

Acceptkriterier i Danmark og EU

Nijs Jan Duijm

Institut for Planlægning
Innovation og Ledelse
Danmarks Tekniske Universitet

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 BEGREBSAFKLARING	11
1.1 INTRODUKTION	11
1.2 FARE, KONSEKVENNS OG RISIKO	11
1.2.1 <i>Risikomatrix</i>	12
1.2.2 <i>Konsekvensafstand og maksimal konsekvensafstand</i>	12
1.2.3 <i>Stedbunden (individuel) risiko</i>	13
1.2.4 <i>Samfundsrisiko eller grupperisiko</i>	14
1.2.5 <i>Forventet livstab (Potential Loss of Life, PLL)</i>	15
1.3 FYSISK PLANLÆGNING OG RISIKOVIRKSOMHEDER	15
1.3.1 <i>Sikkerhedsafstande</i>	15
1.3.2 <i>Risikoanalysemetoder</i>	16
2 TIDLIGERE DANSKE STUDIER	19
2.1 MILJØPROJEKT 112	19
2.1.1 <i>Miljøprojekt 112's anbefalinger for kvantitative risikoacceptkriterier</i>	20
2.1.2 <i>Miljøprojekt 112's anbefalinger for kvalitative acceptkriterier</i>	21
2.2 "TØNDERRAPPORTEN"	23
3 ANVENDELSE AF RISIKOACCEPTKRITERIER I EU	25
3.1 EUROPAKOMMISSIONENS LAND USE PLANNING GUIDELINES	25
3.1.1 <i>Risikoanalysemetoder og risikokriterier</i>	26
3.1.2 <i>Øvrige tekniske aspekter</i>	27
3.2 EUROPAKOMMISSIONENS EKSEMPLER PÅ RISIKOANALYSEMETODER ("ROADMAPS")	28
3.3 RISIKOACCEPTKRITERIER I FINLAND	28
3.4 RISIKOACCEPTKRITERIER I FLANDERN	29
3.5 RISIKOACCEPTKRITERIER I FRANKRIG	30
3.6 RISIKOACCEPTKRITERIER I NEDERLANDENE	32
3.7 RISIKOACCEPTKRITERIER I ISLAND	34
3.8 RISIKOACCEPTKRITERIER I STORBRITANNIEN	34
3.9 RISIKOACCEPTKRITERIER I TYSKLAND	36
4 DISKUSSION AF RISIKOACCEPTKRITERIER	39
4.1 DISKUSSION AF UDVIKLING I DANMARK	39
4.2 DISKUSSION AF GENNEMGANG AF PRAKSIS I EU	40
4.2.1 <i>Kvalitative vs. kvantitative kriterier og metoder</i>	40
4.2.2 <i>Sikring af konsistente og ensartede afgørelser (følgerigtighed)</i>	40
4.2.3 <i>Sammenligning af kvantitative risikoacceptkriterier</i>	41
4.2.4 <i>Eksisterende og nye situationer</i>	42
4.2.5 <i>Håndtering af sårbare objekter (fx hospitaler, skoler, infrastruktur)</i>	42

4.2.6	<i>Risikoacceptkriterier for miljøskade</i>	43
4.2.7	<i>Risikoacceptkriterier for helbredsskader</i>	43
4.3	GENERELLE BETRAGTNINGER	43
4.3.1	<i>Individuelt risikoniveau og beskyttelse af sårbare objekter</i>	43
4.3.2	<i>Samfundsrisiko og risikoaversion</i>	44
4.3.3	<i>Hyppigheder for dimensionerende uheldsscenerier og maksimum konsekvensafstande</i>	45
4.3.4	<i>Risikoacceptkriterier for eksisterende og nye situationer</i>	45
4.3.5	<i>Risikoacceptkriterier for miljøskade</i>	46
4.3.6	<i>Risikoacceptkriterier for helbredsskader</i>	48
5	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER VEDRØRENDE ANVENDELSE AF RISIKOACCEPTKRITERIER I DANMARK	51
5.1	STATUS I DANMARK OG EU	51
5.2	KRAV TIL RISIKOACCEPTKRITERIER	51
5.3	INDDRAGELSE AF HYPPIGHEDSKRITERIER	52
5.4	BESKYTTELSE AF SÅRBARE OBJEKTER	52
5.5	RISIKOANALYSEMETODER	53
5.6	BEHOV FOR VIDERE ARBEJDE	53
6	ORDLISTE	55
7	REFERENCER	59

Forord

I forbindelse med miljø- og beredskabsbehandlingen af risikovirksomheder i Danmark har Beredskabsstyrelsen, By- og Landskabsstyrelsen og Miljøstyrelsen fundet det relevant at undersøge anvendelsen af acceptkriterier for risiko for tredjepart i de øvrige EU-lande og foretage en sammenligning med Danmark. En arbejdsgruppe har indhentet oplysninger herom fra en række EU-lande. Denne rapport beskriver resultatet af gennemgangen af disse oplysninger og en sammenligning med situationen i Danmark. Rapporten indeholder afslutningsvis nogle synspunkter om, hvordan disse erfaringer fra andre lande kan anvendes i Danmark og rapporten kan dermed udgøre et supplement til hidtidige udmeldinger på området.

Rapporten er rettet mod risikomyndighederne i kommunerne og Miljøministeriets miljøcentre, ligesom den kan have interesse for risikovirksomhederne. Risikomyndigheder har behov for risikoacceptkriterier som kan anvendes i følgende situationer:

- I forbindelse med revision af miljøgodkendelse af eksisterende risikovirksomheder;
- i forbindelse med planer (kommune- og/eller lokalplaner) om at ændre arealanvendelser i nærheden af eksisterende risikovirksomheder;
- i forbindelse med VVM-behandling/miljøgodkendelse af udvidelser/ændringer af eksisterende risikovirksomheder og
- i forbindelse med etablering af nye risikovirksomheder.

Risikoacceptkriterier skal både tage hånd om beskyttelse af folks liv og helbred og beskyttelse af miljøressourcer og naturområder.

Et vigtigt datagrundlag fremgår af "Miljøprojekt 112" (Taylor m.fl., 1989), hvor der blev samlet metoder og grundlag for risikovurdering af risikovirksomheder i Danmark. De fleste af Miljøprojekt 112's overvejelser er stadig aktuelle. Denne rapport kan derfor opfattes som en aktualisering af Miljøprojekt 112's grundlag, baseret på udviklingen og de erfaringer der er gjort i både Danmark og en række andre europæiske lande siden 1989.

Rapporten er opbygget på følgende måde:

I kapitel 1 gennemgås de relevante begreber som anvendes i risikovurderinger og der gives en kort beskrivelse af to forskellige typer af risikoanalysemetoder, den kvantitative og den kvalitative type. Sidst i rapporten findes en ordliste, som indeholder korte beskrivelser af disse og andre relevante begreber i rapporten.

Kapitel 2 beskriver tidligere danske studier, herunder Miljøprojekt 112 samt en enkelt senere rapport, som afspejler udviklingen i praksis af risikoaccept og risikoanalyse i Danmark.

Kapitel 3 beskriver risikoaccept og risikoanalyse i EU, baseret på dokumenter udarbejdet af Europakommissionen og særligt indhentede oplysninger fra udvalgte lande (Finland, Flandern, Frankrig, Nederlandene, Island, Storbritannien og Tyskland).

I kapitel 4 diskuteres og sammenlignes de informationer som er samlet i kapitlerne 2 og 3 med henblik på at danne et indtryk af den aktuelle status indenfor forskellige problemområder. Sidst i kapitlet drages en række konklusioner på de områder hvor gennemgangen peger på konsensus, og der angives nogle mulige løsninger hvor gennemgangen ikke har vist et entydigt svar, fx med hensyn til håndtering af miljøskader.

Rapporten indeholder afslutningsvis i kapitel 5 nogle synspunkter om, hvordan disse erfaringer kan anvendes i Danmark. Disse konklusioner består i en opsummering af en række generelle krav til risikoacceptkriterier og vurderingsmetoder, og forslag til hvordan risikoacceptkriterier i Danmark kan udformes samt hvordan vurderingsmetoderne kan se ud.

En ordliste, som kort forklarer de vigtigste begreber som er anvendt i denne rapport, findes i kapitel 6. Ordlisten indeholder også de engelske oversættelser af begreberne.

Rapporten er udarbejdet af Nijs Jan Duijm (DTU Management, konsulent og skribent) i perioden november 2007 til april 2008.

En arbejdsgruppe bestående af:

- Allan Thomsen (Beredskabsstyrelsen)
- Anne Christine Bryderup (Beredskabsstyrelsen)
- Gert Johansen (By- og Landskabsstyrelsen)
- Nanna Rørbech (Miljøstyrelsen)
- Anders Skou (Miljøstyrelsen) og
- Axel Bendtsen (Miljøstyrelsen, koordinator)

har fungeret som følgegruppe.

Rapportens konklusioner tegner ikke nødvendigvis Beredskabsstyrelsen, By- og Landskabsstyrelsen eller Miljøstyrelsen.

Sammenfatning og konklusioner

Rapporten beskriver anvendelse af risikoacceptkriterier til vurdering af, om risikovirksomheder (virksomheder som er omfattet af risikobekendtgørelsen) og omkringliggende arealanvendelser er i konflikt med hinanden med hensyn til beskyttelse af menneskeliv og natur- og miljøressourcer.

Rapporten forklarer kernebegreber mht. risiko og risikovurdering og en ordliste er inkluderet. Rapporten beskriver forskellige typer af risikoacceptkriterier baseret på individuel eller stedbunden risiko, samfundsrisiko og forventet livstid. Forskellige risikovurderingsmetoder beskrives.

Tidligere danske studier, herunder "Miljøprojekt 112", gennemgås for at identificere baggrunden for den nuværende praksis i Danmark, ligesom praksis for risikoaccept i en række andre europæiske lande sammenfattes.

Ud fra disse gennemgange drages konklusioner på de områder, hvor praksis har konvergeret til konsensus med hensyn til risikoacceptkriterier, navnlig m.h.t. størrelsesorden for individuel eller stedbunden risiko (risiko for dødsfald af enkeltpersoner skal være mindre end 10^{-6} per år for beskyttelse af den almene befolkning) og m.h.t. samfundsrisiko (sandsynlighed for uheld skal være mindre end 10^{-3} per år for "store uheld" med op til 1 dødsfald, faldende med en faktor 100 når konsekvensen er 10 gange større). Disse værdier er midt i den grå zone som blev foreslået i Miljøprojekt 112.

ALARA-princippet (As Low As Reasonably Achievable) går ud på, at alle sikkerhedsforanstaltninger, som ud fra et teknisk og økonomisk synspunkt er rimelige, skal implementeres. Dette princip bør altid anvendes, og derfor er det ikke nødvendigt at definere separate risikointervaller hvor ALARA skal anvendes.

Det konkluderes at Danmark mangler en vejledning i hvordan sikkerhedsafstande o.l. bestemmes ved hjælp af de gængse kvalitative risikoanalysemetoder. Der mangler også metoder til vurdering af miljøskade. Der foreslås at de beskrivelser af uheldsstørrelser som hidtil er anvendt for kvalitative vurderinger af samfundsrisiko i Danmark, udvides til også at omfatte miljøskade ved at udtrykke disse skader i størrelsen af de forskellige typer (natur)områder som påvirkes af uheldet.

Rapporten afsluttes med konklusioner og anbefalinger vedr. risikoacceptkriterier. Risikoacceptkriterier skal opfylde krav med hensyn til:

- Følgerigtighed (at der opnås sammenlignelige afgørelser i sammenlignelige situationer), proportionalitet og gennemskuelighed.
- At samtlige muligheder for uheld inddrages.
- At miljøskade inddrages.
- At der både udpeges rimelige sikkerhedsafstande (til begrænsning af arealanvendelse) og en konsekvensafstand for det værst tænkelige uheld (til beredskabsplanlægning).
- At samfundsrisiko for arealanvendelser udenfor sikkerhedsafstande kan vurderes.
- At der tages hensyn til virksomhedsspecifikke sikkerhedsforanstaltninger.

I vurderingerne er det nødvendigt enten på en kvantitativ eller på en kvalitativ måde at inddrage hyppighed, som er et væsentligt aspekt af risikobegrebet.

I forbindelse med begrænsninger i arealanvendelse sondres mellem sårbarhed af forskellige objekter som fx almen beboelse, hospitaler, skoler og naturområder. I almindelighed accepteres en højere risiko i erhvervsområder end i bolig-

områder, mens hospitaler og beredskabets faciliteter bør sikres mest. De samme risikokriterier anvendes, eventuelt efter en overgangsperiode, ved eksisterende situationer som ved nyudviklinger.

Både kvantitative og kvalitative risikovurderingsmetoder skal kunne bruges, dog skal der arbejdes på at resultaterne er mere sammenlignelige end hidtil. Dette kræver bl.a. at der opnås enighed om hvilke sproglige betegnelser der svarer til bestemte numeriske uheldshyppigheder.

Det foreslås at den franske risikovurderingsmetode, som indeholder både kvantitative og kvalitative elementer, bruges som grundlag for en forholdsvis enkel og gennemskuelig risikovurderingsmetode i Danmark.

Yderligere arbejde er nødvendigt for at udvikle kvalitative metoder til bestemmelse af sikkerhedsafstande, for at udvikle kriterier og metoder til håndtering af risici for miljøskader, og for at udvikle en praktisk vejledning i anvendelse af ALARA-princippet.

Summary and conclusions

This report describes the use of risk acceptance criteria in order to identify conflicts between major hazard establishments (establishments covered by the major hazard (“Seveso”) directives) and surrounding land use with respect to protection of human life and environment.

The report explains relevant notions in risk assessment and a glossary is included. The report describes different types of risk acceptance criteria based on individual or location-based risk, societal risk and potential loss of life. The different types of risk assessment methodologies are described.

Earlier Danish studies are reviewed, including “Environment Project 112”, in order to identify the background for the present practice in Denmark, and the practice for risk acceptance in a number of other European countries is summarised.

Conclusions are drawn where European practice has converged towards consensus regarding risk acceptance criteria, viz. the order of magnitude for individual or location-based risk (fatality risk of an individual shall be less than 10^{-6} per year for the protection of the general population) and societal risk (the probability of an accident shall be less than 10^{-3} per year for major accidents with up to 1 fatality, dropping with a factor 100 when consequences are ten times bigger). These values are in the middle of the “grey” zone proposed by “Environmental Project 112”.

The ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle states that all safety precautions should be implemented that are reasonable in view of technical and economical possibilities. The ALARA principle should always be applied, and therefore it is not necessary to define separate intervals of risk where ALARA has to be used.

The report concludes that in Denmark no guidance is available on how safety distances should be determined using the available qualitative risk analysis methods, nor is a method to assess environmental damage available. It is proposed to define accident classifications for environmental damage similarly to those used for qualitative assessment of societal risk, by using the size of the area affected by the accident.

The report’s conclusions give some recommendations on risk acceptance criteria. These criteria have to fulfil requirements regarding:

- Consistency, proportionality and transparency.
- All accident possibilities to be considered.
- Environmental damage to be considered.
- Reasonable safety distances (for land-use limitations) to be determined as well as the consequence distance for the worst-case accident (for emergency planning).
- Societal risk for land use outside the safety distances to be assessed.
- Specific safety measures at the establishment to be considered.

It is necessary to consider the probability of events in the assessments, as probability is elementary in the notion of risk. Inclusion of probability can be either quantitatively or qualitatively.

Limitations in land use distinguishes between vulnerability of different objects such as residential areas, hospitals, schools or natural reserves; generally higher levels of risk are accepted in industrial areas as compared to residential areas, while hospitals and emergency support facilities should be given the

best protection possible. The same risk criteria should apply, if needed after a transitional period, for existing land-use situations and new developments. The use of quantitative and qualitative risk analysis methods should be possible side by side, but efforts should be directed into making the results more comparable. This means that among others there should be obtained consensus about the relation between verbal descriptions and the numerical values of accident probabilities. The French risk assessment method, which includes both quantitative and qualitative elements, could be used as a basis for a relatively simple and transparent risk assessment method in Denmark. Further work is required in order to develop the qualitative methods to determine safety distances, to develop criteria and methods to deal with risks for environmental damage, and to develop a practical guideline for the use of the ALARA principle.

1 Begrebsafklaring

1.1 Introduktion

Ord som "risiko", "fare" og "konsekvens" er meget almindelige ord i det danske sprog. At kommunikation om risiko somme tider er en svær proces, skyldes bl.a. at de i øvrigt præcise definitioner, som risikoeksperter nødvendigvis må benytte sig af, ikke altid forstås af ikke-eksperter ud fra deres mere subjektive og bløde opfattelser af disse begreber.

I dette kapitel forklares begreberne som de bliver håndteret af eksperter i risikovurdering af industrielle aktiviteter. Der findes tidligere publikationer hvor disse begreber er defineret og diskuteret, herunder Miljøprojekt 112 (Taylor m.fl., 1989), standardanvisning DS/INF 85 (Dansk Standard, 1993) og en pjece fra MiljøRisikorådet (Christensen m.fl., 2002; Christensen m.fl., 2003). I denne rapport holder vi os mest til DS/INF 85. Sidst i rapporten findes en ordliste med de vigtigste begreber fra rapporten med deres engelske oversættelser.

1.2 Fare, konsekvens og risiko

Begreberne "fare", "konsekvens" og "risiko" anvendes i risikoanalyseprocessen.

For at finde ud af hvilke risici en aktivitet medfører, identificerer man først hvilke *farer* der findes i aktiviteten. "Fare" defineres som en situation eller tilstand, der kan medføre skade. Det henviser således til *muligheden* for et uheld uden at komme ind på sandsynlighed eller konsekvens.

"Konsekvens" er resultatet af en uønsket hændelse (et uheld), såsom skader på helbred, liv, materielle værdier eller miljøet.

"Risiko" udtrykker en kombination af hyppigheden af (eller sandsynligheden for) en uønsket hændelse og omfanget af konsekvenserne. "Risiko" anvendes for at kunne sammenligne forskellige hændelser med højeste eller laveste risiko. For at kunne rangordne risiko, skal risikoen enten klassificeres kvalitativt eller udtrykkes ved en kvantitativ værdi. Et ofte anvendt kvantitativt udtryk for risiko er konsekvens (udtrykt i en bestemt enhed, fx antal dødsfald eller et økonomisk tab) gange med sandsynlighed. Dette udtryk kaldes også for det *forventede tab*, men det er kun én af mange muligheder for at kombinere konsekvens og sandsynlighed til et udtryk for risiko.

Når vi diskuterer kriterier for risiko for tredjepart (dvs. andre end de ansatte på virksomheden) omkring risikovirksomheder, er der forskellige relevante måder at udtrykke risiko på. Det drejer sig især om begreberne *individuel risiko* og *samfundsrisiko*. Begrebet *konsekvensafstand* er relevant når man ikke kan eller vil beregne risikoen rent kvantitativt. Det kan godt bruges i kombination med en *risikomatrix*. Disse begreber beskrives nærmere i de følgende afsnit. Det bemærkes, at der ikke findes et udviklet begrebsapparat til at vurdere skader på miljøet ved større uheld. Miljøskader omtales kun kvalitativt. Dette diskuteres nærmere i 4.3.5.

1.2.1 Risikomatrix

Risikoanalysen fører til en liste med uheldsscenerier, dvs. forskellige muligheder for uheld som medfører brand, eksplosion og/eller udslip af farlige stoffer i miljøet (luft, vand, jord). For hvert af disse scenarier kan det vurderes:

- Hvad er sandsynligheden (forventede hyppighed) for dette scenario?
- Hvad vil konsekvensernes størrelse eller omfang for dette scenario være?

Scenarierne kan dermed skrives ind i en tabel, som på det ene led opstiller en række sandsynlighedsklasser (fx fra hyppigt til yderst sjældent) og på det andet led en række konsekvensklasser. Denne tabel benævnes en *risikomatrix*. Hvert felt i risikomatricen indikerer en bestemt risiko, og man kan identificere den del af matricen, som viser store risici (høj sandsynlighed og stor konsekvens) og lave risici (lav sandsynlighed og lille konsekvens), se Tabel 1.

Tabel 1. Eksempel på en risikomatrix.

Risikoen bevæger sig fra høj til lav langs diagonalen fra øverste venstre til nederste højre hjørne. Bogstaverne illustrerer hvordan man kan plote eksempler på uheldsscenerier i tabellen.

Hyppighedsklasse	Hyppighed pr. år	Uheldsstørrelse				
		<i>Lønsket hændelse</i> Højest små materielle skader	<i>Lille uheld</i> Mindre arbejdsskade i virksomheden	<i>Alvorligt uheld</i> Alvorlig arbejdsskade i virksomheden	<i>Stort uheld</i> Dødsfald indenfor, skadede personer udenfor virksomheden	<i>Katastrofe</i> Dødsfald udenfor og indenfor virksomheden
<i>Hyppigt</i> Vil ske flere gange under installationens levetid	$1 \cdot 10^{-2}$	B, D, F				Høj risiko
<i>Sandsynligt</i> Vil sandsynligvis ske, men ikke nødvendigvis	$10^{-2} - 10^{-4}$		H	A, C		
<i>Ikke sandsynligt</i> Kan muligvis ske	$10^{-4} - 10^{-6}$	I			E	
<i>Meget usandsynligt</i> Næsten utænkeligt	$10^{-6} - 10^{-8}$					
<i>Ekstremt usandsynligt</i> Hyppighed er under rimelige grænser	$< 10^{-8}$					G

1.2.2 Konsekvensafstand og maksimal konsekvensafstand

For hvert mulige uheld kan man beregne op til hvilken afstand der kan opstå skade eller folk kan blive slået ihjel. I almindelighed defineres *konsekvensafstanden* som den afstand hvor indenfor der forventes dødsfald eller alvorlige skader (problemstillingen, at de fleste måleenheder for risiko og risikokriterier er baseret på dødsfald, omtales senere). Konsekvensafstanden er enten bestemt af den afstand inden for hvilken der må forventes en bestemt dødelighed (i mange studier og metoder anvendes en dødelighed på 1 %, fx afstanden til

koncentrationsniveauet LC 1 %) eller som afstand til en bestemt tærskelværdi for toksicitet, varmestråling eller overtryk. Udspredding af giftige eller eksplosive gasskyer afhænger af meteorologiske forhold. På basis af det værste scenario (fx scenario "G" i Tabel 1) og de værste meteorologiske forhold kan man finde frem til den *maksimalt konsekvensafstand* som gælder for en bestemt virksomhed. Man kan fastslå at udenfor den maksimale konsekvensafstand vil virksomheden ikke medføre risiko for menneskeliv.

1.2.3 Stedbunden (individuel) risiko

Begrebet "*individuel risiko*" anvendes ofte i relation til kvantitative risikokriterier. DS/INF 85 definerer individuel risiko som den risiko en enkeltperson er udsat for, med den tilføjelse at det afhænger af den enkelte persons afstand fra risikokilden. Denne personbundne definition er problematisk i sammenhæng med fysisk planlægning omkring risikovirksomheder, fordi det kræver antagelser om folks individuelle bevægelsesmønstre og tilstedeværelse (som fx begrebet "havemennesket" (Taylor og Platz, 1991)) som ikke er væsentlige for forståelsen af risikosituationen omkring virksomheden. I Nederlandene og Flandern er man derfor begyndt at benytte begrebet "stedbunden risiko"². Den stedbundne risiko beregnes som risikoen for, at en person *som befinder sig uafbrudt og ubeskyttet på et bestemt sted*, dør på grund af et uheld på virksomheden.

Figur 1. Eksempel på iso-risikokurver som viser fordeling af stedbunden (individuel) risiko omkring en virksomhed.



Den stedbundne risiko beskriver den geografiske fordeling af virksomhedens risiko. Den vises ved hjælp af iso-risikokurver, og er uafhængig af om der er personer eller beboelse til stede, se Figur 1. Stedbunden risiko anvendes til at vurdere om enkeltindivider bliver udsat for mere end en acceptabel risiko på de steder de kan opholde sig (fx hvor de bor eller arbejder). Den giver ikke i sig selv information om forventet tab af liv. Den adskiller heller ikke om det er

¹ LC x %: Lethal Concentration, den koncentration hvor x % af den eksponerede befolkning dør.

² På nederlandsk: "Plaatsgebonden risiko", dette forsøges oversat på engelsk til "locational risk" eller fortrinsvis "location-based risk". Begrebet "locational risk" kan have en anden betydning i andre sammenhæng.

ansatte eller den almene befolkning som bliver eksponeret (ved kun at tegne risikokurver udenfor virksomheder indikeres at man ikke agter at inddrage de egne ansatte i vurderingen).

For ikke at bryde med det almindeligt anvendte begreb, anvendes i denne rapport betegnelsen "stedbunden (individuel) risiko".

1.2.4 Samfundsrisiko eller grupperisiko

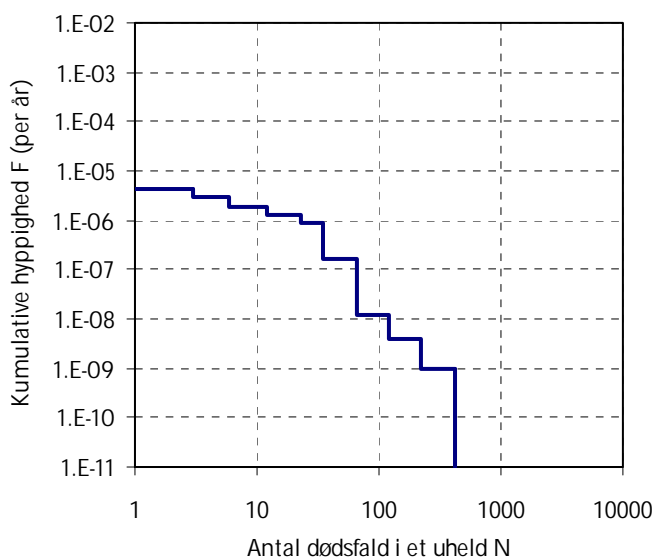
Samfundsrisiko udtrykker risikoen for at en gruppe mennesker på én gang bliver udsat for konsekvenserne af et uheld. Dette udtrykkes som relation mellem uheldets forventede hyppighed og det antal mennesker som dør (eller bliver skadet) som følge af uheldet ved hjælp af den såkaldte "F-N"-kurve. Her er F den (kumulative) hyppighed af et uheld med mere end N dødsfald³, se Figur 2. Resultatet giver udtryk for samfundets samlede og samtidige forventede tab. I beregningen af F-N-kurven indgår sandsynligheden af en række uheldsscenarioer samt en vurdering af hvor mange folk der kan blive udsat for konsekvenser ved disse scenarier, baseret på befolkningstæthed, arbejdspladser og lokal beskyttelse (indendørs eller udendørs ophold). Der anvendes forskellig praksis m.h.t. om man også skal medregne ansatte på egen virksomhed, ansatte på omkringliggende virksomheder, eller kun den øvrige befolkning. Figur 2 viser et eksempel på en samfundsrisikokurve. Hvert trin i kurven svarer til et uheldsscenario.

Kriterier for samfundsrisiko og stedbunden risiko bruges komplementært.

Kriterier for stedbunden risiko bruges til at fastsætte områder (sikkerhedszoner) som ikke må bruges til beboelse eller lignende, og sørger for at enkeltindivider ikke bliver udsat for en for høj risiko. Kriterier for samfundsrisiko sørger for at steder, hvor der kan samles mange folk, ikke udsættes for en for stor risiko for store uheld, selvom de ligger udenfor sikkerhedszonerne. Dette uddybes i afsnit 1.3.1.

Figur 2. Eksempel på en samfundsrisikokurve for en virksomhed.

Første trin i kurven på højre side viser det største uheld (estimeret til at medføre ca. 400 dødsfald og med en hyppighed på 10^{-9} pr. år). Det følgende trin viser bidraget fra det næststørste uheld (estimeret til at medføre ca. 200 dødsfald og med en hyppighed på $3 \cdot 10^{-9}$ pr. år), osv.



³ I praksis anvendes dødsfald som skadesparameter, men andre parametre kan bruges, som antal skadede eller omfanget af en miljøskade.

1.2.5 Forventet livstab (Potential Loss of Life, PLL)

I diskussionen om risikoaccept for tredjepart anvendes i sjældne tilfælde begrebet *forventet livstab* (PLL). Dog er det et nemt forståeligt begreb som anvendes på farlige arbejdspladser som fx boreplatforme. Det forventede livstab beregnes ved at sammenlægge (dvs. integrere i matematisk forstand) den stedbundne (individuelle) risiko gange befolkningstæthed på samme sted (efter vurdering af lokal beskyttelse pga. indendørs eller udendørs ophold) over hele området indenfor den maksimale konsekvensafstand. Det er et enkelt tal (udtrykt som antal dødsfald pr. år) som udtrykker samfundets samlede forventede tab, dog - i modsætning til samfundsrisiko - uden at tage hensyn til om tabet sker ved mange små eller få store uheld. Forventet livstab anvendes indirekte i Storbritannien når risikoacceptkriteriet formuleres som det antal personer som højst må blive udsat for en bestemt stedbunden (individuel) risiko.

1.3 Fysisk planlægning og risikovirksomheder

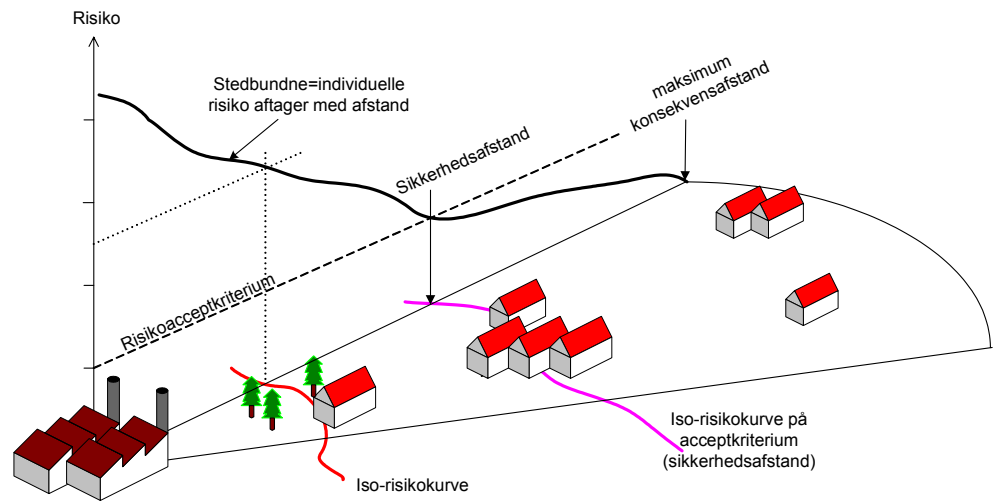
1.3.1 Sikkerhedsafstande

Det er indlysende at risikoen for at blive påvirket af et uheld på et kemisk anlæg eller et lager med farlige stoffer er størst tæt ved risikokilden. Risikoen for at omkringboende og/eller beskyttelsesværdige naturmiljøer skades af uheld i risikovirksomheder, kan styres effektivt ved kontrol af afstanden mellem risikovirksomheder og de objekter som skal beskyttes. Men sikkerhedszoner, som ikke kan anvendes til boliger eller forretninger, rundt om risikovirksomheder er en samfundsmæssig omkostning. Det er ofte meget kostbart at placere risikovirksomheder på en afstand større end den maksimale konsekvensafstand fra befolkning og andre sårbare objekter. Folk er også udsat for andre ufrivillige⁴ risici som følge af menneskelig aktivitet (fx trafik), og derfor anses det for acceptabelt at befolkningen kan eksponeres for en vis lille risiko fra risikovirksomheder. Problemet er dels at definere, hvor lille den risiko skal være, dvs. at fastlægge et risikoacceptkriterium, dels at udarbejde en metode hvorpå man kan sikre at dette kriterium bliver overholdt i praksis. Figur 3 viser at man adskiller den maksimale konsekvensafstand fra *sikkerhedsafstanden*, som er den afstand inden for hvilken der indføres begrænsninger for folks tilstedeværelse, så de ikke udsættes for en for stor stedbunden (individuel) risiko i forhold til det aftalte risikoacceptkriterium.

Samfundsrisiko afhænger af befolkningstætheden indenfor den *maksimale konsekvensafstand*. Det vil ofte være sådan, at befolkningstætheden indenfor sikkerhedsafstanden er lav (eller lig med nul), så det er befolkningstætheden *mellem* sikkerhedsafstanden og den maksimale konsekvensafstand som bestemmer samfundsrisikoen. En vurdering af samfundsrisikoen er derfor komplementær med en vurdering af sikkerhedsafstande. Sikkerhedsafstande bestemmes enten ved hjælp af stedbunden (individuel) risiko eller dimensionerende uheldsscenarioer (se næste afsnit).

⁴ Ufrivillige risici er risici som man er udsat for uden at man selv tager del i eller har direkte fordel af den aktivitet som forårsager risiciene

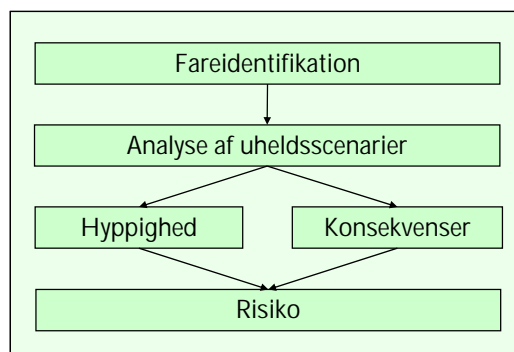
Figur 3. Illustration af begreber i relation til fysisk planlægning for risikovirksomheder og deres omgivelser. Risikoen er nul på afstande større end den maksimale konsekvensafstand. Sikkerhedsafstanden markerer, hvor risikoen falder under risikoacceptkriteriet, dvs. på større afstande er risikoen for enkel tindividuer acceptabel. Iso-risikokurver viser den geografiske fordeling af stedbunden (individuel) risiko.



1.3.2 Risikoanalysemetoder

For at et risikoacceptkriterium skal være operationelt, skal der være sammenhæng mellem kriteriet og de informationer som genereres gennem risikoanalysemetoderne og som skal sammenlignes med kriteriet. For at et kvantitativt risikoacceptkriterium (som fx en bestemt værdi for stedbunden (individuel) risiko) kan anvendes, kræves det at der udføres kvantitative risikoanalyser, som producerer stedbundne (individuelle) risici under samme betingelser som dem man har haft i tankerne ved definitionen af kriteriet. I kapitel 3 gennemgås forskellig praksis i nogle EU-medlemslande. Denne gennemgang viser, at den måde risikoacceptkriteriet er formuleret på, går hånd i hånd med de metoder som anvendes til risikoanalyse.

Figur 4. Skema for aktiviteterne i en risikoanalyse



De generelle aktiviteter som udføres i en risikoanalyse vises i Figur 4. Disse aktiviteter skal udføres uanset om der er tale om en kvalitativ eller en kvantitativ analyse (dog kan der være stor forskel på tidsforbruget når den ene eller den anden type af analyse anvendes). Risikoanalysen starter med en identifikation af alle farer som findes i risikovirksomheden. Bagefter analyseres en række farer i detaljer hvor der ses på hændelsesforløbet (scenariet) og de mu-

lige typer af konsekvenser. Denne detaljerede analyse skal gå nærmere ind på spørgsmålet om hvor *hyppig* hændelsen er og hvor store *konsekvenserne* vil være. Disse analyser kan være kvalitative eller kvantitative (dog analyseres konsekvenser oftest ved hjælp af kvantitative metoder som simulering af brand, eksplosion og atmosfærisk spredning). Resultaterne kombineres til et udtryk for den samlede *risiko* på en måde så den kan sammenlignes med én eller flere risikoacceptkriterier (denne sammenligning beskrives ofte som *risikovurdering*).

1.3.2.1 Kvantitativ risikoanalyse

En *kvantitativ risikoanalyse* har til formål at generere numeriske værdier for stedbunden risiko og samfundsrisiko, som inkluderer risikobidrag fra alle mulige uheld.

Der er en klar forståelse af indholdet af en kvantitativ risikovurdering for ikke-nukleare risikovirkomheder på land. Metoden er bl.a. beskrevet i den nederlandske "lilla bog" (Committee for the Prevention of Disasters, 1999). Her analyseres alle uheldsscenarioer som forventes at have en effekt udenfor virksomhedens hegn⁵. Hyppigheden for alle disse scenarier bestemmes kvantitativt. Konsekvenserne beregnes i detaljer ved hjælp af konsekvensmodeller for spredning, eksplosion, brand og/eller toksisk påvirkning. Hermed beregnes sandsynlighed for dødsfald (eller andre skader) indenfor uheldets konsekvensområde (fx indenfor det areal som bliver dækket af en giftsky). Risikofordelingen for dette ene scenario beregnes rundt om virksomheden under hensyntagen til sandsynlighed for vindretning og -styrke. Risikoen for alle uheldsscenarioer lægges sammen, og summen udgør den geografiske fordeling af stedbunden (individuel) risiko for virksomheden. Samfundsrisiko beregnes ved at vende tilbage til de enkelte scenarier og ved at bestemme hyppigheden for at et bestemt befolkningsområde bliver ramt under hensyntagen til scenariets hyppighed og sandsynligheden for den nødvendige vindretning og -styrke.

1.3.2.2 Kvalitativ risikoanalyse

Udtrykket *kvalitativ risikoanalyse* dækker over en række forskellige metoder som har til fælles at der ikke anvendes numeriske værdier (dvs. præcise tal) for stedbunden (individuel) risiko eller samfundsrisiko. Begrebet er dermed lidt mere diffust end kvantitativ risikoanalyse.

Behovet for kvalitative metoder er især begrundet i at det er svært at bestemme forventede hyppigheder for sjældne uheldshændelser. Der kan være store forskelle i resultater fra forskellige analysegrupper, en faktor 100 er almindelig pga. anvendelse af forskellige datakilder (Lauridsen m.fl., 2002). Andre argumenter til fordel for kvalitative metoder er at det er umuligt at have en menneskelig forståelse af hyppigheder så små som 10^{-6} pr. år.

Kvalitative metoder fokuserer derfor mest på uheldets konsekvens, og konsekvensmodeller anvendt for kvalitative metoder er de samme som dem, som anvendes ved den kvantitative metode (selv om det ofte kun er afstanden til en bestemt skadeseffekt som bruges, mens man i den kvantitative metode bruger hele skadesarealet).

Ud fra fareidentifikationen (skema i Figur 4) kan det *værst mulige uheld* udvælges. Dette uheld bestemmes i høj grad af basale fysiske forhold på virksomheder, som total mængde (i tank) eller massestrøm (i rør) af et farligt stof, dets tryk og temperatur. Værst mulige uheld er fx total kollaps af en tank eller fuldstændigt brud på en rørledning i kombination med forværende betingel-

⁵ Den "lilla bog" indeholder to specifikke kriterier for at et udslipsscenario (*Loss Of Containment event, LOC*) skal inkluderes i analysen: (1) hyppigheden skal være større end 10^{-8} pr. år og (2) der skal være en mulighed for dødsfald (1 % sandsynlighed) uden for virksomhedens skel

ser, som lav vindhastighed og forsinket antændelse (først når den eksplosive sky er størst). Ved disse scenarier beregnes den maksimale konsekvensafstand. En ren kvalitativ metode som ikke vurderer sandsynlighed fører kun til udsagn om den maksimale konsekvensafstand (sådan en risikoanalysemetode benævnes også som *deterministisk*).

Dette er en utilfredsstillende situation (se 1.3.1), og derfor vælges der ofte et mindre alvorligt, mere sandsynligt scenario, sommetider kaldt det ”*værst tænkelige uheld*”. Vi foretrækker det mere neutrale begreb ”*dimensionerende uheldsscenario*”. Det dimensionerende uheldsscenario anvendes for at bestemme sikkerhedsafstanden. Det dimensionerende scenario opfattes som det alvorligste af alle uheldsscenarier som er så hyppige, at de udgør en uacceptabel risiko, mens mere alvorlige scenarier (herunder det værst mulige) tænkes at have en så lille hyppighed, at der kan ses bort fra risikoen.

Denne fremgangsmåde kan føre til følgende problemer:

- Der mangler en specifikation af kriterier for valg af det dimensionerende scenario (dvs. risikoacceptkriteriet i den kvalitative fremgangsmåde).
- Det værst mulige scenario, og dermed den maksimale konsekvensafstand, udelukkes fra risikoanalysen. Den maksimale konsekvensafstand er relevant for beredskabsplanlægning, og som beskrevet i afsnit 1.3.1, er det området mellem sikkerhedsafstanden og den maksimale konsekvensafstand som er vigtigst for vurderingen af samfundsrisiko.

I sagens natur er det uundgåeligt at man også i en kvalitativ tilgang er nødt til at forholde sig til sandsynligheder. Derfor anvender de fleste kvalitative metoder hyppighedsklasser baseret på sproglige, kvalitative beskrivelser som dem, der er introduceret i risikomatrixen (Tabel 1, første kolonne). Når disse metoder begynder at inddrage overvejelser om sandsynligheder (som effekten af efterfølgende sikkerhedsforanstaltninger på uheldshyppigheder) kalder man disse metoder for ”*hybride*” metoder mellem kvalitativ og kvantitativ.

Også ”sikkerhedsbarrierediagrammetoden”, som anvendes i Danmark, kan opfattes som en hybrid metode hvor initierende hændelser og sikkerhedsbarrierer tildeles ”point” afhængig af hændelsens hyppighed og fejlraten for barrieren (se 2.1.2). Metoden lægger vægt på en vurdering af indsatsen for at forebygge uheld og mindske konsekvenser, i modsætning til den kvantitative metode som beskrevet i den ”lilla bog”, som er baseret på generiske (dvs. ikke-virksomhedsspecifikke) hyppigheder for udslip af farlige stoffer.

2 Tidligere danske studier

Dette kapitel sammenfatter tidligere danske studier som afspejler udviklingen i praksis af risikoaccept og risikoanalyse i Danmark. Det mest centrale er kendt som "Miljøprojekt 112" (Taylor m.fl., 1989). Her diskuteres overvejelser mht. valg af risikoanalysemetoder og risikoacceptkriterier og der sluttet med nogle anbefalinger vedr. disse. Det har efterfølgende vist sig, at Miljøprojekt 112 ikke byder på en løsning på hvordan der kan udlægges sikkerhedszoner når man ønsker at bruge kvalitative risikovurderinger. Dette har ført til videre overvejelser i en rapport om udlægning af sikkerhedszoner for et underjordisk naturgaslager i Tønder ("Tønderrapporten") (Miljøstyrelsen, 1996).

2.1 Miljøprojekt 112

Miljøprojekt 112 indeholder en grundig gennemgang af risikoanalysemetoder og risikoacceptkriterier. Det erkendes, at valg af risikoacceptkriterier og valg af risikoanalysemetoder er knyttet sammen. Det konkluderes at to analyse- eller vurderingsmetoder er praktisk anvendelige, nemlig en metode baseret på kvalitative analyser og en metode baseret på kvantitative analyser. En normbaseret metode anses ikke for at være praktisk anvendelig pga. arbejdet med at tilvejebringe de nødvendige normer.

I konklusionen bemærkes også, at "det har vist sig muligt at sammenligne resultater fra de kvantitative og kvalitative fremgangsmåder, således at disse under visse forudsætninger kan tilvejebringe resultater, som er sammenlignelige med hinanden". Dette er en vigtig forudsætning for at man som myndighed kan acceptere anvendelse af forskellige metoder og kriterier i lyset af kravet om "følgerigtighed" som formuleret i det seneste af Europakommissionens Guidelines (European Commission, 2006) (se afsnit 3.1).

Rapporten fremhæver principielle overvejelser som grundlag for acceptkriterier. De tre vigtigste vedrørende risikoen for tredjeparts gentages her:

- 1. Den risiko, man udsættes for i det daglige liv fra naturens side, bør ikke øges væsentligt af aktiviteter, såsom industri o.l., skabt af andre uden vores personlige accept;*
- 2. Inden etablering af procesanlæg skal det undersøges, om processer kan substitueres af processer som medfører mindre risiko for uheld.*
- 3. De ressourcer, der er til rådighed for sikkerhedsfremmede aktiviteter, skal først og fremmest sættes ind der, hvor indsatsen giver den største resultat for helheden.*

Disse principper operationaliseres delvist ved følgende krav for godkendelse af et anlæg:

1. Et anlæg skal indrettes efter "ALARA-princippet"⁶, dvs. at alle rimelige tiltag er truffet for at reducere risiko for uheld. Dette inkluderer inddragelse af erfaring opbygget i industrien, anvendelse af anerkendte

⁶ ALARA: As Low As Reasonably Achievable. Risici skal reduceres med alle "rimelige" midler, dvs. under hensyntagen til omkostningerne af midlerne. ALARA og ALARP (As Low As Reasonably Practical) opfattes i denne rapport som synonymmer. ALARA anvendes da denne term anvendes Miljøprojekt 112.

- normer og standarder og etablering af sikkerhedsforanstaltninger som modsvarer anlæggets potentielle risici.
2. Det skal vises, at anlægget ikke udsætter enkeltpersoner eller samfundet for uacceptable risikoniveauer.
 3. Den samfundsmæssige fordel af anlægget skal være større end anlæggets risiko for samfundet.

De kvalitative kriterier og vurderingsmetoder retter sig især mod det første krav, og de kvantitative kriterier og metoder mod det andet. Det tredje krav kræver cost-benefit analyser som ofte er meget besværlige og diskutabile med hensyn til sammenligning af forskellige værdier (liv, miljø, økonomi), og det behandles derfor ikke videre.

Følgende aspekter behandles ikke i Miljøprojekt 112:

- Spørgsmål vedr. eksisterende versus nye anlæg og udviklingsaktiviteter i nærheden af risikovirkomheder.
- Kriterier for skade på miljøet

2.1.1 Miljøprojekt 112's anbefalinger for kvantitative risikoacceptkriterier

Miljøprojekt 112 anbefaler følgende kriterier for teknisk vurdering af anlæg:

- En stedbunden (individuel) risiko for dødsfald for den mest udsatte nabo på 10^{-6} pr. år.
- Samfundsrisiko formuleret som risiko for dødsfald på 10^{-4} pr. år for et uheld med mindst 1 dødsfald, og som falder i forhold til kvadratet på antallet af døde, med et gråt område over denne kurve hvor risikoen bør være "As Low As Reasonably Achievable" (ALARA).
- Disse kriterier suppleres med krav om at risici reduceres så vidt det er rimeligt (ALARA princippet) og at der skal tages hensyn til alvorlige eller varige skader, samt skader som indtræffer senere.

Miljøprojekt 112 beskriver kun anbefalinger vedr. kvantitative kriterier som er baseret på dødsfald.

Acceptkriteriet for samfundsrisiko vises i Figur 5, se også Figur 2. Figur 5 viser den "grå zone" hvor det ovennævnte ALARA-princip skal anvendes, og som udstrækker sig over en faktor 100. Det vil sige at hvis risiko for et uheld med mindst ét dødsfald er mindre end 10^{-6} pr. år (100 gange mindre end minimumskriteriet på 10^{-4} pr. år⁷), behøves der ikke yderligere sikkerhedsforanstaltninger.

Argumentet for acceptkriteriet for stedbunden (individuel) risiko er at:

- Det svarer til risikoen for naturkatastrofer.
- Det er realistisk, at anlæg med god sikkerhedsmæssig praksis kan opfylde kriteriet.
- Det øger kun den personlige dødsrisiko pga. andre årsager med en lille brøkdel (højst 1 % for børn mellem ca. 10 og 15 år⁸).

⁷ Forventede uheldsfrekvenser udtrykkes oftest med potenser af 10, dvs. 10^{-4} pr. år betyder at sandsynligheden for uheld er én titusinde pr. år. Det svarer til, at der forventes *i gennemsnit* ét uheld pr. titusinde år på dette anlæg, eller, hvis der findes titusinde lignende anlæg, at der forventes *i gennemsnit* hvert år et uheld på et af disse anlæg. Dette udelukker dog ikke at uheldet kan indtræffe når (eller hvor) som helst.

⁸ Miljøprojekt 112 henviser til udenlandske statistikker. Den tilsvarende danske statistik er vist i Figur 8, som viser at børn mellem 6 og 12 år har den laveste dødsrisiko i Danmark.

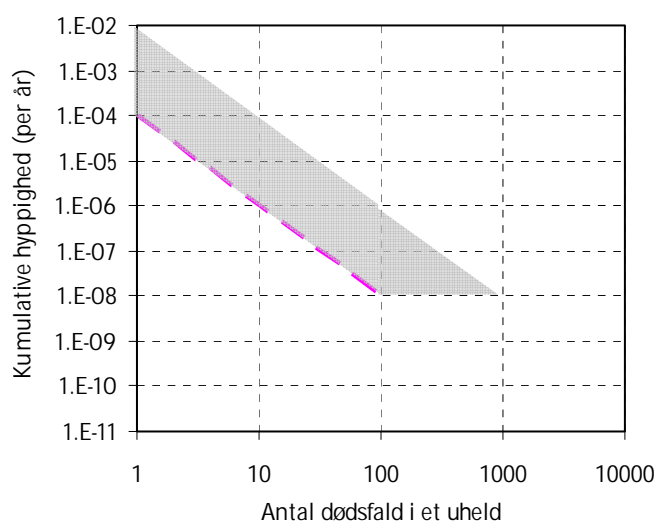
Spørgsmål vedr. kriterier for samfundsrisiko handler om følgende:

- Hældningen af kurven.
- Det absolutte niveau (dvs. skæring af kurven for uheld med kun ét dødsfald).
- Om kurven skal afskæres ved en bestemt uheldsstørrelse (dvs. at uheld over denne størrelse ikke tillades).

Argumentet for det valgte acceptkriterium for samfundsrisiko er at:

- En hældning på 2 på en logaritmisk skala passer til praktiske situationer (observationer af uheld og resultater af risikoanalyser).
- En hældning på en værdi større end 1 stiller skarpere krav til større uheld og tager dermed hensyn til den ekstra belastning som større uheld påfører samfundet.
- Der kan argumenteres for, at værdien ved 1 dødsfald (10^{-4} per år) ikke fører til konflikt med kriteriet for stedbunden (individuel) risiko i de fleste praktiske situationer.
- Det er realistisk at anlæg med god sikkerhedsmæssig praksis kan opfylde kriteriet.

Figur 5. Acceptkriterier for samfundsrisiko ifølge Miljøprojekt 112. Den lille linje angiver minimumskriteriet, den grå zone angiver hvor der skal anvendes ALARA princippet.



2.1.2 Miljøprojekt 112's anbefalinger for kvalitative acceptkriterier

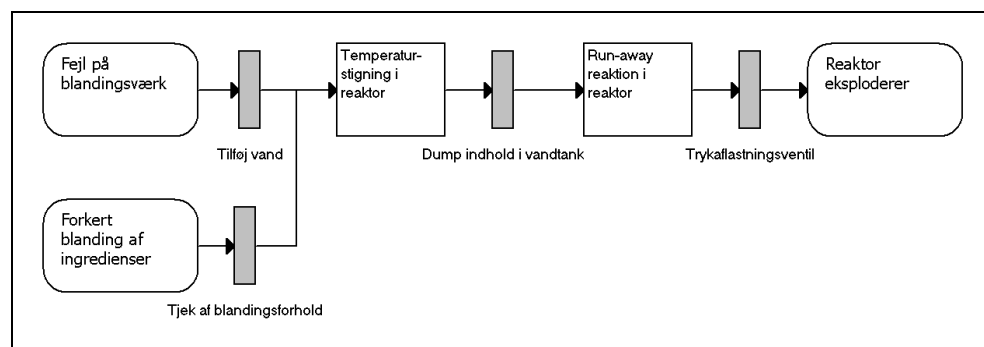
Miljøprojekt 112 definerer kvalitative acceptkriterier som kriterier, der sikrer at tilstedeværende sikkerhedsforanstaltninger står i rimeligt forhold til risikoen for uheld. Mens en konsekvensanalyse ved kvantitative metoder er essentiel for i detaljer at sætte tal på hvordan uheld påvirker omgivelserne, anvendes konsekvensanalysen ved kvalitative metoder for at kvalificere disse uheld mht. deres potentiale for at kunne påvirke omgivelserne, dvs. for at kvalificere dette uhelds *alvorlighed*.

Afhængig af både alvorlighed og forventede hyppighed kan der stilles krav til antal og kvalitet (fejlsikkerhed, effektivitet) af sikkerhedsforanstaltninger. Miljøprojekt 112 anbefaler barrierediagrammer⁹ som et værktøj til at gøre resulta-

⁹ En mere fuldstændig betegnelse er *sikkerhedsbarrierediagram*.

tet af risikoanalysearbejdet overskueligt. Disse diagrammer viser de mulige hændelsesforløb forud for et uheld og de sikkerhedsforanstaltninger (efterfølgende kaldet *barrierer* eller *sikkerhedsbarrierer*), som kan standse eller hæmme uheldet..

Figur 6. Eksempel på et sikkerhedsbarrierediagram



Analysen foregår ved at:

1. Alvorlighed af sluthændelsen (fx "Reaktor eksploderer" i Figur 6) vurderes ud fra en analyse af hvilke konsekvenser denne hændelse vil have for personer, bygninger, miljøet og lignende.
2. Der findes frem til (en størrelsesorden af) hyppigheden af begyndelseshændelserne ("Fejl på blandingsværk" og "Forkert blanding af ingredienser" i Figur 6).
3. Kombinationen af sluthændelsens alvorlighed og initierende hændelsers hyppighed bestemmer hvilke krav der stilles til de mellemliggende sikkerhedsbarrierer (tre barrierer i Figur 6).

Miljøprojekt 112 foreslår skalaer for konsekvensernes alvorlighed (konsekvensskala K, Tabel 2), hyppighed (hyppighedsskala H, Tabel 3) og fejlsandsynlighed af sikkerhedsbarriererne.

Tabel 2. Konsekvensskala for uheld ifølge Miljøprojekt 112

Konsekvensskala K	Beskrivelse af konsekvens
0	Ingen konsekvenser – hændelser indenfor anlæggets drift som ikke medfører forstyrrelser eller farer
1	Ubetydelige konsekvenser – hændelser der medfører mindre forstyrrelser, men ikke farer, og heller ikke påvirker produktionen i større omfang
2	Mærkbare konsekvenser – Mærkbar påvirkning af produktion, men ikke skade på personer eller miljø, og kun i mindre omfang skade på udstyr i nærheden af uheldsstedet
3	Betydelige konsekvenser – Mindre alvorlige personskader og/eller betydelige beskadigelse af miljø eller udstyr i nærheden af uheldsstedet
4	Alvorlige konsekvenser på virksomheden – Hændelser af alvorlig karakter, som dog ikke omfatter virksomhedens omgivelser. Der optræder ødelæggelse af anlægget og varige skader, evt. dødsfald, blandt medarbejdere
5	Stort uheld, der omfatter såvel virksomheden som dens omgivelser. På virksomheden findes adskillige varigt skadede personer og evt. dødsfald og/eller større ødelæggelse af anlægget samt påvirkning af virksomhedens omgivelser i form af varigt skadede personer, evt. dødsfald, miljøskader eller materielle ødelæggelser. Kan evt. opdeles i 5.1 og 5.2:
5.1	Mulighed for op til 10 dødsfald uden for virksomheder og/eller miljøskader i begrænset omfang
5.2	Mulighed for mere end 10 dødsfald uden for virksomheden og/eller omfattende miljøskader

Tabel 3. Hyppighedsskala for initierende hændelser ifølge Miljøprojekt 112¹⁰

Hyppighedsskala <i>H</i>	Kvalitativ beskrivelse	Størrelsesorden (per år)
6	Hyppig hændelse, to eller flere gange pr. uge	> 100
5	Almindelig hændelse, en eller flere pr. år, men mindre end to pr. uge	1 - 100
4	Ualmindelig hændelse	0,01 - 1
3	Sjælden hændelse	<0,01
2	Meget sjælden hændelse	<10 ⁻⁴
1	Yderst sjælden hændelse	<10 ⁻⁶
X	Hændelse, hvis sandsynlighed ikke kan beregnes pga. dens uforudseelige eller irrationelle karakter, fx sabotage.	

Fejlsandsynlighed for barrierer beskrives med points (*barrierepoints*). Hvert point indikerer at uheldshyppigheden nedsættes med en faktor $\sqrt{10}$ (kvadratroden af ti). Hvis den initierende hændelses hyppighed karakteriseres ved $H=4$ (højst én gang pr. år) og den samlede pointsum fra alle barrierer mellem starthændelsen og konsekvens er 8, så er konsekvensens forventede hyppighed højst 10^{-4} pr. år. Rapporten indeholder anbefalinger for hvordan man skal tildele point til forskellige typer af sikkerhedsbarrierer.

Acceptkriteriet er formuleret, således at der afhængigt af den initierende hændelses hyppighed H skal være sikkerhedsbarrierer til stede med en sammenlagt pointsum N , således at:

- For uheld med mulighed for dødsfald (individuel risiko): $N \geq 4 \cdot H - 2$;
- For uheld med konsekvensskala $K=5.1$ (samfundsrisiko): $N \geq 4 \cdot H - 4$;
- For uheld med konsekvensskala $K=5.2$ (samfundsrisiko): $N \geq 4 \cdot H + 2$;

Der beskrives også forenklede acceptkriterier. Disse tager kun hensyn til de barrierer som opfylder alle krav for gode barrierer. Disse (mindst automatiske) barrierer kan tildeles mindst 6 barrierepoint, og således kan man nøjes med at kræve et minimum antal barrierer for en given alvorlighed og start-hændelse.

Det noteres i Miljøprojekt 112 at de kvalitative krav er mere restriktive end de kvantitative krav (ovennævnt kriterium for individuel risiko er højst 10^{-7} per år), som kan betragtes som en ulempe for disse kriterier. Det skal bemærkes at Miljøprojekt 112 ikke omtaler hvordan den kvalitative metode håndterer forskellige uheldsscenerier som hver på deres måde bidrager til risiko. Dette vil gøre de kvalitative kriterier, hvis anvendt pr. scenario, mindre restriktive for det samlede anlæg.

2.2 "Tønderrapporten"

En arbejdsgruppe under Miljøstyrelsen og Energistyrelsen med repræsentation af de relevante risikomyndigheder, udarbejdede i 1996 en rapport, Tønderrapporten, der rådgav daværende Sønderjyllands Amt i forbindelse med placeringen og udformningen af de overjordiske anlæg til et evt. naturgaslager i Tønder (Miljøstyrelsen, 1996). Anbefalingerne til Amtet vedrørte især udlæg af sikkerhedszoner, hvilket også kan være relevant i forbindelse med andre risikovirksomheder.

¹⁰ Nogle konsulentfirmaer anvender p.t. hyppighedsklasser som er i omvendt rækkefølge og har en faktor $\sqrt{10}$ imellem hver klasse ligesom barrierepoint, dvs. kategori 2 svarer til en hyppighed 0,1 pr. år; kategori 4 til 0,01 pr. år. Hermed kan acceptkriteriet formuleres ved at summen af hyppighedskategori og barrierepoint skal overskride et bestemt minimum.

Tønderrapporten er udarbejdet for at belyse en række sikkerhedsmæssige spørgsmål i forhold til et underjordisk naturgaslager, uden at der lægges unødige restriktioner på muligheder for erhvervsudvikling i nærheden af lageret. Rapporten fokuserer på en hændelse (opbremset udslip fra 12"/16" rør) som betragtes som dimensionerende for sikkerhedsafstanden. Der er ikke foretaget en vurdering af skaderne ved en ukontrolleret gasudblæsning ved brand (blow out), da sandsynligheden "efter arbejdsgruppens opfattelse er af sådan størrelse, at den [ikke¹¹] skal være dimensionerede for sikkerhedszonerne". Det fremgår ikke: a) om konsekvensen af blow-out er større end opbremset udslip og b) hvilke sandsynlighedsniveauer der er tale om.

Sikkerhedszoner bliver defineret som zoner, hvor der kan ske hurtig evakuering, så der ikke må etableres institutioner som er vanskelige at evakuere.

"Hurtig evakuering" specificeres ikke nærmere. Der henvises til Stenlille hvor der er sket en opdeling i en indre og en ydre sikkerhedszone. Der må ikke opføres bygninger i den indre sikkerhedszone i lighed med sikkerhedszoner omkring gastransmissionsledninger. Der foreslås, at den indre sikkerhedszone til Tønder er lig med konsekvensafstanden for uheldsscenariet "udslip fra 12/16" rør med opbremset gassky. Den ydre sikkerhedsafstand bliver fastlagt ved hjælp af den metode, som på daværende tidspunkt blev anvendt til at fastlægge den ydre sikkerhedszone på maksimal 200 m omkring gastransmissionsledninger¹².

Vi konkluderer at:

- 1) Indre sikkerhedsafstand er konsekvensbestemt, uheldshyppigheden for det dimensionerende scenario er ikke gjort eksplicit.
- 2) Ydre sikkerhedsafstand er hverken eksplicit konsekvens- eller risikobestemt, men følger en designstandard.

Ud fra det mødereferat, som er vedlagt rapporten, konkluderes at der er gennemført kvantitative beregninger som støtter, at valget af en sikkerhedsafstand på 100-200 m er acceptabelt i sammenligning med Miljøprojekt 112's kriterium for samfundsrisiko (den nederste linje i Figur 5).

¹¹ "ikke" mangler i den oprindelige tekst.

¹² De for fastsættelsen af sikkerhedszoner relevante forskrifter fremgår af Arbejdsministeriets bekendtgørelse nr. 414/1988, suppleret med Arbejdstilsynets tillægsbestemmelser til "ASME Guide for Gas Transmission and Distribution Piping Systems" (1983). På nuværende tidspunkt henvises til Arbejdstilsynets (At) Vejledning F.0.1 "Naturgasanlæg", 2001.

3 Anvendelse af risikoacceptkriterier i EU

I dette kapitel beskrives risikoanalysemetoder og risikoacceptkriterier i forhold til fysisk planlægning af eller rundt om risikovirkomheder i Den Europæiske Union. Europakommissionen har udgivet to vejledninger om hvordan bestemmelserne om fysisk planlægning i Seveso II-direktivet kan implementeres i praksis (European Commission, 1999; European Commission, 2006). Endvidere har Kommissionen udarbejdet en oversigt af såkaldte "Roadmaps" (European Commission, 2007), med flere tekniske detaljer og eksempler på implementeringer i en række EU-medlemslande.

Disse vejledninger samt "Roadmaps" beskrives først, efterfulgt af en mere detaljeret gennemgang af praksis i syv udvalgte lande (Finland, Flandern, Frankrig, Nederlandene, Island, Storbritannien og Tyskland).

3.1 Europakommissionens Land Use Planning Guidelines

Europakommissionen har udarbejdet vejledninger til fysisk planlægning for risikovirkomheder og deres omgivelser (European Commission, 1999; European Commission, 2006). Disse vejledninger viser de forskellige måder, hvorpå medlemslandene kan opfylde deres forpligtelser mht. sikring af den fornødne afstand mellem risikovirkomheder og sårbare objekter. Der fokuseres i denne gennemgang på den seneste vejledning fra 2006. Denne vejledning er delt op i del A, B og C.

Del A beskriver de generelle overvejelser, som spiller en rolle ved implementering af politikker for fysisk planlægning for risikovirkomheder og deres omgivelser. Det drejer sig om beskyttelse af menneskeliv, naturområder, overfladevand og grundvand. Robuste politikker for fysisk planlægning af og/eller i nærheden af risikovirkomheder baseres på følgende elementer:

- Følgerigtighed: Betyder at der opnås sammenlignelige afgørelser i sammenlignelige situationer.
- Proportionalitet: Begrænsningers omfang (fx sikkerhedsafstande) udvides i takt med risikoens størrelse.
- Gennemskuelighed: En klar forståelse af beslutningsprocessen.

Disse elementer operationaliseres i en række generelle principper, herunder at der skal findes risikoanalysemetoder (for at sikre følgerigtighed) og vurderingskriterier baseret på skade eller risiko (for at sikre proportionalitet).

Del B beskriver tekniske aspekter, som omfatter:

- Typer af risikoanalysemetoder.
- Risikokriterier.
- Udvalgelse af uheldsscenerier som inddrages i analysen og beslutningen.
- Information om hyppigheder af kritiske hændelser.
- Konsekvensmodellering og skadepåvirkning.

En række af disse aspekter er uddybet nærmere i nedenstående afsnit 3.1.1 og 3.1.2.

Del C handler om miljøaspekter. De fleste risikoanalysemetoder (og dermed også risikokriterier med relevans for fysisk planlægning) fokuser på menneskeliv. Vejledningen konkluderer at der mangler metoder til vurdering af risiko for miljøet, men alligevel er myndighederne forpligtet til at forholde sig til spørgsmål om naboskab til sårbare naturområder, sjældne dyre- eller plantearter, og/eller beskyttede vådområder. Metoder, som anvendes i begrænset omfang, er indekxmetoder til at kvalificere farlige stoffer på deres potentiale til at skade miljøet (ved hjælp af et fareindeks), og til at kvalificere omgivelsernes følsomhed (ved hjælp af et følsomhedsindeks, eksempelvis en følsomhed, der baserer sig på hastigheden for nedsivning af forurening i jorden). Det har været forsøgt at definere acceptkriterier baseret på den tid, der kræves til at genetablere en oprindelig tilstand.

3.1.1 Risikoanalysemetoder og risikokriterier

Der findes forskellige tilgange til risikoanalyse og risikokriterier i EU. Både vejledningen fra 1999 og den fra 2006 beskriver de forskellige tilgange uden at anbefale én af metoderne. Den seneste vejledning udpeger fire elementer i to forskellige led:

- 1. Kvantitative (numeriske) versus 2. Kvalitative (ikke-numeriske) metoder;
- 3. Deterministiske (sikkerhed defineres ved hjælp af konkrete konsekvensanalyser uden at inddrage sandsynlighed) versus 4. Probabilistiske (sikkerhed defineres ved hjælp af sandsynlighedsfordelinger) metoder.

Disse elementer findes i forskellige kombinationer. Fire af disse kombinationer er nærmere beskrevet i de følgende afsnit.

3.1.1.1 Konsekvensbaserede risikoanalysemetoder

Konsekvensbaserede risikoanalysemetoder kaldes også for deterministiske risikoanalysemetoder. Konsekvensbaserede metoder baseres på en vurdering (geografisk udstrækning) af konsekvenser af "tænelige" (credible, conceivable) uheld, uden eksplicit at kvantificere hyppigheden af disse uheld. Det grundlæggende princip er det "værst *tænelige* uheld". Filosofien er, at hvis der ydes den nødvendige beskyttelse mod det værst tænelige uheld, vil der også være beskyttelse nok ved mindre uheld. Vurdering af uheldets sandsynlighed indgår kun implicit ved de kriterier som bruges til at fastlægge det værst tænelige uheld eller referencescenariet. Denne vurdering kan være kvalitativ (fx baseret på antal og typer af sikkerhedsbarrierer) eller kvantitativ. Mere usandsynlige hændelser udelukkes fra analysen (se kommentar i 1.3.2.2). Konsekvensafstanden for referencescenariet beregnes ved hjælp af én eller flere tærskelværdier for eksponering (fx 1 % dødsfald og hospitalsindlæggelse). Denne metode fører til sikkerhedszoner i form af koncentriske cirkler.

3.1.1.2 Risikobaserede risikoanalysemetoder

Risikobaserede metoder opfatter risiko som kombination af hyppighed og konsekvens, og er eksempler på probabilistiske metoder. Konsekvensen analyseres som i den konsekvensbaserede metode, men dertil føjes en eksplicit vurdering af scenariernes hyppighed. Disse kan kombineres på mere eller mindre avancerede måder. De mest avancerede metoder kaldes for kvantitativ risikoanalyse (se også afsnit 1.3.2.1). Disse metoder lægger resultaterne fra alle forskellige uheldsscenerier sammen, vægtet med deres hyppighed. Kvantitativ risikoanalyse fører generelt til to udtryk for risiko: stedbunden (individuel) risiko og samfundsrisiko i form af en F-N-kurve, se afsnit 1.2.3 og 1.2.4.

Stedbunden (individuel) risiko anvendes for at vise den geografiske fordeling af risiko, mens samfundsrisiko vurderer, om områder med høj befolkningstæthed kan blive udsat for risiko.

3.1.1.3 "State-of-the-Art/Best Practice"-tilgang

Denne tilgang er ikke i bogstavelig forstand en risikoanalysemetode. Den underliggende filosofi er, at de nødvendige sikkerhedstiltag skal findes for at beskytte befolkningen mod det "værst mulige" uheld. Det forudsætter, at virksomheden har taget hensyn til konsekvenser fra disse værste mulige uheld, og har truffet alle nødvendige forebyggende og uheldsbegrænsede tiltag således at risikoen uden for virksomhedens hegn er negligerbar ("zero-risk principle"). Dog erkendes, at det ikke i alle tilfælde er muligt at begrænse uheld til virksomhedens hegn og derfor udlægges sikkerhedszoner baseret på en vurdering af typiske (ikke nødvendigvis værste tænkelige) uheldsscenerier.

3.1.1.4 "Hybride" metoder

Som "hybride" metoder nævnes risikobaserede metoder, hvor ét af elementerne (oftest hyppighed) vurderes mere kvalitativt, dvs. i form af klasser i stedet for med kontinuerlige tal. Anvendelse af en risikomatrix er et typisk eksempel.

Som en anden hybrid metode nævnes anvendelse af tabeller med faste afstande som en forenkling af den konsekvensbaserede metode. Tabeller med faste sikkerhedsafstande bruges mest til mindre og mere rutinemæssige situationer (fx F-gastankstationer for biler). Vejledningen peger på at tabeller ofte er konservative (dvs. anvender forholdsvis store sikkerhedsafstande), og mest anvendes til en hurtig vurdering af hvilke situationer der kræver nærmere analyse.

3.1.2 Øvrige tekniske aspekter

Kommissionens vejledning fra 2006 berører også datagrundlaget for risikoanalysen. Der nævnes de fire vigtigste elementer:

- Valg af uheldsscenerier.
- Valg af hændeshyppigheder.
- Modellering og tærskelværdier.
- Tekniske tiltag ("Technical Measures") som defineret i artikel 12 af Seveso II-direktivet.

For at assistere med udvælgelse af uheldsscenerier udarbejder Kommissionen en database (Risk Hazard Assessment Database – RHAD¹³). Databasen skulle indeholde information om relevante scenarier pr. farligt stof og aktivitet, med information om hyppighed afhængig af forskellige forhold og afværgende tiltag, men databasen indeholder p.t. ikke mange relevante scenarier.

Vejledningen beskriver fem principper for udvælgelse af scenarier:

- Referencescenarier (som svarer til det, der i denne rapport kaldes for dimensionerende uheldsscenerier) kan udvælges pga. hyppighed og konsekvensens alvor.
- "Værst mulige" uheld er ikke nødvendigvis basis for fysisk planlægning, men kan vurderes i forbindelse med beredskabsplanlægning og vurderingen af, om de nødvendige tiltag (Best Practice) er truffet for at reducere hyppigheden af det værste mulige uheld til en negligerbar hyppighed.

¹³ <http://mahbsrv4.jrc.it/rhadnew-v3/adminindex.html>

- Det skal indgå i overvejslen indenfor hvilken tidsramme konsekvenserne effektueres, med andre ord, om der er tid nok til at aktivere et afværgende beredskab.
- Effektiviteten af sikkerhedsbarrierer må indgå i vurderingen.
- Fysisk planlægning betragtes som både en forebyggende og en afværgende foranstaltning for et anlæg, der overholder god praksis i henhold til gældende standarder.

3.2 Europakommissionens eksempler på risikoanalysemetoder ("Roadmaps")

Kommissionens vejledning fra 1999 (European Commission, 1999) indeholdt en kort beskrivelse af eksempler på forskellige risikoanalysemetoder for fysisk planlægning i en række EU-medlemslande. Herudover var der også en kort beskrivelse af praksis i Australien, Canada, Rusland, Schweiz og USA.

Efter vejledningen fra 2006 er disse beskrivelser udvidet i et separat dokument under betegnelsen "Roadmaps" ("Vejen Frem") (European Commission, 2007). Beskrivelserne er udvidet i den forstand at det er tydeligt fra hvilke medlemslande eksemplerne kommer fra. Samtidig er der i højere grad fokus på *processen* i fysisk planlægning med en beskrivelse af, hvilke myndigheder og interessenter der er involveret, og hvad deres beføjelser er.

Derudover indeholder "Roadmaps" en udførlig introduktion med beskrivelse af de forskellige risikoanalysemetoder i forhold til acceptkriterier og tærskelværdier. Der er (i forhold til tidligere publikationer) forholdsvis meget fokus på anvendelse af risikomatrixer med eksempler på en beskrivende (dvs. kvalitativ) konsekvensklassifikation.

Der beskrives tærskelværdier for varmestråling, eksplosionstryk og toksicitet. Der kan skelnes mellem anvendelse af såkaldte "Probitfunktioner" og faste værdier. Probitfunktioner estimerer den procentdel af den eksponerede population, som vil blive påført en bestemt skade ved en bestemt koncentration, hhv. strålingsintensitet eller overtryk. Tærskelværdier angiver derimod den koncentration, hhv. strålingsintensitet eller overtryk, som medfører en forudbestemt skade på helbredet. Dokumentet indeholder eksempler på tærskelværdier for varmestråling og overtryk i EU-medlemslandene og en sammenligning af forskellige toksicitetsdata, nemlig IDLH, ERPG og AEGL¹⁴ (disse data vises i Tabel 15 i afsnit 4.3.6)

Metoder for fysisk planlægning beskrives for følgende lande: Storbritannien, Frankrig, Tyskland, Italien og Nederlandene. Bortset fra Italien er disse lande også nærmere beskrevet i de følgende afsnit. Det bemærkes, at den italienske metode viser stor lighed med den franske praksis.

3.3 Risikoacceptkriterier i Finland

Kilde:

skrivelse fra Päivi Rantakoski og Leena Ahonen, Safety Technology Authority (TUKES) 9.8.2007.

Ny lovgivning om fysisk planlægning omkring risikovirkomheder er under forberedelse i Finland. Det overordnede princip for planlægning af en risikovirkomhed er, at et uheld ikke må medføre varige skader eller forhindre folk i at flygte fra deres hjem eller det sted, hvor de opholder sig. Alle tænkelige

¹⁴ IDLH: Immediately Dangerous for Life and Health (værdier udviklet for beredskabspersonale); ERPG: Emergency Response Planning Guidelines (værdier udviklet for arbejdere, dvs. raske personer); AEGL: Acute Emergency Guidance Level (værdier under udvikling for den almene befolkning)

uheldsscenarier skal vurderes. Man må kun se bort fra et uheldsscenario, når operatøren kan vise, at han kan forebygge uheldet under alle tilfælde. Udvælgelse af scenarier sker på kvalitative kriterier.

Sikkerhedsmyndigheden TUKES forbereder en vejledning for udvælgelsen af passende tærskelværdier for de forskellige effekter (trykbølge, varmestråling, toksicitet) og for udvælgelsen af uheldsscenarier.

Uheldets konsekvenser for personer, miljøet og bygninger betragtes. Den måde, hvorpå sikkerhedsafstande bliver implementeret, er under udvikling. I en første case study blev der lagt tre zoner ud rundt om en virksomhed, afhængig af konsekvensens størrelse. Sårbare objekter (skoler, hospitaler, plejehjem) planlægges kun udenfor den sidste zone, mens der i den inderste zone kun må ligge virksomheder.

Metoden gælder kun for nye tiltag, dvs. nybyggeri i nærheden af eksisterende risikovirksomheder eller placering af nye risikovirksomheder. Metoden anvendes ikke til vurdering om eksisterende risikovirksomheder er placeret hensigtsmæssig i forhold til eksisterende arealanvendelser.

3.4 Risikoacceptkriterier i Flandern

Kilde:

"Een code van goede praktijken inzake risicocriteria voor externe mensrisico's van Seveso-inrichtingen"

Flandern anvender kvantitative risikokriterier, som er de samme for både eksisterende og nye risikovirksomheder i kolonne 2 og 3. Kriterierne er baseret på tre værdier for stedbunden risiko, se Tabel 4, og en kurve for samfundsrisiko, se Figur 7. Hvis eksisterende virksomheder overskrider kriterierne, medfører dette krav til yderligere sikkerhedsforanstaltninger (for eksempel en "sikkerhedsinformationsplan", se nedenfor), men det kan også føre til, at miljøgodkendelsen ikke bliver udstedt, eller at regeringen kan forbyde driften af (dele af) virksomheden.

Det noteres, at enkeltstående boliger (herunder landbrugsbygninger) ikke regnes som boligområde. Vuggestuer og børnehaver regnes ikke som sårbare objekter.

Når iso-risikokurven for 10^{-5} per år overskrider virksomhedens ejendomsgrænse skal der opstilles en sikkerhedsinformationsplan som beskriver, hvordan risikovirksomheden og omkringliggende andre virksomheder har truffet aftale om informationsudveksling vedr. risici ved farlige stoffer. Kolonne 2-virksomheder behøver ikke at lave en kvantitativ risikovurdering ifølge den flamske implementering af Seveso II-direktivet, men de flamske lokale myndigheder kan kræve en kvantitativ risikovurdering som grundlag for en miljøgodkendelse.

Tabel 4. risikokriterier i Flandern.

Stedbunden risiko pr. år	Arealanvendelse
$<10^{-5}$	Udenfor virksomhedens grænse er erhvervsaktiviteter tilladt
$<10^{-6}$	Boligområde (mere end 5 boliger) uden sårbare områder (defineret som skoler, hospitaler, plejehjem og tilhørende arealer)
$<10^{-7}$	Alle anvendelser tilladt

I vurderingen af samfundsrisiko indgår ikke ansatte og eksternt ansatte på risikovirksomheden, men tilstedevær af personer i nabovirksomheder tages i betragtning. Der er ikke sat et kriterium for samfundsrisiko for uheld med mindre end 10 dødsfald, her må kriterierne baseret på stedbunden risiko yde

den fornødne beskyttelse. Det bemærkes dog, at virksomheden også for mindre uheldsscenarier (med mindre end 10 dødsfald) skal vise, at alle nødvendige forebyggelsesforanstaltninger er implementeret.

3.5 Risikoacceptkriterier i Frankrig

Kilder:

Le plan de prevention des risques technologiques (PPRT), Guide méthodologique, Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. Overview of roadmaps in selected member states (European Commission, 2007).

Frankrig har udviklet en detaljeret metode til at håndtere risikovirksomheder og deres omgivelser. Metoden er risikobaseret, men tillader at en del vurderinger er kvalitative, og der er en del forenklinger i forhold til en fuldbyrdet kvantitativ risikovurdering som i Nederlandene, Flandern eller Storbritannien. Basis for metoden er at der i virksomhedens risikovurdering bliver identificeret en række uheldsscenarier. Disse scenarier skilles først i:

- Hurtige uheldsscenarier.
- Langsomme uheldsscenarier. Langsomme scenarier er dem, hvor uheldsforløbet tillader at man kan evakuere alle personer som kan blive påvirket inden uheldet udvikler sig til det værste¹⁵. Virksomheden skal argumentere for, hvornår et scenario må betragtes som langsomt.

Alle scenarier vurderes med hensyn til deres hyppighed. Denne vurdering kan variere fra kvalitativ til kvantitativ med de klassifikationer der fremgår af Tabel 5.

Tabel 5. Inddeling i hyppighedsklasser for uheldsscenarier i følge den franske metode

Hyppighedsklasse	Kvalitativ hyppighedsvurdering	Semi-kvantitativ hyppighedsvurdering	Kvantitativ hyppighedsvurdering (pr. år)
A	Hyppig hændelse	En mellemform, som tillader at risikobegrænsende foranstaltninger tages i betragtning	10 ⁻²
B	Sandsynlig hændelse		10 ⁻³
C	Usandsynlig hændelse		10 ⁻⁴
D	Meget usandsynlig hændelse		10 ⁻⁵
E	Mulig hændelse, men ekstremt usandsynligt		

Næste trin er en vurdering af konsekvenser. For de "langsomme" scenarier vurderes kun de irreversible skader på værdier og miljø (da folk er evakueret). For hvert scenario analyseres op til hvilken afstand fra kilden, konsekvensen vil være *meget alvorlig*, *alvorlig*, *irreversibel*, eller eventuelt *indirekte*, se Tabel 6. Dvs. at for hvert scenario kan der tegnes et geografisk kort med 3 til 4 cirkler til hver af disse alvorlighedsgrader (i tilfælde af langsomme scenarier kun én cirkel til irreversible skader). Herefter lægges disse kort sammen for de forskellige scenarier. Toksicitet, varmestråling, overtryk og de "langsomme" scenarier lægges sammen hver for sig, så for stoffer som både er brandfarlig og toksisk ender man til sidst op med fire geografiske kort som viser vurderinger for

¹⁵ Et typisk eksempel på et langsomt uheldsscenario er "boil-over": Når en tankbrand får lov til at fortsætte, kan olien i bunden af tanken til sidst blive så varm, at den begynder at koge. Dette er en meget voldsomt proces, men man kan nå at evakuere befolkningen i nærheden inden da.

hver af disse konsekvenstyper. Nogle meget usandsynlige scenarier må udelukkes fra sammenlægningen ved hjælp af et "hyppighedsfilter". Det er kun hændelser i hyppighedsklasse E som opfylder ekstra krav vedr. passiv sikkerhed eller et minimum antal garanterede sikkerhedsbarrierer. Disse scenarier bibeholdes dog for beredskabsplanlægning.

Sammenlægningen sker ved at lægge sandsynlighedsklasser sammen: Fire scenarier af klasse E betegnes som "4E"; der skiftes til næste klasse ved en faktor 10, så 10 scenarier af klasse E betegnes som D. De endelige geografiske kort med konsekvensafstande opnås ved:

1. Bestem den mest alvorlige konsekvens på et bestemt sted på kortet.
2. Læg sandsynlighedsklasser sammen som på dette sted fører til denne mest alvorlige konsekvens.
3. Angiv "risiko" på dette sted ved hjælp af risikomatrix som i Tabel 7.

Tabel 6. Tærskelværdier for den franske metode for afgrænsning af konsekvensafstanden

<i>Konsekvens beskrivelse</i>	<i>Toksicitet</i>	<i>Varmestråling</i>	<i>Overtryk (mbar)</i>
Grænse for meget alvorlige farer for menneskeliv	LC 5% ¹	Største afstand til: 8 kW/m ² eller 1800 [(kW/m ²) ^{4/3}].s	200
Grænse for alvorlige farer for menneskeliv	LC 1%	Største afstand til: 5 kW/m ² eller 1000 [(kW/m ²) ^{4/3}].s	140
Grænse for signifikante farer for menneskeliv (irreversible skader)	Grænse for irreversible sundhedsskader	Største afstand til: 3 kW/m ² eller 600 [(kW/m ²) ^{4/3}].s	50
Grænse for indirekte skader (glasbrud)	-	-	20

Tabel 7. Risikomatrix for stedbunden (individuel) risiko ifølge den franske metode til udarbejdelse af restriktioner for fysisk planlægning.

<i>Maksimum konsekvens</i>	<i>Meget alvorligt</i>	<i>Alvorligt</i>	<i>Signifikant</i>	<i>Indirekte</i>
<i>Hyppighed</i>				
>D	TF+	F+	M+	Fai
Mellem 5E og D	TF	F	M	Fai
<5E	F+	M+	Fai	Fai

På baggrund af disse kort opstilles en plan for risikostyring. Disse planer kan indeholde muligheder for ekspropriering (kun for risikozoner klassificeret som TF+ og TF) og "délaissement"¹⁶ (for risikozoner klassificeret som TF+ til F). Disse planer udvikles under hensyntagen til bl.a. lokale forhold og historisk udvikling.

Generelt gælder et forbud mod udvikling af ny beboelse eller erhverv (urbanisering) i de risikozoner som er klassificeret som TF+ til F. Byudvikling er un-

¹⁶ "Délaissement" henviser til en fransk juridisk konstruktion: Myndighederne kan pålægge forbud mod at genanvende arealer og bygninger efter disse forlades af de nuværende ejere/brugere, i kombination med myndighedernes pligt til at overtage (købe) ejendomme når ejerne ønsker dette.

derlagt særlige forhold for de risikozoner M+ til M (for toksicitet eller varmstråling) hhv. M+ til Fai (for overtryk pga. mulighed for glasbrud). Institutioner som er svære at evakuere, må ikke opføres i de områder hvor der kan forekomme konsekvenser fra de "langsomme" scenarier. Planer for risikostyring kan også omfatte tekniske foranstaltninger til at beskytte bygninger og mennesker i farezonen, fx ved at indsætte eksplosionssikre vinduer. En tommelfingerregel er at disse foranstaltninger ikke må koste mere end 10 % af de eksponerede værdier. Dette gælder især i de risikozoner M+ og M. Et væsentligt element i den franske metode er at den lokale befolkning inddrages i beslutningsprocessen omkring disse risikostyringsplaner.

Ved siden af den stedbundne vurdering foretages også en helhedsvurdering af den totale risikoeksponering for en virksomhed. Dertil defineres fem alvorlighedsklasser for uheldsscenarioer som i Tabel 8, som anvendes i den i Tabel 9 viste risikomatrix. Denne matrix implementerer acceptkriterier for samfundsrisiko i Frankrig.

Tabel 8. Alvorlighedsskala defineret som sammenhæng mellem konsekvens og det antal eksponerede personer

<i>Konsekvens</i>	<i>Meget alvorligt</i>	<i>Alvorligt</i>	<i>Signifikant</i>
<i>Alvorlighed</i>			
Katastrofalt ("disastrous")	>10	>100	>1000
Meget stor ("catastrophic")	1-10	10-100	100-1000
Stor	<1	1-10	10-100
Alvorligt	0	<1	1-10
Moderat	0	0	<1

Tabel 9. Risikoacceptmatrix for virksomheder i Frankrig. De røde felter viser en uacceptabel risiko: Anlægget kan ikke godkendes. De gule felter viser hvornår anlægget kan godkendes på betingelse af, at alle praktisk mulige (ALARA) sikkerhedsforanstaltninger implementeres. De grønne felter viser hvornår anlægget kan godkendes uden videre betingelser.

<i>Alvorlighed</i>	<i>Moderat</i>	<i>Alvorligt</i>	<i>Stor</i>	<i>Meget Stor</i>	<i>Katastrofalt</i>
<i>Hypighedsklasse</i>					
A	ALARA	Nej	Nej	Nej	Nej
B	OK	ALARA	Nej	Nej	Nej
C	OK	ALARA	ALARA	Nej	Nej
D	OK	OK	ALARA	ALARA	Nej
E	OK	OK	ALARA	ALARA	Nej

3.6 Risikoacceptkriterier i Nederlandene

Kilder:

Decree on External Safety of Installations (Besluit externe veiligheid inrichtingen – BEVI) 2004

Guidance on the Duty of Accountability for Societal Risk

De nederlandske risikokriterier er implementeret ved en bekendtgørelse i 2004. Der er tale om kvantitative risikokriterier formuleret som stedbunden risiko, som sikrer at intet individ udsættes for en for høj risiko. Ved myndig-

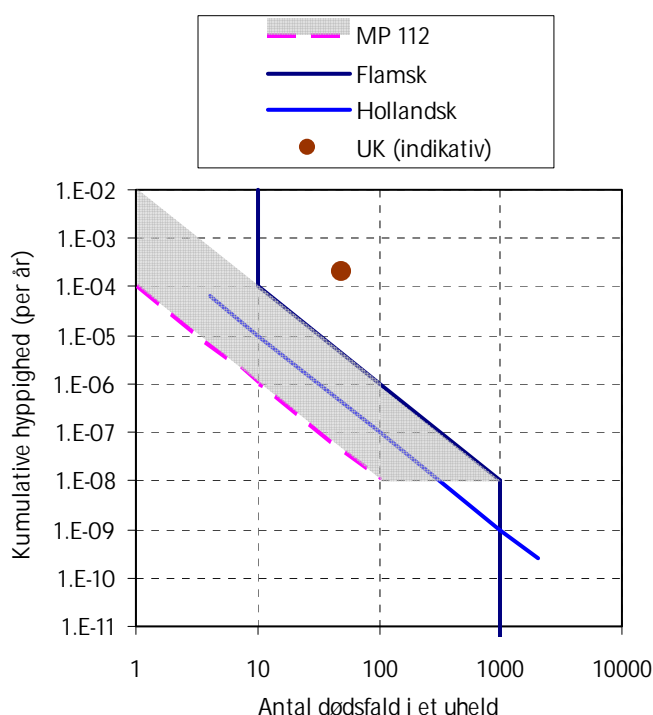
hedernes afgørelser (dvs. miljøgodkendelser for virksomheder på den ene side og godkendelser for byplanlægning tæt ved eksisterende virksomheder på den anden side) skal der også indgå overvejelser mht. samfundsrisiko.

Hollændere har udviklet et softwareværktøj til beregning af stedbunden (indivuel) risiko og samfundsrisiko. Værktøjet implementerer metoderne fra den "gule" og den "lilla" bog (Committee for the Prevention of Disasters, 1997; Committee for the Prevention of Disasters, 1999). Bindende retningslinier kræver fra den 1. januar 2008 resultater ved brug af dette værktøj som grundlag for myndighedsbehandlingen.

Der sondres mellem "sårbare objekter" og "begrænset sårbare objekter". Til det sidste hører spredte boliger (mindre end 2 pr. ha), mindre forretninger og hoteller, erhvervsområder, objekter med rekreative funktioner og objekter med en infrastrukturel funktion (elforsyning, telefoncentraler, flytårne o.l.). Sårbare objekter er boliger, områder til mindreårige, ældre, syge eller handicappede (skoler, børnehaver, plejehjem, hospitaler o.l.), større (centre med) forretninger og hoteller (defineret som etageareal, typisk over 1500 m²) og teltpladser for over 50 personer.

For sårbare objekter må en grænseværdi for stedbunden risiko af 10⁻⁶ pr. år ikke overskrides. For begrænset sårbare objekter gælder samme værdi som en *målsætning*, som under nogle betingelser må overskrides. For eksisterende miljøgodkendte virksomheder gælder en midlertidigt acceptkriterium på 10⁻⁵ pr. år, men senest i 2010 skal den generelle grænseværdi (dvs. værdien som skal anvendes for sårbare objekter) på 10⁻⁶ pr. år overholdes.

Figur 7. Samlet fremstilling af acceptkriterier for samfundsrisiko i Danmark (ifølge miljøprojekt 112 inklusiv det grå "ALARA"-område), Flandern (afsnit 3.4), Nederlandene (afsnit 3.6) og Storbritannien (indikation af en uacceptabel samfundsrisiko, se afsnit 3.8).



Myndighederne skal ved godkendelser sammenligne den beregnede samfundsrisiko med målsætninger for risikoaccept som vist i Figur 7:

- Den forventede hyppighed for uheld med mere end 10 dødsfald må ikke overskride 10⁻⁵ pr. år.
- For uheld med mere end 100 dødsfald ikke 10⁻⁷ pr. år.

- For uheld med mere end 1000 dødsfald ikke 10^{-9} pr. år.
- Til beregning af samfundsrisiko anvendes en maksimal konsekvensafstand som pr. definition omfatter det område hvor den forventede dødelighed er højere end 1 % ved det værste mulige uheld.

3.7 Risikoacceptkriterier i Island

Island anvender faste sikkerhedsafstande mellem risikovirksomheder eller oplag af farlige stoffer og andre bygninger og arealanvendelser. Disse afstande er i høj grad baseret på brandbeskyttelse. Der anvendes altså ikke eksplicitte risikoovervejelser.

Flere bekendtgørelser specificerer afstanden til anlæg med farlige stoffer, herunder bekendtgørelsen for F-gasoplag og oplag af brandfarlige væsker, men bekendtgørelserne vedrører forholdsvis små mængder (25 ton og 100 m^3 for henholdsvis F-gas og brandfarlige væsker). Sprængstofbekendtgørelsen er den eneste bekendtgørelse som omfatter Sevesovirksomheder. Denne bekendtgørelse specificerer fx afstand til "kolonne 3"-virksomhed (her henvises til en virksomhed med oplag af 50 000 ton) som i Tabel 10.

Tabel 10. Sikkerhedsafstand til kolonne 3-virksomheder på Island

Objekt	Sikkerhedsafstand
Sygehus, dagplejehjem, større samlingslokaler og meget trafikerede gader	1100 m
Boligområder	1100 m
Trafikerede veje, havne	330 m
Andre bygninger og offentlige veje	330 m

3.8 Risikoacceptkriterier i Storbritannien

Kilder:

Risk criteria for land-use planning in the vicinity of major industrial hazards, UK Health and Safety Executive, ISBN 11 885491 7 (1989)

Proposals for revised policies to address societal risk around onshore non-nuclear major hazard installations, UK Health and Safety Executive, Consultative Document CD112 (2007)

I Storbritannien anvendes begrebet "rådgivningsafstand" (consultation distance, CD), som i praksis kan sammenlignes med sikkerhedsafstand. Disse "rådgivningsafstande" rundt om hver risikovirksomhed bestemmes af den centrale kompetente myndighed (Health and Safety Executive HSE). Dertil udfører HSE for hver sag risikoberegninger på basis af oplysninger samlet via de lokale myndigheder fra virksomhedens tilladelser (Hazardous Substances Consent data, som indeholder oplysninger om bl.a. mængder af farlig stof, tankstørrelser, tryk, temperatur). Beregningerne er probabilistiske for toksiske stoffer, men de kan være deterministiske i tilfælde af at risikoen forårsages af mulighed for brand og eksplosion.

Rådgivningsafstande er delt i tre zoner, nemlig en afstand op til sandsynligheden af 10^{-5} (inderzonen), 10^{-6} (midterzonen) og $0,3 \times 10^{-6}$ (yderzonen) pr. år for eksponering til en farlig dosis (som kan tilnærmelsesvis sammenlignes med individuel risiko eller stedbunden risiko).

For hver udvikling af eller omkring en risikovirksomhed (dvs. indenfor den yderste rådgivningsafstand) skal den lokale planlægningsmyndighed spørge HSE til råds. HSE har ingen bemyndigelse til at afvise en godkendelse, men kan afgive en "negativ vurdering". Dog konkluderes i regeringens vejledning at "i lyset af den anerkendte ekspertise i ekstern risikovurdering ... skal en indstil-

ling fra HSE om at nægte en godkendelse for udvikling af, på, eller i nærheden af en risikovirksomhed, ikke afvises uden de mest dybtgående overvejelser”

Indtil videre foretager HSE kun vurderinger baseret på individuel risiko (sammenlignelig med stedbunden risiko). HSE anvender 10^{-6} pr. år som nederste grænse for individuel risiko for den almindelige befolkning: En risiko mindre end dette er ikke signifikant i forhold til hverdagens risici. For sårbare personer (ældre, personer sårbare for eksponering) anvendes en grænse som på $0.3 \cdot 10^{-6}$ pr. år. Der anvendes 10^{-5} pr. år som øverste grænse for accept af ufrivillig risiko (ufrivillig udsatte personer er fx ansatte i omkringliggende virksomheder).

HSE har vurderet hvor mange personer der højst må være indenfor den zone med høj risiko (op til 10^{-5} pr. år). Mere end 25 personer ville vurderes som ”væsentlig risiko”. I Tabel 11 vises hvilke typer af arealanvendelse der anses for acceptable indenfor de forskellige risikozoner.

Tabel 11. Nuværende grundlag for HSE's vurdering af nye udviklingsplaner

A: boliger, hoteller, ferie akkommodation	Negativ vurdering når mere end 25 personer udsættes for en individuel risiko over 10^{-5} pr. år, eller mere end 75 personer udsættes for en individuel risiko over 10^{-6} pr. år
B: arbejdspladser, virksomheder, parkeringspladser	Kun negativ vurdering, hvis risiko fra risikovirksomhed overstiger normal risiko for arbejdsulykker
C: Butikforretninger, selskabslokaler, sport og fritid.	Ingen faste regler, men vurdering i overensstemmelse med principperne for kategori A – typisk anvendes et antal personer på det travleste tidspunkt på hhv. 100 og 300 personer i de to risikoscenarier
D: Meget sårbare eller store faciliteter (hospitaller, skoler, store kategori C faciliteter >1000 personer)	Som kategori A, men risikokriteriet lægges lavere, typisk på 1/3 del af acceptkriterierne for kategori A ($0.3 \cdot 10^{-6}$ pr. år)

Tidligere har HSE ikke vurderet samfundsrisiko, bl.a. fordi den tidligere har været svær at regne ud, men der er nu udviklet en metode som er nem og kræver færre ressourcer. Der er en proces i gang i Storbritannien for at finde frem til et kriterium for samfundsrisiko. Derudover er der en diskussion om HSE's rådgivning skal udvides udenfor deres rådgivningsafstand som defineret ovenfor, fordi samfundsrisiko netop er relevant udenfor sikkerhedsafstande (se afsnit 1.2.4 og 1.3.1). I 2001 publicerede HSE rapporten: 'Reducing Risks, Protecting People' (R2P2) som foreslår at et kriterium for samfundsrisiko skal sikre at følgende udsagn tilgodeses: *“risikoen for et uheld som medfører 50 eller flere dødsfald i en enkel hændelse bør betragtes som uacceptabel hvis den forventede hyppighed er mere end 1 pr. 5000 år”* (dette udsagn er indikeret i Figur 7).

Det skal bemærkes, at den beskrevne fremgangsmåde kun bruges i forbindelse med nye udviklinger (opførelse af nye boliger, nye virksomheder, osv.) i nærheden af eksisterende virksomheder. Den bruges ikke til godkendelse af eksisterende virksomheder.

3.9 Risikoacceptkriterier i Tyskland

Kilder:

SFK/TAA-GS-1: Störfall-Kommission technischer Ausschuss für Anlagensicherheit, Leitfaden.

Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung - Umsetzung § 50 BImSchG

Den tyske "Störfallkommission" har i 2005 udarbejdet en vejledning for at implementere SevesoII-direktivets artikel 12 om fysisk planlægning og sikring af den fornødne afstand mellem risikovirksomheder og sårbare objekter. Vejledningen har hjemmel i den tyske miljøbeskyttelseslov. Det bemærkes, at vejledningen ikke anvendes for en vurdering af eksisterende situationer, hvor der i forvejen er udstedt en miljøgodkendelse, eller hvor gældende generelle miljøforskrifter er overholdt.

For oplag af eksplosiver og ammoniumnitrat findes særlige afstandskrav.

Der sondres mellem situationer med eller uden detailkendskab. I tilfælde af at der ikke findes detailkendskab til virksomheden (typisk ved planlægning af nye anlæg), anbefales generelle afstandskrav afhængig af de anmeldte stoffer i virksomheden. Kravene er opdelt i 4 klasser på henholdsvis 200, 500, 900 og 1500 m, se Tabel 12. Disse afstande gælder for virksomheder som i Danmark vil være omfattet af § 4 i risikobekendtgørelsen (kolonne 2-virksomheder), (Miljøministeriet, 2006). Baggrunden for disse anbefalinger er konsekvensberegninger, som anvender følgende standardforudsætninger:

- Udslip af det farlige stof fra et hul på 490 mm^2 (svarende til rørbrud af et DN 25 rør¹⁷).
- I tilfælde af brændbare stoffer antages umiddelbar antændelse.
- Spredning i atmosfæren beregnet som beskrevet i VDI-retningslinie 3783, under anvendelse af gennemsnitlige meteorologiske forhold for industrielle områder, som en vindhastighed på 3 m/s.
- En tærskelværdi på $1,6 \text{ kW/m}^2$ for varmestråling.
- En tærskelværdi på 0,1 bar for maksimum overtryk for eksplosioner (gennemsnit mellem 0,175 bar for skade på ører og 0,05 bar for personskade fra glassplint).
- En tærskelværdi for toksiske stoffer som er lige med EPRG¹⁸ 2-værdien.

I tilfælde af, at der er detailkendskab med industrien (typisk ved fysisk planlægning omkring eksisterende virksomheder), udføres konsekvensberegninger for den specifikke virksomhed. Disse beregninger udføres efter ovennævnte forudsætninger, selv om der er en vis frihed i udvælgelsen af scenarier (som størrelse på hullet – det anbefales for eksempel, at beregningsgrundlaget skal være et hul større end 80 mm^2). Ved oplag af farlige stoffer i cisterner eller flasker regnes med udslip én enkelt enhed (cisterne eller flaske). Uheldsbegrænsende foranstaltninger tages med i konsekvensvurderingen. Brand, eksplosion og toksiske effekter vurderes hver for sig.

¹⁷ For fosgen er der anvendt et DN 15 rør.

¹⁸ EPRG: Emergency Response Planning Guidelines, se også note 14. For hvert stof angives 3 koncentrationer (EPRG 1 til EPRG 3). Stoffets EPRG 2-værdi er den koncentration af stoffet i luften, som næsten alle personer kan eksponeres til i en time uden at der opstår varige skader eller påvirkninger som forhindrer personens selvredning.

Tabel 12. Tyske anbefal ede afstandskrav i til fæl de af, at der ikke findes detal jerede konsekvensberegninger

Klasse I, afstandskrav 200 m	Klasse II, afstandskrav 500 m	Klasse III, afstandskrav 900 m	Klasse IV, afstandskrav 1500 m
Ethylenoxid Acrylonitril Chlorbrinte Methanol Propan (F-gas) Benzol	Oleum 65% (Svovltri-oxid) Brom Ammoniak Hydrogenfluorid Fluor	Svovldioxid Svovlbrinte Formaldehyd (>90%) Blåsyre, HCN	Fosgen Acrolein Chlor

4 Diskussion af risikoacceptkriterier

I dette kapitel diskuteres de studier som er præsenteret i de to foregående kapitler. I afsnit 4.1 diskuteres de danske studier og den danske udvikling med udgangspunkt i Miljøprojekt 112. I afsnit 4.2 diskuteres og sammenlignes de europæiske studier. Til afslutning indeholder afsnit 4.3 nogle generelle betragtninger om valg af risikoacceptkriterier på baggrund af en samlet vurdering af studierne og den nuværende praksis i Europa.

4.1 Diskussion af udvikling i Danmark

Miljøprojekt 112 er en grundig bearbejdning af problemstillingen om risikoanalyse og risikoacceptkriterier.

Udviklingen af den kvalitative metode ved hjælp af sikkerhedsbarrierediagrammer har vist sig at være nyttig. Metoden anvendes generelt i Danmark og i nogle andre lande¹⁹. Bortset fra, at der på nuværende tidspunkt er opnået mere erfaring med anvendelse af forskellige metoder og kriterier, kan arbejdet kun kritiseres på følgende punkter:

1. Den kvalitative metode er ikke knyttet til en eksplicit vurdering af de geografiske forhold ved en virksomhed (afstand til beboelse, udstrækning af konsekvenser).
2. Den kvalitative metode fokuserer på acceptkriterier for enkelte uheldsscenerier og udtaler sig ikke om hvordan risikobidrag fra forskellige uheldsscenerier skal lægges sammen.

Dette har formodentlig været med til, at der senere i Danmark er kommet fokus på udvælgelse af et *dimensionerende* uheldsscenario til udpegning af sikkerhedsafstande. Dvs. at man fravælger det værste *mulige* uheld og fokuserer på et mindre uheld og lader dets konsekvensafstand bestemme sikkerhedsafstanden. Denne fremgangsmåde er kun forsvarlig, hvis der findes eksplicite, begrundede regler for hvordan man udvælger dette dimensionerende uheld, og Miljøprojekt 112 vejleder ikke på dette punkt. Denne fremgangsmåde tillader heller ikke at vurdere samfundsrisikoen. Samfundsrisiko er netop relateret til risikoen *udenfor* sikkerhedsafstanden (nemlig hvis der findes store befolkningkoncentrationer lige udenfor sikkerhedsafstanden), og den kan derfor kun vurderes, hvis man vurderer de uheldsscenerier som medfører konsekvenser udover sikkerhedsafstanden.

Miljøprojekt 112 har forsøgt at gøre de kvalitative og kvantitative kriterier sammenlignelige. For de enkelte hændelser er de kvalitative kriterier på den ene side strengere end de kvantitative kriterier, men på den anden side tages der i den kvalitative tilgang ikke højde for, at der ofte er flere uheldsscenerier som bidrager til den samlede risiko. Disse effekter kompenserer muligvis hinanden, men de gør sammenligningen svær.

For at kvantitative og kvalitative kriterier kan bruges side om side kræver det også, at man ved den kvalitative metode er villig til at udtale sig om hændelser med hyppigheder ned til størrelsesorden 10^{-6} pr. år for at få indblik i den maksimale konsekvensafstand, selvom det dimensionerende uheld (som bestemmer sikkerhedsafstanden) har en hyppighed på 10^{-4} pr. år. Den praksis for at begrænse sig til de dimensionerende uheldsscenerier, som beskrevet i den tidligere nævnte "Tønderrapport" (Miljøstyrelsen, 1996) strider med princip-

¹⁹ Disse diagrammer betegnes ofte som "Bow-Tie" diagrammer.

perne i Miljøprojekt 112, og er delvis skyld i det nuværende behov for nærmere vejledning i risikovurdering i Danmark.

4.2 Diskussion af gennemgang af praksis i EU

Både fra Kommissionens vejledninger og gennemgangen ovenfor af praksis i syv medlemslande konkluderes at der er væsentlig forskel i både acceptkriterier og måder at gennemføre risikoanalyser på i EU's medlemslande.

4.2.1 Kvalitative vs. kvantitative kriterier og metoder

Kommissionens beskrivelse af kvalitative metoder i vejledningerne viser, at valg af dimensionerende uheldsscenarioer i almindelighed medfører fravalg af vurderingen af værste *mulige* uheldsscenarioer, og dermed fravalg af muligheden for at vurdere behovet for beredskabsplaner for uheld som er større end de dimensionerende uheld (de værste *tænkkelige* uheld). Dette skyldes ikke mindst, at betegnelser som "worst case", "worst conceivable" og/eller "worst credible" er dårligt definerede, og dermed forsvinder forståelsen af forskellen mellem de to begreber.

I Tyskland anvendes en rent kvalitativ metode, dvs. hvor hyppigheder slet ikke vurderes. Der er klare, eksplicite regler for valg af de dimensionerende uheldsscenarioer. Disse scenarier er defineret ud fra en teknisk beskrivelse af udslip og forhold i omgivelserne. Uheld større end de dimensionerende scenarier (fx kollaps af en tank, forsinket antændelse af et eksplosiv udslip, samtidig svigt af flere beholdere pga. ildebrand) indgår ikke i betragtningerne. Risikoacceptkriterierne i form af afstandskrav er entydige.

Kvantitative risikoacceptkriterier gælder for både eksisterende og nye situationer i Nederlandene og Flandern. Disse kriterier ser på både stedbunden (individuel) risiko og samfundsrisiko. I Storbritannien anvendes kriterier baseret på stedbunden (individuel) risiko for nyudvikling i nærheden af eksisterende anlæg. Disse kriterier stiller grænser for, hvor mange mennesker der må udsættes for bestemte risikoniveauer, og tager på den måde delvis højde for samfundsrisiko (implicitte kriterier for forventede tab af liv).

Frankrig har udarbejdet en hybrid metode som nærmer sig en tilbundsgående kvantitativ risikoanalyse. Følgende "kvalitative" aspekter er dog bibeholdt:

- Hyppighed kan vurderes ved hjælp af hyppighedsklasser.
- Der anvendes faste tærskelværdier for beregning af konsekvensafstande.
- Forskellige konsekvenstyper (varmestråling, toksicitet, overtryk) vurderes adskilt (dvs. hyppighederne lægges ikke sammen).
- Der tages ikke højde for indflydelsen af vindretning eller -styrke, dvs. at sikkerhedsområderne er koncentriske cirkler rundt om farekilden.

Tydelige risikoacceptkriterier er fastlagt som rammer for håndtering af eksisterende og nye virksomheder. Denne planlægning kan også indeholde krav om ekstra sikkerhedsforanstaltninger, både på virksomheden og med hensyn til, at eksponerede bygninger bliver udført på en måde, så de kan yde beskyttelse for deres beboere.

Fremgangsmåden i Italien ligner metoden i Frankrig (European Commission, 2007).

4.2.2 Sikring af konsistente og ensartede afgørelser (følgerigtighed)

I afsnit 1.3.2.2 er det nævnt, at hyppighedsestimater kan være behæftet med stor usikkerhed. Også konsekvensmodeller viser indbyrdes ret store forskelle (Lauridsen m.fl., 2002). Dette kan føre til, at samme (type) anlæg kan vurderes til forskellige risici, hvilket er i strid med princippet om *følgerigtighed*. Gen-

nemgangen i kapitel 3 viser to måder til at håndtere denne problematik på som begge er relateret til kvantitative metoder og kriterier:

4.2.2.1 *Harmonisering*

I Nederlandene har der været stor fokus på at harmonisere den kvantitative risikovurderingsmetode. Ideen er at sammenligneligheden af resultater er vigtigere end at beregningerne er rigtige i absolut forstand. Dette arbejde førte til publicering af de "farvede" bøger (Committee for the Prevention of Disasters, 1992; Committee for the Prevention of Disasters, 1997; Committee for the Prevention of Disasters, 1999; Schüller m.fl., 1997). Virksomheder skulle have meget tungtvejende argumenter for at få accepteret en risikovurdering, som ikke var udført i overensstemmelse med disse vejledninger. Pr. januar 2008 stilles krav²⁰ om, at der bruges en bestemt softwarepakke (SAFETI-NL).

En ulempe med denne harmonisering er, at der bruges generiske fejlratere, jf. den "lilla bog", og ikke virksomhedsspecifikke oplysninger om udstyr og sikkerhedsforanstaltninger. Risikoen for en virksomhed, hvor der tages ekstra sikkerhedsforanstaltninger, bliver ikke vurderet anderledes end for en sammenlignelig virksomhed, som ikke har disse foranstaltninger. Hermed er princippet om proportionalitet kommet under pres, virksomheder har ikke et yderligere incitament for at forbedre sikkerheden, og det er svært for myndighederne at håndtere vurderingen af ekstra tekniske foranstaltninger i forhold til Seveso II, artikel 12 (i modsætning til den franske metode).

4.2.2.2 *Vurderinger foretages centralt*

I Storbritannien foretager en central myndighed, HSE, den kvantitative risikovurdering på baggrund af de oplysninger om virksomheden som de lokale myndigheder fremlægger. Der er dermed ikke formelt tale om harmonisering, men man sikrer sig, at vurderingerne udføres ved hjælp af identiske metoder, datakilder og ekspertise. I princippet anvender HSE også generiske data (FRED databasen), men eksperterne fra HSE kan tage højde for specifikke forhold på virksomheden, baseret på oplysninger fra virksomhedens sikkerhedsrapport og/eller virksomhedsbesøg²¹.

4.2.3 **Sammenligning af kvantitative risikoacceptkriterier**

Gennemgangen peger på, at der i de udvalgte EU lande er enighed om, at acceptkriteriet for stedbunden (individue) risiko ligger på 10^{-6} pr. år for den almene befolkning. Både den flamske, britiske og nederlandske regler tillader at små, "ikke-sårbare" grupper bliver udsat for risici på højst 10^{-5} pr. år. Erhvervsaktiviteter er tilladt ved endnu højere risikoniveauer i Storbritannien. De britiske og flamske regler håndterer lavere grænser for nogle sårbare objekter eller objekter, hvor der kan samles mange folk, dog ikke lavere end 10^{-7} pr. år. Kriterier for samfundsrisiko eksisterer kun i Flandern og i Nederlandene. Disse kriterier er udformet som en linje som begrænser F-N-kurven. I både Nederlandene og Flandern har linjen en hældning på 2 (på dobbeltlogaritmisk skala). I det nederlandske kriterium skal risiko for uheld med 10 eller flere dødsfald være mindre end 10^{-5} pr. år, i Flandern er det 10^{-4} pr. år (til sammenligning er det grå område ifølge Miljøprojekt 112 mellem 10^{-6} og 10^{-4} pr. år, se Figur 7).

Det er interessant at sammenligne disse kriterier med de franske hybride kriterier. Tabel 9 er udformet således, at den er sammenlignelig med en F-N-kurve. De franske hyppighedsklasser og alvorlighedsklasser ligger begge en

²⁰ Regeling externe veiligheid inrichtingen II (Revi II), december 2007

²¹ John Murray, HSE, e-mail den 24. januar 2008

faktor 10 fra hinanden (se hhv. Tabel 5 og Tabel 8). Hermed følger grænsen af det grønne område en hældning på 2 (to trin af gangen), mens grænsen af det røde område følger en hældning på 1 fra moderate til meget store uheld, og en hældning på 2 fra meget store til katastrofale uheld. Dvs. at også i de franske kriterier kommer risiko aversion (se nedenstående afsnit 4.3.2) til udtryk på næsten sammen måde som i Nederlandene og Flandern.

4.2.4 Eksisterende og nye situationer

I flere lande bruges risikoacceptkriterier kun eksplicit i forbindelse med nye virksomheder eller byudvikling i nærheden af eksisterende anlæg. Dette er formodentlig snarere begrundet i juridiske aspekter vedr. godkendelse af eksisterende virksomheder end at det er udtryk for at risikoen i eksisterende situationer skal accepteres.

I de (få) tilfælde hvor acceptkriterierne også anvendes til eksisterende situationer kunne disse for nogle år siden være højere end for nye situationer. Men i dag gælder de samme kriterier for nye og eksisterende situationer, eventuelt suppleret med overgangsordninger (Nederlandene, Frankrig).

4.2.5 Håndtering af sårbare objekter (fx hospitaler, skoler, infrastruktur)

EU's medlemslande anvender forskellige principper for udvælgelse og beskyttelse af objekter (mennesker, bygninger, arealer) som betragtes at være særligt sårbare i tilfælde af et uheld. I de fleste tilfælde er udvælgelsen af sårbare objekter uargumenteret, men i nogle tilfælde argumenteres der ud fra objekter som er vanskelige at evakuere.

I almindelighed skelnes mellem fire kategorier af eksponerede individer:

1. Medarbejdere på selve anlægget (både ansatte og eksterne håndværkere). I princippet er disse individer beskyttet ud fra krav om arbejdssikkerhed. De er i de fleste tilfælde ikke inkluderet i overvejelser vedr. samfundsrisiko.
2. Medarbejdere på virksomheder i nærheden af det farlige anlæg. Der accepteres ofte en højere stedbunden (individuel) risiko for erhvervsområder sammenlignet med boligområder (typisk en faktor 10 som i Flandern og Nederlandene). De britiske kriterier baserer sig også her på kriterier for arbejdssikkerhed. Dette kan der argumenteres for fordi:
 - a. Det forventes ikke at (de samme) arbejdere på virksomheder er eksponeret hele døgnet.
 - b. Der ikke er indrettet sovepladser.
 - c. Medarbejdere forventes mere effektivt at kunne håndtere beredskabsinstrukser.

Spredt beboelse (landbrugsejendomme) regnes også ofte til denne kategori, men dette er mere af praktiske end principielle grunde.

3. Beboere i almindelige beboelsesområder.
4. Individer som befinder sig i særlig sårbare objekter. Her er overensstemmelse mellem landene mindst. I Nederlandene skelnes ikke mellem kategori 3 og 4. I Flandern omfatter kategori 4 skoler, hospitaler og plejehjem. I Storbritannien omfatter kategorien også steder, hvor der kan samles mange folk, som butikcentre og sportsarenaer.

I nogle lande indgår antallet af eksponerede personer også i overvejelser om hvorvidt objekter er mere eller mindre sårbare. Når kriterier for stedbunden (individuel) risiko suppleres med kriterier for samfundsrisiko, vil sidstnævnte kriterier sikre, at objekter hvor der kommer mange mennesker (som store arbejdspladser, butikcentre, sportsarenaer o.l.) ikke udsættes for en for høj risiko. Antallet af eksponerede personer behøver i dette tilfælde ikke at indgå i overvejelser om følsomhed.

4.2.6 Risikoacceptkriterier for miljøskade

I lande, som bruger kvantitative risikoacceptkriterier, er der ikke opstillet eksplícitte kriterier for skade på miljøet. Kvalitative kriterier inkluderer miljøskade i definitionen af alvorlighedsklasser, men der mangler tærskelværdier i relation til miljøskade.

Kommissionens seneste vejledning, del C, nævner et antal metoder til vurdering af miljøskader (se afsnit 3.1) og konkluderer at en generel metode, som fører til sammenlignelige resultater, mangler.

4.2.7 Risikoacceptkriterier for helbredsskader

Alle kvantitative risikoacceptkriterier er baseret på sandsynligheden for dødsfald. Hvis man kender dødeligheden for forskellige eksponeringer, hvad enten det drejer sig om toksicitet, overtryk eller varmestråling, kan man lægge resultaterne sammen og generere et enkelt mål for risiko. Man bruger ofte probit-funktioner (Committee for the Prevention of Disasters, 1992)²² for at estimere dødelighed for en given eksponering.

De kvalitative kriterier benytter sig af tærskelværdier. Disse tærskelværdier refererer også til andre helbredseffekter (dog ofte i kvalitative termer), som dermed kan inddrages i vurderingerne. Det er dog også muligt at gennemføre en kvalitativ vurdering ved hjælp af dødelighed alene.

Tærskelværdier for toksicitet, varmestråling og overtryk er sammenlignet for tre lande i Tabel 13. Tærskelværdierne behøver ikke at være sammenlignelige, hvis der ledes efter forskellige påvirkninger (dødelighed eller varige skader). Men det er påfaldende, at mens de tyske tærskelværdier er lavest for varmestråling, er de højest for overtryk, hvilket enten peger på uenighed om det skadevoldende niveau eller inkonsistens mellem de forskellige konsekvenstyper.

Tabel 13. Sammenligning af tærskelværdier for kvalitative risikokriterier

<i>Konsekvenstype</i>	<i>Frankrig</i>	<i>Tyskland</i>	<i>Italien (fra Kommissionens "Roadmaps")</i>
Toksicitet	Grænse for irreversible sundhedsskader	EPRG-2 ¹⁸	IDLH ¹⁴
Varmestråling (kW/m ²) (langvarig eksponering)	3	1,6	3
Overtryk (mbar)	50 (direkte skade) 20 (indirekte fra glasbrud)	100 (gennemsnit mellem 175 for skade på ører og 50 for skade fra glasbrud)	30

4.3 Generelle betragtninger

4.3.1 Individuelt risikoniveau og beskyttelse af sårbare objekter

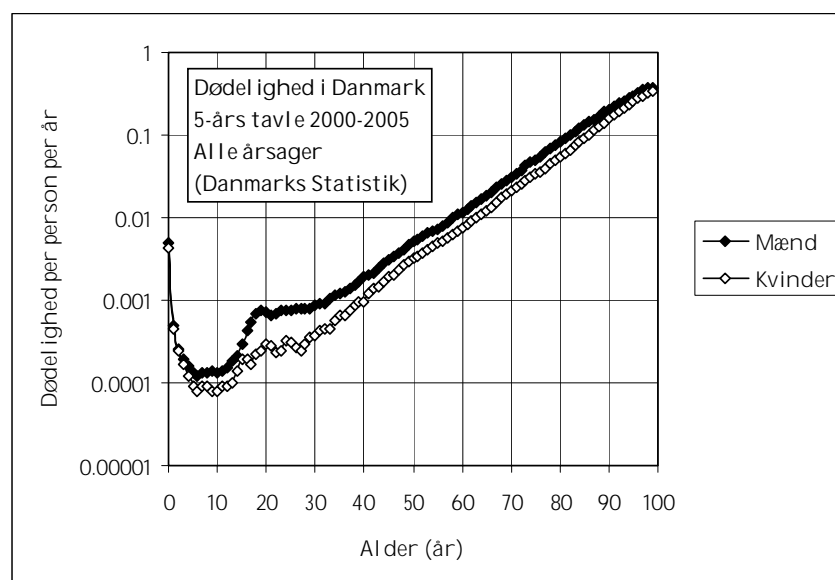
Alle personer har krav på det samme beskyttelsesniveau mod ufrivillig risiko. Indtil videre er der henvist til udenlandske studier mht. acceptkriterier for individuel risiko. Information fra Danmarks Statistik viser, at den laveste gen-

²² Probitfunktioner beskriver sammenhæng mellem dødelighed i en eksponeret population og dosis. Probitfunktioner for toksiske stoffer er mest baseret på dyreforsøg.

nemsnitlige dødelighed er lidt mindre end 10^{-4} pr. år for piger mellem 6 og 12 år, se Figur 8. Dermed udgør en ufrivillig risiko fra risikovirkninger på 10^{-6} pr. år højst 1 % af den laveste dødelighed i den danske befolkning, hvilket synes at være tilstrækkeligt lavt.

Det kan diskuteres, om børn og unge skal gives ekstra beskyttelse. Dødelighedsstatistikken giver ikke anledning dertil – den beskyttede gruppe skal udvides til en alder på ca. 30 år for at retfærdiggøre en højere beskyttelse med højst en faktor 3. Men andre grunde kunne være at dødsfald blandt børn og unge repræsenterer et stort antal tabte livsår eller et almindeligt følelsesmæssigt behov for beskyttelse af børn og unge.

Figur 8. Dødelighed i Danmark som funktion af alder for alle årsager (Danmarks Statistik)



Besværlig evakuering anvendes som argumentation for at udpege sårbare objekter. Mange uheldsscenerier er dog "hurtige" (se afsnit 3.5), hvilket gør at spørgsmålet om evakuering ofte ikke er særlig relevant. Et vigtigere argument er, om objektet spiller en rolle i beredskabsindsatsen. Det betyder at hospitaler, men også brandstationer og anden infrastruktur for beredskabskommunikation bør være placeret udenfor den maksimale konsekvensafstand.

Objekter hvor der kan samles mange mennesker (butikcentre, sportsarenaer m.fl.), bør indgå i overvejelser om samfundsrisiko, og på denne måde reguleres accept af afstand mellem disse objekter og risikovirkninger.

4.3.2 Samfundsrisiko og risikoaversion

Risikoaversion er betegnelsen for, at samfundet har sværere ved at acceptere ét stort uheld end få mindre uheld, selvom tabet af menneskeliv samlet set er det samme. Dette er én af grundene til, at hældningen i kriteriet for F-N-kurven plejer at være større end 1. Objektive argumenter for hældningen i F-N-kurven er, at store uheld overgår beredskabets kapacitet, og dermed er overlevelseschancer for ofre i et stort uheld mindre end i et lille uheld, og et stort uheld kan have stor påvirkning på en forholdsvis lille befolkningsgruppe (boligkvarter eller medarbejdergruppe), som overgår denne gruppes muligheder for at håndtere almindelige dødsfaldshyppigheder.

Der er ingen konkrete argumenter for, at hældningen på kurven skulle være 2, da ovennævnte argumenter er umulige at kvantificere. Hældningen på kurven

for uheld med få ofre (op til ca. 3 til 5 dødsfald) kunne være 1 (dvs. et uheld med tre dødsfald vægtes lige så tung som tre uheld med hver et dødsfald), fordi det vil være indenfor beredskabets normale kapacitet og ikke væsentligt overskride samfundets tilpasningsevne. Ligeledes kunne hældningen for meget store uheld (mere end 500-1000 dødsfald) gøres større for at vise at uheld af sådanne størrelser ikke kan håndteres af beredskabet og vil have uoprettelige konsekvenser for det lokale samfund. Disse små tilpasninger i ydersiden af F-N-acceptkurven forventes i praksis ikke at have stor betydning for godkendelse af almindelige anlæg i Danmark, da overskridelsen oftest vil ske i midten af virksomhedens F-N-kurve, se eksemplet i Figur 2.

Linjen for accept af samfundsrisiko som foreslået i Miljøprojekt 112 ligger lavere i forhold til de acceptkriterier som findes i Nederlandene og Flandern. Her er kriterierne en faktor 10 til 100 højere. Miljøprojekt 112 argumenterer for, at der er sammenhæng mellem miljøprojektets kriterier for stedbunden (individuel) risiko og samfundsrisiko for en gruppe på én person. Det er imidlertid ikke muligt at lave en god sammenligning mellem de to kriterier, da befolkningstæthed ikke indgår i vurderingen af den stedbundne (individuelle) risiko. Det kan kun siges at det er uhensigtsmæssigt, hvis samfundsrisikokriteriet for en gruppe på én er lavere end kriteriet for stedbunden risiko, fordi så overskrides samfundsrisikokriteriet inden kriteriet for stedbunden risiko overskrides.

4.3.3 Hyppigheder for dimensionerende uheldsscenarioer og maksimum konsekvensafstande

Ved anvendelse af kvalitative kriterier er det nødvendigt at oprette tydelige retningslinier for hvordan sikkerhedsafstande bestemmes. Det vil ofte være "repræsentative" scenarier, som ikke nødvendigvis er de værst tænkelige scenarier. Hvis risikoanalysen og risikoaccept begrænses til en vurdering af disse "repræsentative" dimensionerende scenarier, benægtes det, at der kan forekomme uheld med større konsekvenser. Derfor anbefales det at der også indgår scenarier som kan påvirke omgivelserne uden for sikkerhedsafstande, fx ved metoder som skitseret i afsnit 4.3.5.

Sikkerhedsafstande er sammenlignelig med den risikokontur for acceptabel stedbunden (individuel) risiko ved en kvantitativ vurdering, som ifølge gennemgangen er på ca. 10^{-6} pr. år for almen beboelse (afsnit 4.3.1). En sikkerhedsafstand som er baseret på et uheldsscenario med en hyppighed på ca. 10^{-6} pr. år vil yde mindst lige så meget beskyttelse som ovennævnte risikokontur – i praksis vil beskyttelsen være bedre, da et uheld ofte vil påvirke kun en del (typisk mellem 1/10 eller 1/100) af det område som potentielt kan blive påvirket. Derfor kan hyppigheden af det dimensionerende scenario passende vælges som ca. 10^{-5} pr. år (som svarer tilnærmelsesvis til den nederste grænse "5E" i den franske metode, se afsnit 3.5). Kriteriet for det dimensionerende scenario kan dermed fx defineres som *det uheldsscenario med den største konsekvensafstand, som har en hyppighed højere end ca. 10^{-5} pr. år (eller en tilsvarende kvalitativ hyppighedsklasse)*.

Med hensyn til hyppigheden for det scenario som bestemmer den maksimale konsekvensafstand, vil en nederste grænse ligge mellem 10^{-9} og 10^{-8} pr. år. Den første værdi svarer til Miljøprojekt 112's kriterium for scenarier med konsekvensklasse 5.2, sidstnævnte svarer til grænsen som anvendt i den nederlandske lilla bog (Committee for the Prevention of Disasters, 1999).

4.3.4 Risikoacceptkriterier for eksisterende og nye situationer

I nogle lande anvendes, eller har der været anvendt, mere lempelige kriterier for eksisterende end for nye situationer. Det kan diskuteres, om dette er en

acceptabel situation i længden – alle borgere har ret til lige behandling, og alle virksomheder bør kunne overholde samme krav. Argumentet for en lempeligere behandling af eksisterende situationer er at der er tale om historiske udviklinger, som er svære og dyre at ændre. Men det bør være et overordnet princip at der arbejdes hen imod en situation, hvor også borgerne i nærheden af eksisterende virksomheder sikres et risikoniveau som ikke er højere end hvad der er acceptabelt for andre. Hertil kan der indføres overgangsordninger med tidsfrister. Virksomheder bør kunne tilpasse sig til stigende krav med hensyn til deres miljøbelastning generelt, og risikoområdet bør ikke være en undtagelse.

4.3.5 Risikoacceptkriterier for miljøskade

Kommissionens seneste vejledning (European Commission, 2006) bekræfter, at der mangler etablerede acceptkriterier for vurdering af skade på miljøet som kan sammenlignes med acceptkriterier for risiko for livstab.

En rettesnor for sammenligning mellem uheld med personskade og uheld med miljøskade kan afledes fra Seveso II-direktivets annekse VI om anmeldelse af større uheld til Kommissionen (European Council, 1997). Forfatteren har tidligere²³ foreslået dette annekse som basis for at lave en sammenligning mellem konsekvensbeskrivelser for uheld med personskade og uheld med miljøskade, se Tabel 14. Udgangspunkt er kriteriet for indberetning, som svarer til konsekvensklasse 4. Beskrivelser for miljøskade for de andre konsekvensklasser er baseret på at tilpasse skadesomfang på samme måde som for personskade. Henvisningen i direktivets annekse VI til floder og kanaler er i øvrigt ikke særligt relevant for Danmark, og bør formodentlig erstattes med en sammenlignelig vurdering af miljøskade i saltvandsområder, dvs. fjorde, sunde og kyststrækninger.

I Tabel 14 bruges beskrivelserne som i risikomatrixeksemplet (Tabel 1), og med referencer til både Miljøprojekt 112's konsekvensskalaer (Tabel 2) og de franske alvorlighedsskalaer (Tabel 8). En sammenligning af den art afslører, at også de sproglige betegnelser for uheldsstørrelser varierer en del (Miljøprojekt 112's "alvorlige konsekvenser K=4" svarer til "stort uheld" i den franske metode og Tabel 1).

Ved hjælp af Tabel 14 kan man lave en kumulativ acceptkurve for uheld, som både kan anvendes på uheld med personskader og uheld med miljøskader, som vist i Figur 9. I stedet for en linje består acceptkriterierne nu af punkter (søjler) for hver konsekvensklasse. Til sammenligning vises det grå ALARA område ifølge de kvantitative kriterier fra Miljøprojekt 112 samt de nederlandske (lysegrønne) acceptkriterier, som repræsenterer en realistisk acceptabel sikkerhedsniveau. Desuden er de franske kriterier vist på samme måde som i Tabel 9: De grønne felter hhv. søjler nederst til venstre som viser for hvilke hyppigheder små (klasse 2 og 3) uheld kan accepteres uden videre betingelser, og de røde felter hhv. søjler øverst til højre som viser de forbudte risici.

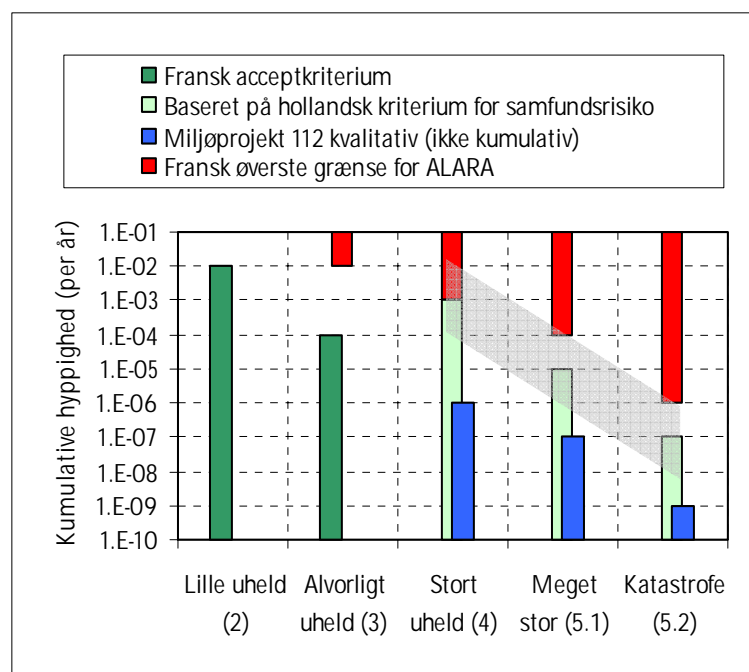
De kvalitative risikoacceptkriterier for uheld som defineret i Miljøprojekt 112 (afsnit 2.1.2) er også vist i denne figur, men det skal noteres at disse kriterier i princippet anvendes på enkelte scenarier (dvs. at kurven *ikke* er kumulativ). Figuren viser, at der skal ca. 100 uheldsscenarioer til før Miljøprojekt 112's kriterium overskrider et kriterium baseret på den nederlandske grænse for samfundsrisiko.

²³ PHARE Twinning project HU/IB/2001/EN/03: Implementation of the Seveso Directive (96/82/EC) by the National Directorate General for Disaster Management and Regional Directorates in Hungary

Tabel 14. Forslag til beskrivelse af konsekvenskategorier for uheld med både personskade og miljøskade, baseret på en sammenligning af kriterier for indberetning af større uheld ifølge Seveso-II direktivet, Anneks VI (European Council, 1997).

<i>Konsekvens-kategori</i>	<i>Konsekvensklasse (K) fra Miljøprojekt 112</i>	<i>Beskrivelse af personskade</i>	<i>Beskrivelse af miljøskade</i>
<i>Uønsket hændelse</i>	1	Højest små materielle skader	
<i>Lille uheld</i>	2	Mindre arbejdsskade i virksomheden	
<i>Alvorligt uheld</i>	3	Alvorlig arbejdsskade i virksomheden	Uoprettelig eller langvarig skade på naturområder: <ul style="list-style-type: none"> ▪ >0,2 naturfredede områder; ▪ >3 ha af det åbne land, inklusive landbrugsområder. Væsentlig eller langvarig skade på ferskvand: <ul style="list-style-type: none"> ▪ >3 km flod eller kanal; ▪ >0,3 ha sø eller dam Væsentlig skade til grundvandsreservoir <ul style="list-style-type: none"> ▪ >0,3 ha
<i>Stort uheld</i>	4	Dødsfald indenfor, skadede personer udenfor virksomheden	Uoprettelig eller langvarig skade på naturområder: <ul style="list-style-type: none"> ▪ >0,5 ha naturfredede områder; ▪ >10 ha af det åbne land, inklusive landbrugsområder. Væsentlig eller langvarig skade på ferskvand: <ul style="list-style-type: none"> ▪ >10 km flod eller kanal; ▪ >1 ha sø eller dam Væsentlig skade på grundvandsreservoir <ul style="list-style-type: none"> ▪ >1 ha
<i>Katastrofe</i>	5.1 Meget stor (catastrophic)	Dødsfald udenfor og indenfor virksomheden	Uoprettelig eller langvarig skade på naturområder: <ul style="list-style-type: none"> ▪ >1,5 ha naturfredede områder; ▪ >30 ha af det åbne land, inklusive landbrugsområder. Væsentlig eller langvarig skade på ferskvand: <ul style="list-style-type: none"> ▪ >30 km flod eller kanal; ▪ >3 ha sø eller dam Væsentlig skade på grundvandsreservoir <ul style="list-style-type: none"> ▪ >3 ha
	5.2 Katastrofalt (disastrous)		

Figur 9. Risikoacceptkriterier for uheld med person- og/eller miljøskade, med definitioner i Tabel 14. Det grå område viser ALARA området ifølge de kvantitative kriterier i Miljøprojekt 112.



4.3.6 Risikoacceptkriterier for helbredsskader

Kvantitative risikoacceptkriterier er baseret på dødsfald. Det antages implicit, at dødsfald er proportionelt med helbredsskader. Det er dog af interesse at kunne forudsige antal skadede personer, fordi dette ifølge sagens natur i højere grad kræver kapacitet fra beredskabet end (akut) dødsfald.

En nærmere analyse af sammenhæng mellem dødsfald og helbredsskader findes i (Rasmussen m.fl., 1999). Helbredsskader defineres ved mindst tre forskellige parametre:

- Behov for medicinsk behandling
- Den tid det tager at komme sig oven på skaden
- Omfang af permanente skader

Praktiske oplysninger mangler, som kan binde disse parametre sammen med eksponering for forskellige stoffer eller påvirkninger. Der findes kun få referencer i den videnskabelige litteratur, som beskriver sammenhænge mellem toksisk eksponering og fx hospitalsindlæggelse.

Siden ovennævnte rapport er AEGL-værdierne²⁴ udviklet, og disse anses på nuværende tidspunkt for at være det bedste alternativ for toksiske tærskelværdier til brug ved risikoanalyser (Taylor, 2007). AEGL-værdier viser tre forskellige niveauer (fra irritation til livstruende påvirkning), som kunne gøre det muligt at bestemme op til hvilken afstand der er risiko for dødsfald og op til hvilken afstand der er risiko for helbredsskader.

Ved anvendelse af kvalitative metoder til bestemmelse af sikkerhedsafstande udgør AEGL-værdier det foretrukne datagrundlag. Kommissionens "Road-Maps" (European Commission, 2007) indeholder en sammenligning af IDLH¹⁴, ERPG¹⁸ og AEGL3-værdier. Denne sammenligning vises i Tabel 15.

²⁴ Acute Exposure Guideline Levels, se <http://www.epa.gov/oppt/aegl>

Tabel 15. Sammenligning af tærskelværdier for påvirkning af toksiske stoffer (European Commission, 2007)

Stof	Tærskelværdier (ppm)		
	IDLH (30 min.)	ERPG (1 time)	AEGL3 (1 time)
Ammoniak	300	1000	1100
Brom	3	5	8,5
Chlor	10	20	20
Hydrogenchlorid	50	100	100
Hydrogenfluorid	30	50	44
Hydrogensulfid	100	100	50
Formaldehyd	20	25	56
Fenol	250	200	Utilstrækkelige data
Fosgen	2	1	0,75
Svoldioxid	100	15	30

Kommissionens "Roadmaps" sammenfatter også vejledende tærskelværdier for varmestråling og overtryk pga. eksplosion, disse tærskelværdier adskiller forskellige effektniveauer, se Tabel 16. Dette er det tætteste man kan komme ind på et datagrundlag som giver muligheder for at vurdere forskellige helbredsskader. Der henvises til Tabel 13 for at se hvordan disse værdier forholder sig til de kriterier som bliver brugt i Frankrig, Tyskland og Italien.

Tabel 16. Tærskelværdier for forskellige effekter for varmestråling og overtryk (European Commission, 2007).

Niveau	Kontinuerlig varmestråling (kW/m ²)	Kortvarig varmestråling (kJ/m ²)	Overtryk (mbar)
Ingen effekt	<1,6		
Små effekter	<3 - 5	<125	<30
Helbredelige skader	<3 - 5	125 - 200	30 - 50
Uhelbredelige skader	5 - 7	200 - 350	50 - 140
Dødsfald	>7	>350	>140

5 Konklusioner og anbefalinger vedrørende anvendelse af risikoacceptkriterier i Danmark

I dette afsluttende kapitel drages konklusioner mht. situationen i Danmark og EU vedrørende anvendelse af risikoacceptkriterier for risikovirksomheder, og heraf følgende synspunkter m.h.t. hvordan denne situation kan forbedres. I afsnit 5.1 beskrives den nuværende situation. Afsnit 5.2 beskriver de krav, som bør stilles til risikoacceptkriterier og de risikoanalysemetoder som anvendes til at generere de oplysninger, som skal holdes sammen med disse kriterier. I de følgende afsnit 5.3 til 5.5 anbefales hvordan risikokriterier kan formuleres inklusive størrelsesorden af acceptable risikoniveauer. Til sidst indeholder afsnit 5.6 synspunkter om behovet for yderligere indsats på området.

5.1 Status i Danmark og EU

Siden ca. 1995 er de fleste risikoanalyser for risikovirksomheder i Danmark gennemført ved hjælp af kvalitative metoder, med udbredt anvendelse af sikkerhedsbarrierediagrammer. Disse diagrammer har vist sig at være nyttige til at vurdere de sikkerhedsforanstaltninger som virksomhederne har foretaget. Desværre har disse kvalitative metoder ikke været velegnede til at definere ensartede og alment anvendelige regler for hvordan omgivelserne på passende vis skulle beskyttes mod den resterende risiko for uheld med konsekvenser udenfor virksomhedens grænser. Dette har medført at beslutninger om fx sikkerhedsafstande afgøres fra tilfælde til tilfælde uden altid at tage hensyn til generelle overvejelser vedrørende håndtering af uheldsmuligheder med lave eller meget lave forventede hyppigheder.

M.h.t. miljøskader har der ikke tidligere været en kvalificeret diskussion om acceptkriterier i Danmark. Dette er dog ikke meget forskelligt fra flere andre EU-medlemslande. Med hensyn til risiko for personskade har nogle medlemslande udviklet et velfungerende system baseret på kvantitative metoder (fx Storbritannien, Nederlandene og Flandern), hybride metoder (Frankrig, Italien) eller deterministiske metoder uden sandsynlighedsbetragtninger (med Tyskland som eneste eksempel). Der findes ikke tilsvarende veludviklede metoder til håndtering af miljøskader.

5.2 Krav til risikoacceptkriterier

Det første princip for risikoaccept er at alle unødvendige risici fjernes. Dette betyder at ALARA- eller ALARP-princippet altid anvendes, også hvis risikoniveauet i forvejen overholder de øvrige risikoacceptkriterier. ALARA-princippet indeholder en vurdering af, om omkostningerne af en sikkerhedsforanstaltning er uforholdsmæssig store i sammenligning med den sikkerhedsmæssige gevinst. Denne vurdering vil være forskellig afhængig af om risikoniveauet er højt eller lavt i forhold til risikoacceptkriterierne. Derfor er det ikke nødvendigt at fremhæve risikoniveauer hvor ALARA især skal anvendes.

Øvrige risikoacceptkriterier, og metoderne til at generere de data som skal sammenholdes med disse kriterier, skal overholde følgende krav:

- Følgerigtighed, proportionalitet og gennemskuelighed som beskrevet i Kommissionens seneste vejledning;
- Det bør være muligt at udtale sig om de omkringboendes risikoen på grund af den samlede aktivitet på anlægget, dvs. at alle relevante uheldsscenerier skal indgå i vurderingen;
- Det bør være muligt at inddrage vurdering af risiko for miljøskade i risikoaccepten;
- Det bør være muligt at udpege én eller flere sikkerhedsafstande (for forskellige arealanvendelser) og en maksimal konsekvensafstand;
- Hvis der accepteres beboelse indenfor den maksimale konsekvensafstand bør det være muligt at vurdere en form for samfundsrisiko, dvs. at håndtere risiko for områder med befolkningskoncentrationer, som befinder sig udenfor sikkerhedsafstanden, men indenfor den maksimale konsekvensafstand;
- Risikovurderingen bør afspejle effekten af de specifikke sikkerhedsforanstaltninger som den enkelte virksomhed har foretaget, dvs. at en risikovurdering ikke kun må baseres på generiske uheldshyppigheder.

5.3 Inddragelse af hyppighedskriterier

Definitionen af begrebet risiko indeholder et klart sandsynlighedsaspekt. Det er nødvendigt at inddrage sandsynlighed eller hyppighed i analysen, enten som talværdier eller ved hjælp af kvalitative beskrivelser eller klasser. Udvælgelse af dimensionerende uheldsscenerier, som bestemmer sikkerhedsafstande, bør baseres på eksplicite kvantitative eller kvalitative hyppighedskriterier, og der bør skelnes mellem sikkerhedsafstande og den maksimale konsekvensafstand for at opnå acceptable begrænsninger i arealanvendelse på den ene side og en erkendelse af mulige konsekvenser i meget sjældne situationer på den anden side.

5.4 Beskyttelse af sårbare objekter

Sikkerhedsafstande, dvs. grænser til områder med begrænset arealanvendelse, kan opstilles for fire forskellige objekter og/eller grupper af personer. En grundlæggende inddeling bør være:

1. Medarbejdere på selve risikovirksomheden beskyttes ved hjælp af kravene til almindelig arbejdssikkerhed;
2. Arbejdspladser på andre virksomheder må ikke udsættes for en stedbunden risiko for dødsfald (eller tilsvarende kvalitativt kriterium), der er større end størrelsesordenen 10^{-5} pr. år. Virksomhedernes medarbejdere skal være informeret om risikoforholdene og håndtering af uheldssituationer
3. Almen beboelse og andre områder som frekventeres af den almene befolkning, inklusive skoler, ældreboliger, o.l., må ikke udsættes for en stedbunden (individuel) risiko for dødsfald (eller tilsvarende kvalitativt kriterium) der overstiger størrelsesordenen 10^{-6} pr. år.
4. Objekter som udfylder en rolle i det offentlige beredskab, som hospitaler, brand- og politistationer bør placeres udenfor den maksimale konsekvensafstand.

Disse kriterier bør suppleres med kriterier for samfundsrisiko og miljøskader, således at den kumulative hyppighed af større uheld begrænses til:

- Størrelsesorden 10^{-3} pr. år for store uheld (med op til 1 dødsfald eller tilsvarende skader som defineret i Tabel 14);
- Størrelsesorden 10^{-5} pr. år for meget store uheld (med op til 10 dødsfald eller tilsvarende skader);
- Størrelsesorden 10^{-7} pr. år for katastrofer;

Ved beregning af samfundsrisiko bør der tages højde for folks tilstedeværelse og den beskyttende virkning af bygninger m.fl.

De samme kriterier bør benyttes for eksisterende og nye situationer. I eksisterende situationer, som ikke opfylder kravene, fastsættes tidsrammer indenfor hvilke kriterierne skal opfyldes – dette kan gøres ved forebyggende tiltag som nedsætter hyppigheden og/eller begrænsende tiltag som mindsker konsekvenserne.

Det forventes at, ved anvendelse af ALARA-princippet, kan de fleste risici reduceres til mindst en faktor 10 lavere end ovenstående acceptkriterier.

5.5 Risikoanalysemetoder

Miljøprojekt 112 har lagt op til, at kvantitative og kvalitative risikoanalysemetoder skulle føre til sammenlignelige resultater. Gennemgangen her har vist, at metoderne, som de hidtil er anvendt, er ret svære at sammenligne.

For at leve op til ovennævnte risikoacceptkriterier er det muligt at anvende kvantitative risikoanalysemetoder. Det anbefales dog, at der også ved kvantitative metoder gøres brug af sikkerhedsbarrierediagrammetoden, da denne har vist sig at være forståelig og forholdsvis nem at bruge. Den tillader også at tage hensyn til virksomhedsspecifikke omstændigheder.

Det bør fortsat være muligt at bruge kvalitative risikoanalysemetoder. For at resultaterne kan anvendes i forhold til de ovennævnte risikoacceptkriterier er det dog nødvendigt at der bruges et link mellem hyppighedsklasser og kvantitative hyppighedsintervaller, som i Tabel 3 eller Tabel 5. Derudover bør der udvikles retningslinjer for hvordan forskellige uheldsscenerier vurderes samlet (fx hvordan hyppigheder lægges sammen). Disse overvejelser peger på, at den franske metode med fordel kan bruges som grundlag for en dansk hybrid metode.

5.6 Behov for videre arbejde

Der er behov for at udvikle kvalitative eller hybride metoder som kan anvendes til fastsættelse af sikkerhedsafstande og samfundsrisiko. I afsnit 5.5 ovenfor nævnes, at den franske hybride metode kan være grundlag for en dansk hybrid metode. Ved udvikling af sådan en hybrid metode skal der ses kritisk på om de franske hyppigheds- og alvorlighedsklasser skal tilpasses. Det kan også overvejes at inkludere meteorologiske aspekter, som nedsætter eksponeringshyppighed i forhold til udslipshyppighed, ved en genvurdering og generalisering af Figur 2.2 i Miljøprojekt 112, annek A.

Der bør udvikles acceptkriterier for natur- og miljøskade. Udgangspunktet kunne være en sammenligning mellem alvoren af person- og miljøskaden som i Tabel 14, tilpasset til det danske behov for at kunne vurdere miljøskade i saltvandsområder, dvs. fjorde, sunde og kyststrækninger, i stedet for floder og kanaler. Dette arbejde bør også indeholde en gennemgang af de metoder som er foreslået i nogle EU-medlemslande (se afsnit 3.1), og analysemetoder som tidligere er anvendt i Danmark, især med henblik på at kunne håndtere Danmarks særlige interesse i beskyttelse af grundvandsmagasiner.

Der mangler en dansk vejledning i anvendelsen af ALARA- eller ALARP-princippet. Inspiration for sådan en vejledning kan hentes fra erfaringer i fx Storbritannien.

6 Ordliste

Denne ordliste forklarer de vigtigste risikobegreber som er anvendt i denne rapport. Hvis der findes en mere udførlig beskrivelse i rapporten er der tilføjet en henvisning til det pågældende afsnit.

Dansk betegnelse	Engelsk betegnelse	Forklaring
ALARA	ALARA (As Low As Reasonably Achievable)	Princippet om, at alle sikkerhedsforanstaltninger, som ud fra et teknisk og økonomisk synspunkt er rimelige, skal implementeres. ALARA er opstået indenfor strålingsbeskyttelse, men anvendes også for processikkerhed, fx i Miljøprojekt 112
ALARP	ALARP (As Low As Reasonably Practicable)	I Storbritannien og indenfor offshore foretrakkes begrebet ALARP i stedet for ALARA. ALARP indeholder i højere grad en kvantitativ cost-benefit analyse (dvs. om sikkerhedsgevinsten overstiger foranstaltningers omkostninger). Risiko er "ALARP" når yderligere risikoreduktion kræver en uforholdsmæssig stor ("grossly disproportionate") omkostning i forhold til den opnåede sikkerhedsgevinst.
Barrierepoint	Barrier point	Skala for sikkerhedsbarrierernes pålidelighed. Hvert point svarer til en nedsættelse af fejlraten med en faktor $\sqrt{10}$ (afsnit 2.1.2).
Deterministisk risikovurdering	Deterministic risk assessment	En risikovurdering som tager udgangspunkt i analyse af uheldenes konsekvensafstande uden at tage hensyn til sandsynlighed for uheldene (afsnit 3.1.1.1).
Dimensionerende uheldsscenario	Reference accident scenario	Uheldsscenario hvor konsekvensafstanden for uheldet anvendes som sikkerhedsafstand, se også <i>værst tænkelige uheld</i> (afsnit 1.3.2.2).
Fare	Hazard	Situation eller tilstand, som kan medføre skade (afsnit 1.2).
F-N-kurve	F-N-curve	Den kurve, som viser den kumulative sandsynlighed (F) for uheld med mere end et bestemt antal (N) dødsfald, og som bruges til at vise samfundsrisiko (se nedenfor) på en kvantitativ måde (se for en nærmere forklaring Figur 2).

Dansk betegnelse	Engelsk betegnelse	Forklaring
Forventet tab	Expected loss	Den forventede hyppighed af uheld ganget med uhelgenes konsekvenser (afsnit 1.2).
Forventet livstab	Potential Loss of Life PLL	Den samlede sum af eksponerede personers individuelle (døds-) risiko. Kan beregnes fra stedbunden risiko ganget med det antal personer som er udsat for denne risiko (afsnit 1.2.5).
Følgerigtighed	Consistency	Beslutninger er <i>følgerigtige</i> når der opnås sammenlignelige afgørelser i sammenlignelige situationer (afsnit 3.1).
Grupperisiko Hybrid risikovurdering	Group risk Hybrid risk assessment	Se samfundsrisiko (synonym) Risikovurderingsmetode som kombinerer elementer fra kvantitative metoder og kvalitative metoder (afsnit 3.1.1.4).
Hyppighed (forventet -)	Frequency (expected -)	Sandsynligheden for, at en hændelse indtræffer indenfor en bestemt tidsperiode, fx. et år.
Individuel risiko	Individual risk	Den forventede hyppighed for at en person bliver skadet eller dør (pga. uheld). I rapporten foretrækkes begrebet stedbunden (individue) [?] risiko (afsnit 1.2.3).
Initierende hændelse	Initiating event	Hændelse som igangsætter et forløb som kan føre til uheld.
Irreversible skader	Irreversible damage	Skader som ikke kan genoprettes.
Iso-risikokurve	Iso-risk curve	Kurve som forbinder punkter med samme stedbunden risiko (se Figur 1).
Konsekvens	Consequence	Resultatet af et uheld, for eksempel skader på helbred, liv, materielle værdier eller miljøet (afsnit 1.2).
Konsekvensafstand	Consequence distance	Den afstand fra faren indenfor hvilken der forventes skade (på liv, helbred, miljø, værdier) pga. uheldet (afsnit 1.2.2).
Konsekvensbaserede risikovurdering	Consequence-based risk assessment	Se <i>Deterministisk risikovurdering</i> (afsnit 3.1.1.1).
Kvalitativ risikovurdering	Qualitative risk assessment	En risikovurdering, hvor risikoen analysen alene indeholder en kvalitativ beskrivelse af risici uden kvantificering af hyppigheder (afsnit 1.3.2.2).
Kvantitativ risikovurdering	Quantitative Risk Assessment (QRA)	En risikovurdering, hvor risikoen analysen indeholder både en beskrivelse og en kvantificering af risici (afsnit 1.3.2.1).

Dansk betegnelse	Engelsk betegnelse	Forklaring
Maksimal konsekvensafstand Probabilistisk	Maximum consequence distance Probabilistic	Konsekvensafstand for det værste mulige uheld (afsnit 1.2.2). En <i>probabilistisk</i> analyse fører til <i>sandsynligheden</i> for at en påstand er sand eller falsk, modsat en <i>deterministisk</i> analyse, som fører til påstande som enten er sande eller falske.
Probabilistisk risikovurdering	Probabilistic Risk Assessment (PRA)	En risikovurdering som beregner sandsynligheden for at et uheld med en bestemt konsekvens opstår, modsat en <i>deterministisk risikovurdering</i> . Se også <i>kvantitativ risikovurdering</i> (afsnit 1.3.2.1).
Risiko	Risk	En kombination af hyppigheden af en uønsket hændelse og omfanget af konsekvenserne (afsnit 1.2).
Risikoacceptkriterier	Risk acceptance criteria	Kvalitative eller kvantitative udtryk, som sætter grænser for den risiko som kan accepteres (for en given virksomhed).
Risikoanalyse	Risk analysis	Metode til systematisk gennemgang af en risikobetonet aktivitet med henblik på at kunne identificere, klassificere og bestemme de risici, der er knyttet til aktiviteten (afsnit 1.3.2).
Risikoaversion	Risk aversion	Oplevelsen af, at få store ulykker er mere alvorlige end flere små ulykker, selvom det sammenlagte antal ofre er det samme (afsnit 4.3.2).
Risikobaseret risikovurdering	Risk-based risk assessment	Risikovurdering som både vurderer uheldenes konsekvenser og hyppighed. Kvantitativ risikovurdering er en risikobaseret vurdering (afsnit 3.1.1.2).
Risikomatrix	Risk matrix	En tabel som anvendes til at klassificere et uheldsscenario ved hjælp af hyppighedsklasser og konsekvensklasser (se Tabel 1, afsnit 1.2.1).
Risikovurdering	Risk assessment	En risikoanalyse efterfulgt af en sammenligning af resultaterne med acceptkriterier eller andre beslutningsparametre.
Samfundsrisiko	Societal risk	Sandsynligheden for, at et vist antal mennesker på samme tid udsættes for en skade fra et enkelt uheld (afsnit 1.2.4).
Sikkerhedsafstand	Safety distance	Afstand indenfor hvilken der pålægges begrænsninger for folks tilstedevær (afsnit 1.3.1).

Dansk betegnelse	Engelsk betegnelse	Forklaring
Sikkerhedsbarriere	Safety barrier	Sikkerhedsforanstaltning som kan forebygge uheld eller mindske konsekvenserne af et uheld.
Sikkerhedsbarrierediagram	Safety-barrier diagram	Diagram som viser de sikkerhedsbarrierer, der er til stede (afsnit 2.1.2).
Sikkerhedszone	Risk zone	Området indenfor sikkerhedsafstanden (Notér at risikoen er høj i sikkerhedszonen, mens det er sikkert udenfor, men begrebet er anvendt som i Miljøstyrelsens Tønderrapport, 1996. I beskrivelsen af de udenlandske metoder anvendes begrebet <i>risikozonen</i>).
Stedbunden risiko	Location-based risk (oprindeligt nederlandsk begreb)	Risikoen på et sted for at en person, som befinder sig uafbrudt og ubeskyttet på dette sted, dør på grund af et uheld (afsnit 1.2.3).
Sårbare objekter	Vulnerable objects	Individer og objekter som bygninger, arealer og naturområder som er modtagelige for skade i tilfælde af et uheld. Ofte hentydes til objekter som kræver særlig hensyn eller som er mere end gennemsnitlig sårbar for ulykkernes konsekvenser (børn, ældre, syge eller handicappede mennesker, objekter med særlig samfundsinteresse som drikkevandsforsyning m.fl.).
Tærskelværdi	End point value	Eksponeringsdosis (for toksisk stof, varmestråling eller trykbølge) som forårsager en bestemt effekt.
Uheld	Accident	Uønsket hændelse som medfører tab.
Uheldsscenario	Accident scenario	En række af hændelser som fører til et uheld. Et uheldsscenario starter med en initierende hændelse og slutter med den endelige konsekvens
Værst muligt uheld	Worst case accident	Det største uheld som teoretisk set er mulig på grund af de tilstedeværende farer og uheldspotentialer (afsnit 1.3.2.2).
Værst tænkeligt uheld	Worst credible accident	Det uheld som efter vurdering anses for at være <i>ikke usandsynligt</i> . Se også <i>dimensionerende uheld</i> (afsnit 1.3.2.2).

7 Referencer

- Christensen, F.M., Andersen, O., Duijm, N.J., and Harremoës, P., Risk terminology - a platform for common understanding and better communication, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 103, No 3, pp. 181-203, 2003
- Christensen, F.M., Andersen, O., Duijm, N.J., Knudsen, I., and Harremoës, P., Risikoterminologi. Oplæg til fælles forståelse og bedre dialog, pp. 50 p., 2002
- Committee for the Prevention of Disasters, Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials "green book", CPR 16E
ISBN 90-5307-052-4, Sdu Uitgevers, The Hague, 1992
- , Methods for the calculation of physical effects due to the releases of hazardous materials (liquids and gases) 'Yellow Book', CPR 14E, Sdu Uitgevers, The Hague, 1997
- , Guidelines for quantitative risk assessment ("Purple Book"), CPR 18E, Sdu Uitgevers, The Hague, Netherlands, 1999
- Dansk Standard, Risikoanalyse: Kvalitetskrav, terminologi (Risk analysis: requirements and terminology, DS/INF 85, pp. 1-21, DS-Information, Danish Standards Association, Copenhagen, 1993
- European Commission, Guidance on Land Use Planning as required by Council Directive 96/82/EC (Seveso II), Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1999
- , Land Use Planning Guidelines in the context of article 12 of the Seveso II Directive 96/82/EC as amended by Directive 105/2003/EC, Joint Research Centre, Inst. for Protection of the Citizen, Hazard Assessment Unit, 2006
- , Implementing Art. 12 of the Seveso II Directive - Overview of Road-maps in selected member states, Joint Research Centre, Inst. for the Protection and Security of the Citizen, Traceability, Risk and Vulnerability Assessment Unit, 2007
- European Council, Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, *Official J.Eur.Commun*, Vol. L 10, pp. 13-33, 1997
- Lauridsen, K., Kozine, I.O., Markert, F., Amendola, A., Christou, M., and Fiori, M., Assessment of uncertainties in risk analysis of chemical establishments. The ASSURANCE project. Final summary report., Risø-R-1344(EN)-49, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2002

- Miljøministeriet, Bekendtgørelse om kontrol med risikoen for større uheld med farlige stoffer, Vol. BEK nr 1666 af 14/12/2006, 2006
- Miljøstyrelsen, Rapport fra arbejdsgruppen af centrale myndigheder vedrørende et eventuelt naturgaslager i Tønder, Miljøstyrelsen, 1996
- Rasmussen, B., Bertelsen, I., Burchard, V., Christensen, P., Duijm, N.J., Grønberg, C.D., and Markert, F., Multi-objective decisions in land-use planning involving chemical sites, Risø-R-1106 (EN)
Contract no. ENV4-CT96-0241, pp. 57_p, Risø National Lab., Roskilde (DK). Systems Analysis, 1999
- Schüller, J.C.H., Brinkman, J.L., Van Gestel, P.J., and van Otterloo, R.W., Methods for determining and processing probabilities (Red Book), CPR 12E/PGS4, 2nd edition, Committee for Prevention of Disasters, The Hague, 1997
- Taylor, J.R., Afdækning af muligheder for etablering af standardværktøjer og/eller -kriterier til vurdering af sundheds- og miljørisici i forbindelse med større uheld (gasudslip) på risikovirksomheder, Arbejdsrapport Nr. 4, Miljøstyrelsen, København, 2007
- Taylor, J.R., Petersen, C.G., Kampmann, J., Schepper, L., Kragh, E.K., Selig, R.S., Becher, P., and Petersen, K.E., Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept (Quantitative and qualitative criteria for risk acceptance, in Danish), Miljøprojekt nr. 112
ISBN 87-503-7938-0, Miljøstyrelsen, Copenhagen, 1989
- Taylor, J.R. and Platz, O., Sammenligning af risikoniveauer og sikkerhedsforanstaltninger for nogle industrianlæg - arbejdsnotater, TA-90-6-1, pp. 1-71, Taylor Associates ApS, Glumsø, Denmark, 1991