre.

I vegtrafikk var i perioden 1998-2002 34% av de drepte knyttet til transportmidler der dødsrisikoen per personkilometer var høyere enn gjennomsnittet for vegtrafikk. På grunnlag av data for perioden 1985-2001 kan man anslå at 1,3% av de drepte i vegtrafikken omkom i ulykker med 5 eller flere drepte.

Nyttevekten for reduksjon i antallet drepte totalt settes lik 1. Nytevekten for drepte i transportmidler med høy risiko kan, eksempelvis, settes lik hvor mange ganger høyere risikoen er enn gjennomsnittet for vegtrafikk. For perioden 1998-2002 var dette ca 5,5 ganger høyere. Nytevekten for drepte i store ulykker kan,

igjen bare som et eksempel, settes lik antallet drepte per stor ulykke, som i perioden 1985-2001 var 6,4. Dermed får vi følgende multiattributive nyttefunksjon:

Nytte av færre drepte i vegtrafikk =  $(1 \times 1) + (5,5 \times 0,340) + (6,4 \times 0,013) = 3,67$ .

Her er første ledd knyttet til målet om å redusere det totale antallet drepte. Andre ledd er knyttet til målet om å redusere forskjeller i risiko. Tredje ledd er knyttet til målet om å unngå store ulykker. Det som bidrar mest til totalnyttens, er målet om å redusere forskjeller i risiko, som her bidrar med 51% til totalnyttens.

Nyttevektene som er brukt i dette eksemplet er selvsagt vilkårlige. Det står imidlertid enhver beslutningstaker fritt å tilordne de nyttevekter til de ulike målene som han eller hun ønsker. Poenget er kun å vise at det i prinsippet er mulig å estimere en multiattributiv nyttefunksjon der alle mål inngår.

For en mer teknisk innføring i estimering av multiattributive nyttefunksjoner og teorien bak disse, vises til Keeney og Raiffa (1976).

### 6.2.3 Samfunnsøkonomiske perspektiver

Økonomisk forskning om store ulykker har konsentrert seg om to hovedproblemstillinger:

1. Har store ulykker andre økonomiske virkninger enn små, som kan begrunne en aversjon mot store ulykker?
2. Blir reduksjon av risiko for ulykker med mange drepte verdsatt høyere enn reduksjon av risiko for ulykker med 1 drept?

Broder (1990) studerte hvordan 86 ulykker som hadde rammet børsnoterte selskaper i USA påvirket selskapenes børsverdi de første ukene etter ulykken. Han fant at børsverdien sank. Tapene i selskapenes børsverdi tilsvarte om lag 50 millioner dollar per liv som gikk tapt i ulykkene. Dette er betydelig høyere enn den verdi av et statistisk liv som fremkommer i verdsettingsstudier (se for eksempel Viscusi og Aldy 2003).

Forklaringen på at børsverdien til et selskap som rammes av en stor ulykke går ned, er at store ulykker forventes å redusere etterspørselen etter selskapets produkter, muligens etterspørselen i hele næringen. Dette har man sett flere eksempler på. Det kanskje klareste eksempel de siste år er den nedgang i flyreiser som kom etter terrorangrepene 11. september 2001, og som har ført til at flyselskaper over hele verden sliter tungt økonomisk.

Jones-Lee og Loomes (1994, 1995) fikk i oppdrag å undersøke folks verdsetting av sikkerheten på undergrunnen i London etter Kings Cross brannen i 1987, der 31 mennesker omkom. Denne brannen utløste krav om strengere sikkerhetstiltak på undergrunnsbanen, og London Transport ville vite om slike tiltak ble verdsatt høyere enn tiltak med tilsvarende risikoreducerende virkning i vegtrafikk. Jones-Lee og Loomes (1994, 1995) skiller mellom det de kaller en "skalaeffekt", det vil si en effekt av at mange mennesker omkommer i samme ulykke og en "konteksteffekt", det vil si en effekt av at man på undergrunnsbanen befinner seg under bakken, at det kan bli helt mørkt ved en ulykke, at man ikke selv har kontroll over risikoen, og så videre. 67% av de intervjuede erklærte seg uenig i en

påstand om at 25-30 drepte i en enkelt ulykke er verre enn 25-30 drepte i like mange enkeltulykker. En skalaeffekt (effekt av antall omkomne i en ulykke) ble ikke funnet. Konteksteffekten var derimot tydelig.

Zeckhauser (1996) drøfter ulike aspekter av det han kaller "katastrofeøkonomi" og konkluderer med at vanlige virkemidler som lovregulering, forsikring og erstatningsrettslig regulering kan brukes til å redusere risikoen for katastrofer. Kunreuther (1996) er inne på det samme. Han hevder at manglende forsikring er en viktig grunn til at naturkatastrofer, særlig flom, ofte rammer ofrene unødvendig hardt.

Evans og Morrison (1997) utvikler en etterspørselsmodell, der virkningene av store ulykker på etterspørselen etter togreiser i Storbritannia inngår sammen med andre faktorer som påvirker etterspørselen. De konkluderer med at plutselige endringer i folks risikooppfatninger som følge av store ulykker medfører betydelige velferdstap, ved at reiser avlyses og selskapene taper inntekter. Dersom mindre ulykker ikke påvirker risikooppfatningene i samme grad, så er det etter Evans og Morrisons oppfatning et argument for at man bør satse mer på å unngå de store ulykkene enn på å unngå de små.

En innvending mot dette resonnementet, er at store ulykker ikke burde påvirke risikooppfatningene så mye som de gjør. Det er en irrasjonell reaksjon hos folk når de tror at en enkelt stor ulykke betyr at det er blitt mye farligere å reise med det transportmiddelet som er rammet av den store ulykken. Store ulykker tillegges en signalverdi de ikke har. Om noe, betyr en stor ulykke snarere at det iverksettes tiltak som bedrer sikkerheten.

Det eneste mulige argumentet for katastrofeaversjon, er at katastroferisiko er vanskeligere å forsikre enn risiko for mindre tap. Dette kan vises med et regneeksempel. Et slikt eksempel er gitt i tabell 15.

Tabell 15: Muligheten for å forsikre seg mot katastroferisiko. Tenkte tall

Sannsynlighet	Utfall	Forventet tap	Varians	Nødvendig fond
Lotteri 1: Høy sannsynlighet for små tap				
0,9000	0	-0,1	0,09	1
0,1000	-1			
Lotteri 2: Moderat sannsynlighet for moderate tap				
0,9900	0	-0,1	0,99	10
0,0100	-10			
Lotteri 3: Liten sannsynlighet for store tap				
0,9990	0	-0,1	9,99	100
0,0010	-100			
Lotteri 4: Svært liten sannsynlighet for katastrofale tap				
0,9999	0	-0,1	99,99	1000
0,0001	-1000			

Kilde: TØI rapport 748/2004

Risikoen er i tabell 15 fremstilt i form av såkalte lotterier, det vil si spill der det forekommer to utfall: enten intet tap eller tap. Alle de fire lotteriene i tabell 15 representerer samme risiko, slik risikobegrepet vanligvis brukes i forsikring,

nemlig samme forventede tap i det lange løp. I lotteri 1, er forventet tap  $-0,1 [(0,9000 \cdot 0) + (0,1000 \cdot -1)]$ . Variansen til forventet tap øker dramatisk når vi går fra lotteri 1 til lotteri 4.

La oss nå tenke oss at 10.000 forsikringstakere skal betale en aktuarmessig rettferdig premie som gir selskapet tilstrekkelige inntekter til å dekke tapene hvis en ulykke skjer. I lotteri 1 er det tilstrekkelig at forsikringstakerne til sammen betaler inn et beløp på 1. Dette dekker akkurat tapet på  $-1$  hvis det skjer en ulykke. Hver forsikringstaker trenger med andre ord bare å betale  $1/10.000$ .

Men hvis katastrofen skulle inntreffe, har forsikringsselskapet et krav på seg om å dekke et tap på 1000. Vi kan, for eksempel, tenke oss at dette er livsforsikringer som betales til de etterlatte etter et dødsfall. Ved katastrofen er det 1000 dødsfall som må dekkes. For at selskapet skal ha penger til dette, må forsikringstakerne nå betale  $1.000/10.000$ , altså tusen ganger så høy premie som i lotteri 1.

Å forsikre seg mot katastrofer er vanskelig av to grunner. For det første inntreffer de så sjelden at forsikringsselskapet ikke har noe brukbart grunnlag for fastsette riktig premie. For det andre kan erstatningskravene lett komme til å overstige selskapets premiefond, slik at forsikringen blir illusorisk.

På den annen side er finansvirksomhet i våre dager en globalisert næring. Det betyr at forsikringsselskapene kan spre risiko seg i mellom gjennom reassuranse. Dermed unngår man problemet med at ett enkelt forsikringsselskap må bære en risiko for et svært stort tap. Gjennom reassuranse er det mulig å sikre dekning for selv svært store tap. Problemet med å anslå forventet hyppighet av slike tap gjenstår, men tapets størrelse vil kun ved katastrofer av virkelig globalt omfang bli et hinder for forsikring. Selv ved enorme ødeleggelser, som etter terrorangrepene 11. september 2001, vil det sannsynligvis finnes forsikringsdekning for tapene.

### 6.3 Konklusjoner

De viktigste konklusjoner som kan trekkes på grunnlag av de undersøkelser som er presentert i denne rapporten kan oppsummeres slik:

1. Det har i Norge i perioden 1970-2001 i gjennomsnitt inntruffet ca 2 store ulykker i transport per år. Med store ulykker menes ulykker med minst 5 drepte.
2. Det har i perioden 1970-2001 vært flest store ulykker i sjøfart, færrest i jernbanetransport. Store ulykker i transport i Norge inntreffer tilfeldig. De viser ingen tendens til å øke eller avta. Det er heller ingen tendens til at antallet omkomne i hver storulykke har endret seg over tid.
3. Europeiske og britiske erfaringer gir grunn til å tro at antallet store ulykker i transport er synkende. Europeiske og britiske tall er brukt som supplement til norske historiske erfaringstall for å beregne det langsiktige, forventede antall store ulykker i transport i Norge.
4. Langsiktig forventet antall store ulykker i transport i Norge er beregnet å ligge litt lavere enn den historiske frekvensen i perioden 1970-2001. I alle transportgrener er det en tendens til at antallet drepte synker, når alle

ulykker tas i betraktning, både store og små. Det knytter seg imidlertid betydelig usikkerhet til den langsiktige utviklingen i luftfart og sjøfart.

5. Det er mulig å forebygge store ulykker. Det er intet som tyder på at mulighetene for å forebygge slike ulykker er brukt opp. Det viktigste tiltaket er fortsatt utbygging og forsterkning av sikkerhetsbarrierer som hindrer at avvik fra normal drift oppstår eller kommer så langt ut av kontroll at en ulykke er unngåelig.
6. Målene om å forebygge flest mulig dødsfall ved ulykker under transport, jevne ut forskjeller i risiko og unngå store ulykker kan i prinsippet veies mot hverandre gjennom en multiattributiv nytteanalyse
7. Aversjon mot store ulykker kan ikke begrunnes ut fra at disse viser at sikkerheten er blitt vesentlig dårligere, eller at det etisk eller økonomisk er riktigere å redde mennesker fra å dø i flokk enn fra å dø enkeltvis.

## 7 Referanser

- Broder, I. E. The cost of accidental death: a capital market approach. *Journal of Risk and Uncertainty*, 3, 51-63, 1990.
- Denstadli, J. M.; Hjorthol, R. Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2001 – nøkkelrapport. Rapport 588. Oslo, Transportøkonomisk institutt, 2002.
- Department for Transport. National Travel Survey. Statistics Online. London, Department for Transport, 2004 ([www.dft.gov.uk](http://www.dft.gov.uk)).
- Elvik, R. Bedre trafikksikkerhet i Norge. Rapport 446. Oslo, Transportøkonomisk institutt, 199.
- European Transport Safety Council (ETSC). Confidential incident reporting and passenger safety in aviation. Position paper. Brussels, European Transport Safety Council, 1996A.
- European Transport Safety Council (ETSC). Increasing survival rate in aircraft accidents: impact protection, fire survivability and evacuation. ETSC Review. Brussels, European Transport Safety Council, 1996B.
- European Transport Safety Council (ETSC). Exposure data for travel risk assessment: current practice and future needs in the EU. ETSC Review. Brussels, European Transport Safety Council, 1999.
- European Transport Safety Council (ETSC). Transport safety performance in the EU: a statistical overview. ETSC Review. Brussels, European Transport Safety Council, 2003.
- Evans, A. W. Transport fatal accidents and FN-curves: 1967-2001. Research Report 073. London, Health and Safety Executive, 2003A.
- Evans, A. W. Estimating transport fatality risk from past accident data. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 459-472, 2003B.
- Evans, A. W. Rail safety and rail privatisation in Britain. Manuscript submitted to *Accident Analysis and Prevention*, November 2004.
- Evans, A. W.; Morrison, A. D. Incorporating accident risk and disruption in economic models of public transport. *Journal of Transport Economics and Policy*, 30, 117-146, 1997.
- Foreman, S. E. An application of Box-Jenkins ARIMA techniques to airline safety data. *Logistics and Transportation Review*, 29, 221-240, 1993.
- Haight, F. A. What causes accidents – a semantic analysis. SAE technical paper 800390. In Evans L. (ed): *Accident Causation*. Report SP-461. Warrendale, PA, Society of Automotive Engineers.
- Havarikommisjonen for sivil luftfart og bane (HSBL). Årsrapport 2003. Kjeller, Havarikommisjonen, 2004.

- Jersin, E. Undersøkelse av storulykker – delbidrag til utredning angående etablering av felles havarikommisjon. STF38 A01429. Tredje reviderte utgave. Trondheim, SINTEF teknologiledelse, sikkerhet og pålitelighet, 2003.
- Jersin, E. Katastrofepotensialet ved uønskede hendelser innen transport; hvilke faktorer avgjør om en hendelse utvikler seg til en storulykke. Rapport STF38 A04011. Trondheim, SINTEF teknologiledelse, sikkerhet og pålitelighet, 2004.
- Jones-Lee, M.; Loomes, G. Towards a willingness-to-pay based value of underground safety. *Journal of Transport Economics and Policy*, 27, 83-98, 1994.
- Jones-Lee, M.; Loomes, G. Scale and context effects in the valuation of safety. *Journal of Risk and Uncertainty*, 11, 183-203, 1995.
- Keeney, R. L. Evaluating alternatives involving potential fatalities. *Operations Research*, 28, 188-205, 1980A.
- Keeney, R. L. Equity and public risk. *Operations Research*, 28, 527-534, 1980B.
- Keeney, R. L. Utility functions for equity and public risk. *Management Science*, 26, 345-353, 1980C.
- Keeney, R. L. Evaluating mortality risks from an organizational perspective. In Jones-Lee, M. W. (ed): *The Value of Life and Safety*, 217-227. Amsterdam, North Holland Publishing Company, 1982.
- Keeney, R. L.; Raiffa, H. *Decisions with multiple objectives. Preferences and value tradeoffs*. New York, NY, John Wiley and Sons, 1976.
- Kunreuther, H. Mitigating disaster losses through insurance. *Journal of Risk and Uncertainty*, 12, 171-187, 1996.
- Martland, C. D.; Zhu, Y.; Lahrech Y.; Sussman, J. M. Risk and train control. A framework for analysis. *Transportation Research Record*, 1742, 25-33, 2001.
- NOU 2001:9.  
Lillestrøm-ulykken 5. april 2000. Oslo, 2001.
- Rausand, G. Storulykker innen passasjertransport globalt i perioden 1991-2003. Rapport STF38 A04406. Trondheim, SINTEF teknologiledelse, sikkerhet og pålitelighet, 2004.
- Reason, J. *Managing the risks of organizational accident*. Aldershot, Ashgate, 1997.
- Roberts, W. Fundamentals of airplane accident dynamics. Extracting meaning from fatal accidents. *Transportation Research Record*, 1662, 10-23, 1999.
- United Nations. *Statistical Yearbook. Forty-seventh issue*. New York, NY, United Nations, 2003.
- Viscusi, W. K.; Aldy, J. E. The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty*, 27, 5-75, 2003.
- Zeckhauser, R. The economics of catastrophes. *Journal of Risk and Uncertainty*, 12, 113-140, 1996.