

# **Branchebeskrivelse for elværker transformerstationer**

**Teknik og Administration  
Nr. 6 2002**

## Indholdsfortegnelse

<b>1. Indledning .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Sammenfatning.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Generel beskrivelse af branchen.....</b>	<b>11</b>
3.1. Branchedefinition og afgrænsning.....	11
3.2. Branchens strukturelle udvikling.....	12
3.2.1. Historisk udvikling.....	12
3.2.2. Antal virksomheder og udvikling i elproduktionen.....	14
3.3. Elværker.....	15
3.3.1. Jævnstrømsværk.....	15
3.3.2. Vekselsstrømselværk .....	17
3.4. Forsyningsnet.....	20
<b>4. Processer, teknologi og miljø .....</b>	<b>25</b>
4.1. Generel procesbeskrivelse .....	25
4.2. Arbejdsmetoder og miljøbelastning ved elproduktion .....	25
4.2.1. Produktionsapparat .....	26
4.2.2. Håndtering af brændstof .....	28
4.2.3. Vedligeholdelse og værkstedsaktiviteter .....	31
4.2.4. Oplag og affaldshåndtering.....	32
4.3. Arbejdsmetoder og miljøbelastning ved eldistribution.....	34
4.3.1. Drift af transformerstationer .....	34
4.3.2. Vedligeholdelse af transformerstationer.....	38
<b>5. Forureningsrisiko .....</b>	<b>43</b>
5.1. Oversigt over potentielle forureningskilder.....	43
5.2. Vurdering af forureningsrisiko .....	46
5.2.1. Kulbrinter.....	46
5.2.2. Chlorerede kulbrinter.....	47
5.2.3. Tungmetaller .....	49
5.2.4. Polycykliske aromatiske kulbrinter.....	49
5.2.5. Pesticider.....	50
5.2.6. PCB og chlorbenzener .....	51
5.2.7. Sammenfattende for el-/kraftværker.....	51
5.2.8. Sammenfattende for transformerstationer.....	52
<b>6. Undersøgelser .....</b>	<b>53</b>
6.1. Historisk kortlægning .....	53
6.1.1. Kortlægningsstrategi og –metode .....	53
6.1.2. Indsamling af historisk materiale.....	54
6.2. Status for branchernes miljøbelastning.....	57
6.2.1. Status for el-/kraftværkers miljøbelastning.....	57
6.2.2. Status for transformerers miljøbelastning .....	63
6.3. Kortlægningsundersøgelser frem til vidensniveau 2 .....	68
6.3.1. Undersøgelsesmetoder for el-/kraftværker .....	68
6.3.2. Undersøgelsesmetoder for transformere.....	69
6.3.3. Supplementprogram til undersøgelsesmetoder .....	71

6.3.4. Placering af boringer.....	72
6.3.5. Prøvetagningsmetoder.....	73
6.3.6. Feltanalyser.....	76
6.3.7. Laboratorieanalyser for el-/kraftværker.....	78
6.3.8. Laboratorieanalyser for transformere .....	80
<b>7. Afværgeteknikker .....</b>	<b>85</b>
<b>8. Litteraturliste.....</b>	<b>87</b>

## **Bilag**

<b>Bilag 1</b>	Ordlister
<b>Bilag 2</b>	Kort over den geografiske fordeling af elselskaber og elforsyning
<b>Bilag 3</b>	Billeder af forskellige transformere m.m.
<b>Bilag 4</b>	Datablade
<b>Bilag 5</b>	Oversigt over historisk materiale
<b>Bilag 6</b>	Relevante kilder i relation til afværgeteknikker

# 1. Indledning

## Forord

Denne branchebeskrivelse er udarbejdet af Dansk Miljørådgivning A/S for Amternes Videncenter for Jordforurening.

Branchebeskrivelsen er blevet til i et samarbejde med en følgegruppe, som har været tilknyttet projektet. I følgegruppen har deltaget:

- Claus Marcussen, Sønderjyllands Amt
- Carsten Bagge Jensen, Københavns Amt
- Pernille Milton, Københavns Amt
- Ane-Marie Westergaard, Vestsjællands Amt
- Charlotte Weber, Amternes Videncenter for Jordforurening
- Lars Kaalund, Amternes Videncenter for Jordforurening
- Susanne Boiesen Petersen, Miljøkontrollen, Københavns Kommune.

## Baggrund

Erfaringer fra forureningsundersøgelser på nedlagte el- og kraftværker viser en kraftig forurening af jord og grundvand. Endvidere har nyligt udførte undersøgelser af transformerstationer vist en hyppig forurening af jord og grundvand. Baggrunden for branchebeskrivelsen er at få fastlagt, hvilke forureningskilder og -komponenter der kan forekomme i forbindelse med elproduktion og -distribution.

I denne branchebeskrivelse er elproduktionens og eldistributionens udvikling samt miljøbelastning gennemgået fra slutningen af det 19. århundrede og frem til i dag.

Med baggrund i viden om opbygningen af el- og kraftværker samt anvendte processer, maskiner og materialer i forbindelse med elproduktion og -distribution samt erfaringer fra undersøgelser på el-/kraftværker og ved transformere er typiske forureningskilder udpeget, og der er foretaget en vurdering af de forurenende stoffers skæbne i jord- og grundvandsmiljøet.

Nærværende rapport samler denne viden, og på denne baggrund er der udarbejdet et forslag til undersøgelsesprogram for jord- og grundvandsforurening på lokaliteter med henholdsvis el-/kraftværk og transformere.

Branchebeskrivelsen, herunder dens anbefalinger, skal dog altid læses i forhold til de til enhver tid relevante vejledninger mv. fra Miljøstyrelsen.

## Formål

Formålet med nærværende branchebeskrivelse er at give en generel indsigt i branchens produktions- og miljøforhold - med særlig henblik på at give et overblik de over aktiviteter, der indebærer en belastning af jord og grundvand.

Branchebeskrivelsen tænkes bl.a. anvendt som opslagsværk i forbindelse med arbejdet med kortlægningsundersøgelser frem til vidensniveau 2, og evt. videregående undersøgelser, og skal supplere relevante vejledninger fra Miljøstyrelsen.

### **Læsevejledning**

En række begreber der anvendes i forbindelse med elproduktionen og eldistribution, er nærmere forklaret i ordlisten i bilag 1.

Branchebeskrivelsens indhold og overordnede anbefalinger er sammenfattet i kapitel 2.

I kapitel 3 defineres og afgrænses branchen, og der gives en oversigtlig indføring i branchens strukturelle udvikling, sammensætning og den tilhørende lovgivning. Som supplement til kapitel 3 er der i bilag 2 vedlagt et kort over fordelingen af elværker i Danmark i år 2000.

I kapitel 4 beskrives delprocesserne for elproduktion samt transformerstationer, samt hvilken miljøbelastning, med henblik på jord- og grundvandsforurening, som kan forventes i forbindelse med denne branche.

I kapitel 5 gives en oversigt over potentielle forureningskilder, forureningstyper og spredningsveje samt en vurdering af risikoen for at træffe en given forureningstype i jord, grundvand eller poreluft. Som supplement til kapitel 5 er der i bilag 4 udarbejdet en række datablade for stoffer, der er udvalgt med baggrund i hyppighed og farlighed. Databladene indeholder de mest almindelige fysisk/kemiske data, toksikologiske og spredningsrelevante data samt gældende kvalitetskriterier for jord, grundvand og poreluft.

I kapitel 6 beskrives en fremgangsmåde til indsamling af relevante historiske oplysninger. Dernæst gives der anbefalinger til, hvilke forurenende stoffer der *altid bør analyseres for*, hvilke der *anbefales analyseret for*, og hvilke der *i specielle tilfælde kan analyseres for* i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2. Desuden gives der anbefalinger til forureningskilder, der *altid bør medtages*, hvilke der *anbefales medtaget*, og kilder som *i specielle tilfælde kan medtages* i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2. Endelig gives der anbefalinger til, hvorledes tekniske undersøgelser kan udformes, herunder valg af prøvetagnings- og analysemetodik. Som supplement til kapitel 6 er der i bilag 5 anført en oversigt over historisk materiale.

I kapitel 7 gives en kortfattet oversigt over de nuværende tekniske muligheder for afværgeforanstaltninger i forhold til jord- og grundvandsforureninger på lokaliteter, hvor der har været el-/kraftværk eller transformere.

I kapitel 8 findes en liste over anvendte referencer.

## 2. Sammenfatning

### **Branchedefinition og afgrænsning**

I denne branchebeskrivelse er foretaget følgende afgrænsninger, således at branchebeskrivelsen kun behandler jord- og grundvandsforurening fra produktionsenheder for kul- eller oliefyrede el- og kraftværker. Industrivirksomheders egenproduktion er således ikke omfattet. Endvidere behandler branchebeskrivelsen elforsyningsnettets transmissions- og distributionssystem.

### **Branchens strukturelle udvikling**

I slutningen af det 19. århundrede blev de første elværker til elforsyning af et større geografisk område opført. De første værker producerede jævnstrøm via dampmaskiner eller dieselmotorer, som fyret med enten kul eller olie. Gældende for jævnstrømsværkerne var, at de kun havde et begrænset geografisk forsyningsområde.

I 1907 blev det første vekselstrømsproducerende værk opført. Vekselstrømmen kan optransformeres til højspænding og transporteres over store afstande med begrænset energitab. Vekselstrømsproduktionen medførte en opbygning af højspændingsnettet i Danmark.

Frem til 1960'erne foregik der en blandet produktion af jævnstrøm og vekselstrøm på værkerne. Omformere og ensretter muliggjorde, at vekselstrøm kunne omformes til jævnstrøm. Dette betød, at flere mindre jævnstrømselværker blev ombygget til at omforme vekselstrøm i stedet for at udbygge produktionsapparatet.

Fra 1984 blev der vedtaget love vedrørende rensning af røggas fra kraftværker, hvilket har bevirket, at støvpartikler, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>'er i dag i høj grad fjernes fra røggassen via henholdsvis partikelfiltre, afsvovlingsanlæg og DeNO<sub>x</sub>-anlæg.

I den første del af det 20. århundrede blev der bygget en række elværker. Fra slutningen af 1920'erne gik udviklingen mod færre og større el-/kraftværker, der kulminerede i starten af 1980'erne, hvor 99 % af elektriciteten blev produceret på 18 kraftværker. I dag går udviklingen mod flere mindre decentrale værker med tilknyttet varmeproduktion.

### **Processer, teknologi og miljøbelastning**

I forureningsmæssig sammenhæng kan potentielle forureningskilder overordnet opdeles i processer, der knytter sig til elproduktion og processer, der knytter sig til eldistribution.

Elproduktion er opdelt i følgende delprocesser:

- Produktionsapparatet
- Håndtering af brændstof
- Vedligeholdelse og værkstedsaktiviteter
- Oplag og affaldshåndtering.

I forbindelse med elproduktionen anbefales følgende forurenende stoffer undersøgt:

Forurenende stoffer, som der ***altid bør analyseres for*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Kulbrinter, herunder BTEX'er (opløsningsmidler, diesel- og fyringsolie, smøreolie samt blandede kulbrinter i affald, slagge og kul).
- PAH'er (oplag af olie, kul og slagge).
- Tungmetaller (oplag af kul, slagge og flyveaske, akkumulatorer).

Forurenende stoffer, som der ***anbefales analyseret for*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Chlorerede opløsningsmidler (affedtning).
- Kviksølv (kviksølvrensere og andre kviksølvholdige komponenter).

Forurenende stoffer, som der ***i specielle tilfælde analyseres for*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Dioxin (slagge og flyveaske)
- PCB (olieprodukter).

Eldistribution er opdelt i følgende delprocesser:

- Drift af transformerstationer
- Vedligeholdelse og reparationer af transformerstationer.

I forbindelse med elproduktionen anbefales følgende forurenende stoffer undersøgt:

Forurenende stoffer, som der ***altid bør analyseres for*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Kulbrinter, herunder BTEX'er (affedtningsmidler samt køle- og smøremiddel)
- Chlorerede opløsningsmidler (affedtning).

Forurenende stoffer, som der ***anbefales analyseret for*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Pesticider (ukrudtsbekæmpelse).

Forurenende stoffer, som der ***i specielle tilfælde analyseres for*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Kviksølv (kviksølvrensere og andre kviksølvholdige komponenter)
- PCB (olieprodukter)
- Chlorbenzener (PCB-holdige olieprodukter).

### **Kortlægningsstrategi**

Forureningskortlægning frem til vidensniveau 2 skal ifølge Lov om forurenede jord kun udføres inden for de offentlige indsatsområder, som er nævnt i loven.

Kortlægningsstrategien bør udvikles således, at arealer med el-/kraftværker og transformere beliggende i offentlige indsatsområder identificeres først.

Herefter igangsættes miljøhistoriske gennemgange, som er grundlaget for efterfølgende kortlægningsundersøgelser frem til vidensniveau 2. Disse vil typisk være tekniske undersøgelser.

### **Strategi for kortlægningsundersøgelser frem til vidensniveau 2**

Det anbefales, at følgende elementer indgår i strategien for en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Historisk redegørelse
- Prøvetagning af jord, grundvand og poreluft
- Evt. feltmåling af jord- og poreluftprøver
- Laboratorieanalyse af jord-, grundvands- og poreluftprøver
- Vurdering af analyseresultater i relation til relevante kvalitetskriterier
- Orienterende risikovurdering.

En undersøgelse af jord- og grundvandsforurening på en lokalitet med el-/kraftværk foreslås prioriteret på følgende måde:



Forureningskilder, **som altid bør medtages** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Udendørs områder omkring el-/kraftværket (nær opbevaring af akkumulatører)
- Nedgravede tanke
- Spild
- Udendørs oplag af kul og affaldsprodukter
- Deponier/ nedgravet affald
- Olieudskillere og sandfang
- Stander- og påfyldningspladser.

Forureningskilder, som **anbefales medtaget** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Værkstedaktiviteter
- Afløbssystemer
- Kviksølvsrensrettere.

Forureningskilder, som **i specielle tilfælde kan medtages** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Afkast via skorsten.

En undersøgelse af jord- og grundvandsforurening på en lokalitet med transformere foreslås prioriteret på følgende måde:

Forureningskilder, som **altid bør medtages** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Hovedtransformere (132/400 kV) og sekundær transformere (10/60 kV)
- Oliegruber
- Udendørs placerede olieafbrydere
- Udendørs områder, hvor der har foregået affedtning
- Områder, hvor der håndteres pesticider på friluftstranformerstationer.

Forureningskilder, som **anbefales medtaget** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Affedtning af indendørs placerede transformere
- Kviksølvsrensrettere
- Kondensatorer.

Forureningskilder, som *i specielle tilfælde kan medtages* i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Udendørsområder, hvor der er foregået ukrudtsbekæmpelse med pesticider.
- Indendørs placerede olieafbrydere.

### **Undersøgelingsprogram**

Som udgangspunkt placeres boringer og/eller poreluftsonder ved de potentielle forureningskilder, der er lokaliseret i den miljøhistoriske kortlægning.

På baggrund af den miljøhistoriske kortlægning placeres boringer ved udvalgte forureningskilder, f.eks. ved punktkilder som fyringsolietanke, sandfang, olieudskillere, transformere og områder, hvor affedtning har foregået samt ved diffuse kilder som overfladenær forurening i nærheden af skorstene og oplagsområder for kul, slagge og aske. Boringerne føres minimum til bund af fyldlag eller til bund af nedgravede tanke mv. Der udtages jordprøver til felt- og laboratorieanalyser.

I det omfang der træffes vandførende lag filtersættes én eller flere boringer i det terrænnære grundvandsmagasin med henblik på vandprøvetagning. Hvis det er muligt udføres tillige filtersatte boringer nedstrøms forureningskilderne.

Poreluftsonder placeres ved de punktkilder, der kan have givet anledning til forurening med flygtige komponenter.

På el-/kraftværker anbefales det at kombinere prøvetagningsmetoderne, således at der udtages både jord- og vandprøver. På transformere anbefales det at kombinere prøvetagningsmetoderne, således at der udtages både jord-, vand- og poreluftprøver.

Undersøgelingsprogrammet kan suppleres med TV-inspektion og evt. tæthedsprøvning af kloakker og olieudskillere samt geofysisk kortlægning af nedgravede tanke og rørføringer.

Da tungmetalforurening er svær at spore ved visuelle vurderinger, bør det overvejes at screene et større antal jordprøver i felten.

På el-/kraftværker anbefales følgende laboratorieanalyser som standard:

- Jordprøver analyseres for totalindhold af kulbrinter, BTEX, PAH samt tungmetaller.
- Grundvandsprøver analyseres for totalindhold af kulbrinter og BTEX.

Jordprøver kan som supplement analyseres for kviksølv, PCB og dioxiner. Vandprøver kan som supplement undersøges for chlorerede opløsningsmidler og tungmetaller. Som supplement kan der endvidere udføres poreluftprøver,

hvis der eksempelvis er oplysninger om anvendelse af opløsningsmidler, herunder chlorerede opløsningsmidler i forbindelse med værkstedsaktiviteter.

På transformerstationer anbefales følgende laboratorieanalyser som standard:

- Jordprøver analyseres for totalindhold af kulbrinter og BTEX.
- Grundvandsprøver analyseres for totalindhold af kulbrinter, BTEX samt chlorerede opløsningsmidler.
- Poreluftprøver analyseres for totalindhold af kulbrinter, BTEX samt chlorerede opløsningsmidler.

Endvidere bør vandprøver analyseres for udvalgte pesticider, såfremt der er oplysninger om håndtering af pesticider på lokaliteten. Hvis der foreligger oplysninger om anvendelse af PCB-holdig transformerolie, kan vandprøver endvidere analyseres for chlorbenzener.

Undersøgelsen afsluttes med vurdering af analyseresultaterne i relation til relevante kvalitetskriterier samt en orienterende risikovurdering.

### 3. Generel beskrivelse af branchen

#### 3.1. Branchedefinition og afgrænsning

Elforsyningen består af tre hovedelementer:

- Produktionsenheden: Anlæg til produktion af jævn- eller vekselstrøm (elværker/kraftværker).
- Transmissionssystemet: Omtransformering af den producerede strøm på transformerstationer i forbindelse med distributionen af strømmen fra elværk/kraftværk til forbrugeren.
- Distributionssystemet: Høj- og lavspændingsledningsnettet, der leder den producerede strøm fra elværk/kraftværk til forbrugeren.

Både *elværk* og *kraftværk* benyttes i den anvendte litteratur som betegnelse for produktionsenheden. Betegnelsen elværk knytter sig hovedsageligt til værker, der både står for produktion og fordeling af elektricitet /1/. Betegnelsen kraftværker er anvendt efter 2. verdenskrig og knytter sig til centraliserede værker, der primært stod for produktion af elektricitet, og hvor forsyningsselskaber stod for fordeling af elektriciteten /1/. I bilag 1 er vedlagt en liste over ordforklaringer for udvalgte begreber inden for elproduktion, -transmission og -distribution.

I denne branchebeskrivelse er produktionsenheden afgrænset til kul- eller olie-fyrede el- og kraftværker. Det skal i denne sammenhæng nævnes, at der kan være tilknyttet varmeproduktion i forbindelse med produktionen af elektricitet. Varmeproduktion er tidligere beskrevet i branchebeskrivelse for varmegværker /2/ og medtages ikke i denne rapport. Produktionsenheder til industrivirksomheders egenproduktion er ikke behandlet.

Transmissionssystemet omfatter generatortransformatorer (maskintransformatorer), primærtransformatorer (hovedtransformatorer) og sekundærtransformatorer (fordelingstransformatorer). Distributionssystemet behandles i forbindelse med transformerstationer.

Elværker var før 1993 opført under branchekode 41010 Elværker og er efter 1993 opført under branchekode 401000 Elforsyning i Danmarks Statistik /3/.

Elværker er at finde under Miljøstyrelsens kode 11. Energiforsyning, 11.1 Elværker og 11.2 Kraft-/varmegværker /4/. Miljøstyrelsens koder anvendes ved indberetninger af oplysninger til Miljøstyrelsen.

#### **Lovgivning**

Elværker/kraftværker er omfattet af Miljøbeskyttelseslovens kapitel 5 og er opført på listen over godkendelsespligtige virksomheder. Elværker/kraftværker er

anført under gruppe G Kraft og varmeproduktion, der har følgende underinddeling /5/:

G1: Kraftværker, varmeproducerende anlæg, gasturbineanlæg og gasmotoranlæg med en samlet indfyret effekt på mere end 50 MW.

G2: Kraftproducerende, varmeproducerende anlæg, gasturbineanlæg og gasmotoranlæg med en samlet indfyret effekt på mellem 5 og 50 MW.

G3: Kraftproducerende anlæg og varmeproducerende anlæg, der helt eller delvist er baseret på faste biobrændsler med en samlet indfyret effekt på mellem 1 MW og 5 MW.

Amtet er godkendelsesmyndighed for gruppen G1, mens kommunen er godkendelsesmyndighed for grupperne G2 og G3 /5/. Kommunerne er godkendelsesmyndighed for transformerstationer.

I bilag 2 er vedlagt et oversigtskort over fordeling af elværker med en levering til elnettet på over 10 GWh i år 2000 /6/ samt et oversigtskort over selskaber for distribution af elektricitet i Danmark /7/.

### **Branchorganisation**

Fra 1923 til 1999 har elværker været organiseret i Danske Elværkers Forening (DEF) /8/. I 1999 skiftede denne navn til Danske Energiselskabers Forening (DEF) /8/. I 2001 skete der en organisatorisk omlægning, der bevirkede, at foreningen blev en paraplybrancheorganisation for virksomheder i energisektoren /8/. I samme forbindelse foretog brancheorganisationen en navneforandring til det nuværende Dansk Energi (DE) /8/. Under Dansk Energi er der en forening for distributionsselskaber, ELFOR /8/.

Dansk Energi (DE), Rosenørns Allé 9, 1970 Frederiksberg C,  
[www.danskeenergi.dk](http://www.danskeenergi.dk).

Dansk Eldistribution (ELFOR), Rosenørns Allé 9, 3, 1970 Frederiksberg C,  
[www.elfor.dk](http://www.elfor.dk).

## **3.2. Branchens strukturelle udvikling**

### **3.2.1. Historisk udvikling**

I starten af 1890'erne blev de første jævnstrømsværker opført til forsyning af et område med elektricitet /9, 10/. Jævnstrømsværker havde kun en begrænset geografisk rækkevidde, da der var stort effekttab i ledningerne ved distributionen af elektriciteten ud til forbrugerne /9, 10, 11/.

I 1907 blev de første vekselstrømsværker opført /10/. Vekselstrøm var langt billigere at transformere til høje spændinger end jævnstrøm, hvilket gav mulighed for at transportere strømmen uden større effekttab. Ved hjælp af transformersta-

tioner var det med vekselstrøm muligt at levere strøm til et stort geografisk område /10/.

Opførelsen af vekselstrømsværker skete i starten primært i større byområder, mens der i købstæder og landområder forsat skete opførelse af jævnstrømsværker /10/. I 1950-1960'erne foregik der en stor omlægning hos forbrugeren fra jævnstrøm til vekselstrøm, hvilket bevirkede, at jævnstrømsproduktionen og dermed værkerne gradvist blev afviklet /12/.

Muligheden for at transportere vekselstrøm over lange afstande har gennem tiden medført stadig større samarbejde mellem værkerne. Vekselstrøm gav muligheder for udveksling af reserveeffekt mellem værkerne. En del jævnstrømsværker kom til at fungere som omformere og transformerstationer af vekselstrøm /10/. Den samlede udvikling gennem tiden er gået mod større centrale værker og færre forsyningsselskaber /10/.

Oliekrisen i 1973 medførte større fokus på forsyningssikkerheden i Danmark, hvilket betød, at der blev satset på indenlandsk udvinding af råstoffer som olie og gas samt vedvarende energi /6/.

Efterfølgende er der internationalt fremsat målsætninger om miljømæssig bæredygtighed, hvilket har betydet, at der siden starten af 1980'erne er sat fokus på de nationale og globale luftforureningsproblemer, som elproduktionen medfører /6/. Fra 1984 og frem til i dag er der blandt andet vedtaget love omkring rensning af røggassen fra kraftværker for  $SO_2$  og  $NO_x$ 'er samt om reduktion af udledningen af  $CO_2$ . Dette er bl.a. sket ved udbygning af vedvarende energi og opførelse af decentrale kraftvarmeværker /6, 13/.

Denne udvikling har betydet, at brændselsforbruget inden for det sidste årti har udviklet sig hen mod mere brug af naturgas, affald og biobrændsler som halm og flis. I 1991 udgjorde kul 96 % af brændselsforbruget til kraftvarmeproduktion på de elværksejede værker. I 2000 var kulandelen reduceret til ca. 66 % /14/. Endvidere er der sket en udvikling inden for produktion af elektricitet ved hjælp af vedvarende energi, som f.eks. vindmøller, biogas- og halmfyringsanlæg. Ca. 2/3 af elproduktionen sker dog stadig på de store centrale kraftvarmeværker /13/.

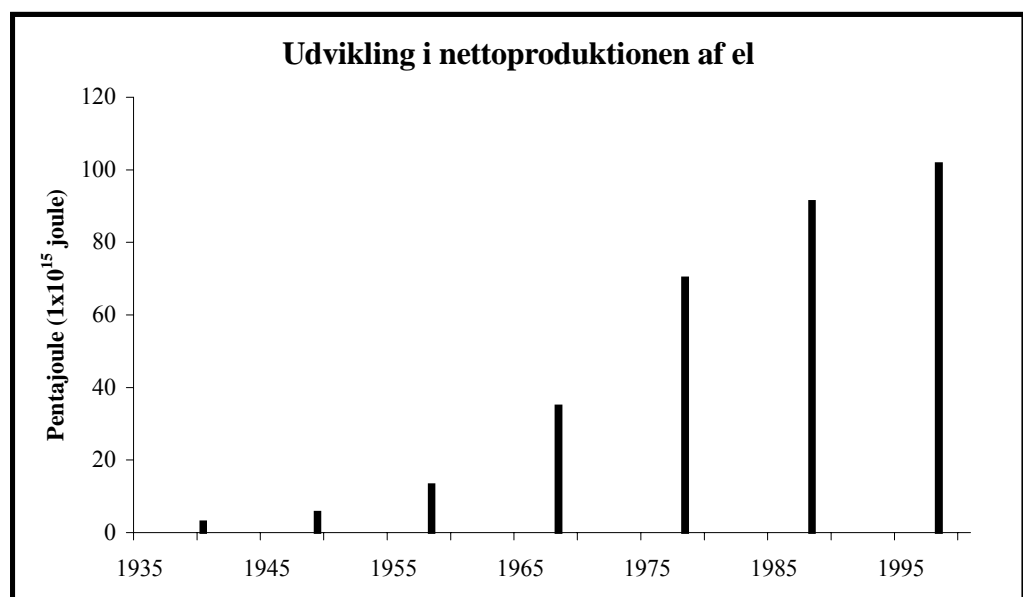
### **Fjernvarmeproduktion**

Allerede midt i 1920'erne påbegyndtes en fjernvarmeproduktion på en del elværker i Københavnsområdet, hvilket betød, at flere værker blev omlagt til varmeproducerende anlæg /10/. Oliekrisen i 1973 medførte en stigning i fjernvarmeproduktionen i forbindelse med produktion af elektricitet, da fjernvarmeproduktion medfører en forøget udnyttelsesgrad af brændstoffets brændselsværdi. Ved produktion af elektricitet er udnyttelsen af brændstoffets brændselsværdi ca. 40-45 %, mens en kombineret kraftvarmeproduktion kan medføre en udnyttelse på 85-90 % /15/.

### 3.2.2. Antal virksomheder og udvikling i elproduktionen

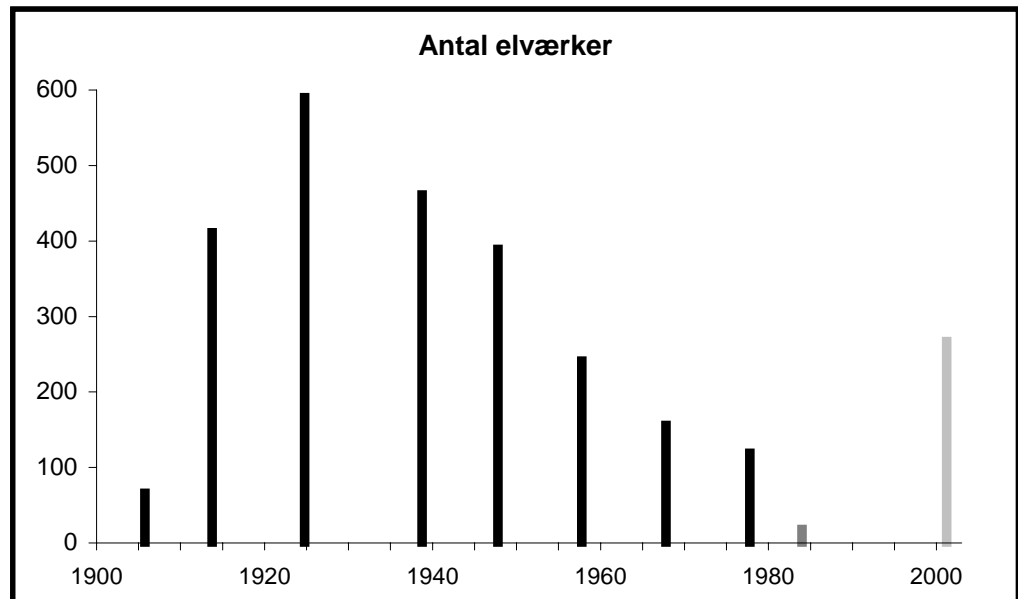
Siden de første elværker blev etableret har der været en stigende produktion af el i Danmark. I perioden 1950'erne og frem til energikrisen i 1973 skete der en kraftig stigning i elforbruget som følge af voksende velstand /16/.

Ud fra Danmark Statistiks årsbøger og statistisk 10 års oversigt er udviklingen i Danmarks nettoproduktion af el i perioden 1941-1998 angivet i figur 3.1 /17, 18/. Nettoproduktionen af el er i Dansk Statistiks årsbøger opgivet i forskellige enheder gennem årene. Der er derfor foretaget en omregning af nettoproduktion til pentajoule ( $1 \times 10^{15}$  joule) /17, 18/.



**Figur 3.1** Udviklingen i nettoproduktionen af el.

Udviklingen i antallet af elværker i perioden 1906-2001 angivet på figur 3.2. /6, 17, 18, 19/



**Figur 3.2** Udvikling i antal af elværker.

- : Oplysning fra /17, 18/.
- : Oplysning fra /19/.
- : Oplysning fra /6/.

Oplysninger om antal af værker fra /6/, /17/ og /18/ omfatter både centrale og decentrale jævn- og vekselstrømsværker, mens oplysninger fra /19/ kun omfatter centrale vekselstrømsværker. I 1984 blev over 99 % af al elektricitet i Danmark dog produceret på 18 centrale kraftværker /19/.

Der var et stort antal elværker i den første del af det 20. århundrede, da værkerne var små og havde mindre forsyningsområder. Værkerne udviklede sig gennem tiden mod større og større produktionskapacitet, hvilket betød, at færre værker kunne forsyne landet med elektricitet på trods af en konstant stigende udvikling i efterspørgslen.

Antallet af elproducerende anlæg i Danmark er i dag dog stigende, da der i de seneste år har været en udvikling hen mod flere decentrale kraftvarmeværker. I 2000 var der 18 centrale og ca. 250 decentrale kraftvarmeværker /6/. I bilag 2 fremgår fordelingen af centrale og decentrale værker i Danmark, der producerede over 10 GWh i 2000 /6/.

### 3.3. Elværker

#### 3.3.1. Jævnstrømsværk

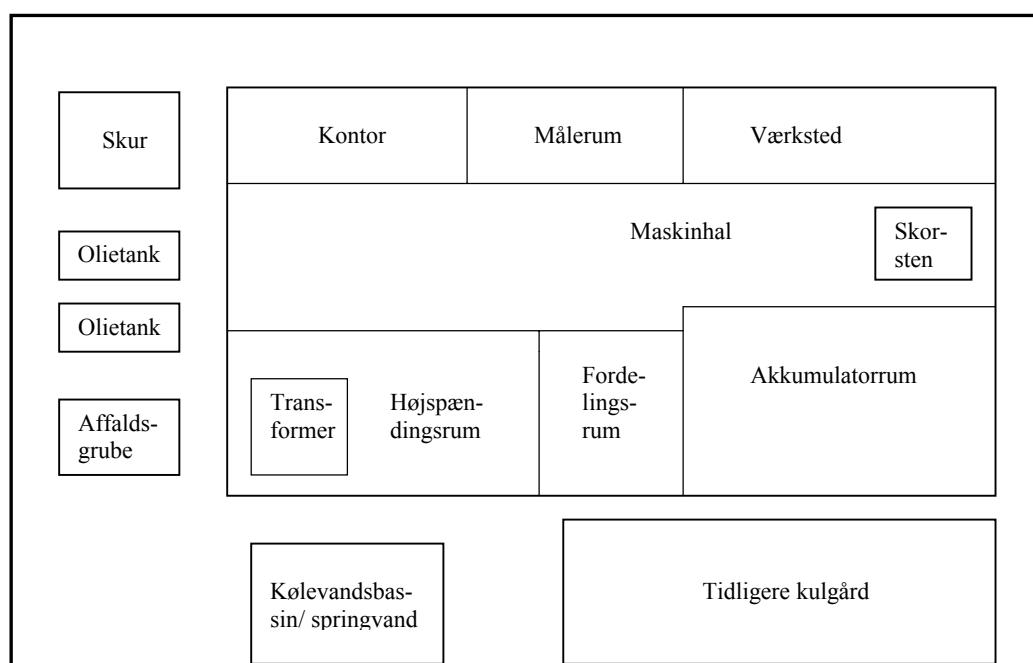
På jævnstrømsværker blev elektriciteten produceret enten via en kulfyret dampmaskine eller en dieselmotor tilkoblet en eller flere jævnstrømsdynamoer, der genererede elektricitet /10/. De maskiner, der først blev anvendt til elpro-



duktion, var kulfyrede dampmaskiner /10/. Disse blev efterhånden erstattet af dieselmotorer, der krævede mindre plads og havde en bedre energiudnyttelse af brændslet /10/. Flere jævnstrømsværker producerede endvidere elektricitet ved vandkraft /10, 11/.

Jævnstrømsværkerne havde ofte svært ved at følge med efterspørgslen på elektricitet, hvilket medførte flere udvidelser af maskinkraften på værket, eller at jævnstrømsværket købte vekselstrøm af et større værk. Aftagning og videre distribution af vekselstrøm krævede en ombygning af elværket, da vekselstrømmen skulle omdannes til jævnstrøm via et transformeranlæg og en ensretter, for at forbrugeren kunne anvende strømmen /10/.

Figur 3.3 viser en typisk indretning af et jævnstrømsværk.



**Figur 3.3** Eksempel på generel indretning af jævnstrømsværk.

I *maskinhallen* er de strømgenererende maskiner opstillet. Ved jævnstrøm, produceret ved hjælp af en kulfyret dampmaskine, vil der udendørs være etableret en kulplads og i forbindelse med maskinhallen en fyrplads. Ved jævnstrøm, produceret ved hjælp af dieselmotorer, vil der være etableret tanke til opbevaring af olie. Der kan indendørs være en oliebeholder, hvorfra olien bliver fordelt til dieselmotorerne. I forbindelse med maskinhallen vil der være etableret en *skorsten*.

På elværket kan der endvidere være etableret en *affaldsgrube* eller et *skur* til forbrændingsaffald.

I forbindelse med elværket kan der være etableret et *kølevandsbassin eller springvand*, der anvendes som kølvand til afkøling af den genererede damp i forbindelse med elproduktionen /1/.

I *akkumulatorrummet* opbevares blyakkumulatorer til lagring af strøm, produceret i perioder med begrænset aftag. Generelt for jævnstrømsværkerne gjaldt, at aftaget over dagen varierede meget /10/. For at kunne sikre en stabil elektricitetsforsyning blev elektricitet oplagret på akkumulatorer i de perioder aftaget af strømmen var mindre end produktionen /21/. Antallet af akkumulatorer afhæng af den spænding værket leverede til ledningsnettet (110-220 V) /1/. Hver akkumulator har typisk kunnet levere en spænding på 1,5 V /1/.

I forbindelse med modtagelse af vekselstrøm, leveret fra andre værker, kan der være etableret et *højspændingsrum*, hvor højspændingsledninger med vekselstrøm går ind /9/. I højspændingsrummet er der etableret en transformer til nedtransformering af spændingsniveauet for den modtagne vekselstrøm. I forbindelse med højspændingsledningerne er der etableret en afbryder, der afbryder strømmen automatisk, hvis der opstår fejl på i transformeren eller på ledningsnettet /21/. I stedet for et højspændingsrum kan der være etableret en udendørs transformerstation.

I 1907 blev det muligt at omforme jævnstrøm til vekselstrøm via en omformer, hvilket betød, at flere værker med tiden overgik til blandet jævnstrøms- og vekselstrømsproduktion /20/. En omformer består af en jævnstrømsmotor, sammenkoblet med en vekselstrømsgenerator /20/. Endvidere kan en omformer, der består af en vekselstrømsmotor og en jævnstrømsgenerator omforme vekselstrøm til jævnstrøm. Denne type af omformere blev anvendt ved modtagelse af vekselstrøm på jævnstrømsværker. Omformere, til omformning af vekselstrøm til jævnstrøm, blev med tiden erstattet af ensrettere, der ligeledes kan omdanne vekselstrøm til jævnstrøm /1/. De mest anvendte ensrettere har været baseret på kviksølv /1, 20, 21/. Flere jævnstrømsværker nedlagde deres elproduktion og blev omdannet til omformer- eller ensretterstationer, hvor de modtog al elektricitet fra vekselstrømsværker og omformede vekselstrømmen til jævnstrøm /1/.

I *målerummet* er tavler og apparater til overvågning af elproduktionen opstillet /9/. Endvidere er der ofte et *værksted* i tilknytning til elværket /9/.

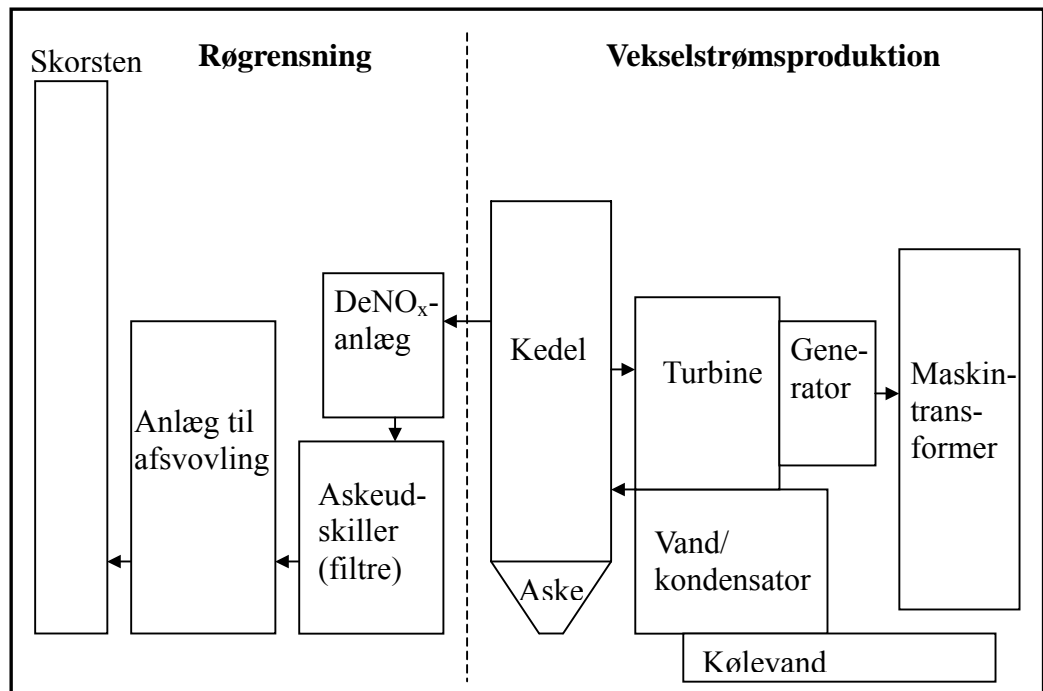
### **3.3.2. Vekselsstrømsværk**

Den overordnede opbygning af et vekselstrømsværk minder i høj grad om et jævnstrømsværk. Værkerne er dog gennem tiden blevet større i takt med, at maskinerne er blevet større og bedre /10, 22/.

De største værker er ofte placeret nær vandet og har egen havn til modtagelse af brændstof /22, 23/. Endvidere har de store værker brug for store mængder

vand til køling /23/. Mindre værker har typisk fået leveret brændsel via tog eller lastbiler.

På figur 3.4 er angivet hovedkomponenterne til vækselfølsproduktion og røgrønsning /22/. Røgrønsning sker kun på nyere større kræftværker /22/.



**Figur 3.4** Oversigt over maskindele og processer til vækselfølsproduktion og røgrønsning /22/.

Der er i tidens løb primært anvendt kul eller olie (diesel- eller fuelolie) til elproduktionen. Dog har visse værker fyret med gas eller orimulsion /22, 23/.

Olie eller kul indfyres i *kedlen*, hvor vand opvarmes til damp /22, 23/. Dette sker i dag via brænderindfyring på de større værker (over 70 MW) /24/. I 1940 blev der indført kulstøvsfyring /10/, hvilket betyder, at kullet passerer gennem kulmøller og males inden indfyring.

I dag sker transporten af kul til kulmøllerne via transportbånd, hvor der sker en rensning for urenheder med magneter inden formaling /22/.

Ved opstart af kedlen og brænderne på kulfyrede værker anvendes olie /22, 23/. I forbindelse med afbrænding vil der i bunden af kedlen samle sig aske og slagge og i kedlen aflejres sod /22/.

Kul bliver typisk leveret med skib til de store værker, hvor det aflæsses på en kulplads. Fuelolie oplagres i tanke. Fuelolien holdes flydende ved opvarmning i tankene og ledes til brænderne via et rørsystem. Efter oliekrisen i 1973 blev

flere oliefyrede værker ombygget til fyring med andet brændsel, primært i form af kul /10/.

Den producerede damp fra kedlen ledes gennem *turbinen*. Turbinen består af en aksel med skråtstillede turbineskovle, der drejer rundt, når dampen fra kedlen presses ind i turbinen under stort tryk. Turbinen driver den strømgenererende enhed *generatoren*.

Den producerede strøm overføres til *maskintransformeren*, hvor der sker en optransformering af elektriciteten til højspænding /22, 23/. Maskintransformeren kan være opført som friluftsanlæg eller i bygning, jf. afsnit 3.4.

Vekselstrømsproduktion kræver store mængder vand til dampgenerering og køling /23/. I forbindelse med værket kan der være etableret vandbehandlingsanlæg til afsaltning og regenerering af vand /22, 23/. Endvidere kan der være etableret et spildevandsrensningsanlæg.

En del af hjælpesystemerne til elproduktionen, blandt andet oliesmøringen af turbinen, kører på jævnstrøm, hvilket betyder, at der på vekselstrømsværket ligeledes kan være ensrettere samt akkumulatorer /22, 23/.

Til værket vil der ofte være tilknyttet et maskinværksted, der udfører reparationer på blandt andet produktionsapparatet /22/.

### **Røgrensning**

Debatten omkring luftforurening fra kraftværker betød, at myndighederne pålagde kraftværkerne at reducere de støv- og luftforureningsproblemer elproduktionen medfører. Støvpartikelfiltre til fjernelse af støv og partikler fra røggassen blev introduceret allerede i 1939 /1/, men blev først indført i lovgivningen i 1974 /22/. Siden starten af 1980'erne er der introduceret anlæg til fjernelse af SO<sub>2</sub> (afsvovlingsanlæg) og fra slutningen af 1980'erne anlæg til fjernelse af NO<sub>x</sub>'er (DeNO<sub>x</sub>-anlæg) fra røggassen /22/. Det er således ikke alle de ældre anlæg, der har rensning for SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>'er /25/.

Rensning af røggas for støvpartikler kan ske på flere forskellige måder, eksempelvis ved *posefiltre* eller *elektrofiltre* /26/.

Princippet bag posefiltre er, at røggassen enten suges eller trykkes gennem en dug, hvori partiklerne afsættes /26/. Posefiltre kan enten rense mekanisk og/eller ved at blæse luft den modsatte vej af procesluften gennem filtret /26/.

I elektrofiltre oplades støvpartiklerne i røggassen først og sendes herefter gennem et område med stor elektrisk feltstyrke og derefter ind i et stort filterhus, hvor lufthastigheden er lille. På grund af spændingsforskellen kan støvpartikler opsamles på opsamlingselektroder /26/. De opsamlede støvpartikler fjernes ved bankning af elektroderne /22, 26/.

Det opsamlede støv fra røggassen og flyveaske deponeres i dag i siloer, men er tidligere blevet deponeret på åbne arealer inden afhentning, eller affaldsproduktet er anvendt til opfyld /22/.

I *DeNO<sub>x</sub>-anlægget* fjernes NO<sub>x</sub>'er fra røggassen. Der tilsættes ammoniak til processen, hvor der anvendes en katalysator til omsætning af NO<sub>x</sub> i røggassen /22/.

I *afsvovlingsanlægget* fjernes SO<sub>2</sub> fra røggassen. Røgrensningen er en kemisk proces, hvor kalk/hydratkalk tilsættes. Som produkt dannes gips /22/. I forbindelse med processen sker der en afvanding af gipsen, hvilket producerer spildevand der kræver rensning inden udledning /22/.

### **3.4. Forsyningsnet**

Forsyningsnet er betegnelsen for det ledningsnet, der fordeler den producerede el fra el-/kraftværk til forbrugeren.

Forsyningsnettet er gradvist blevet etableret i forbindelse med elektrificering af geografiske områder.

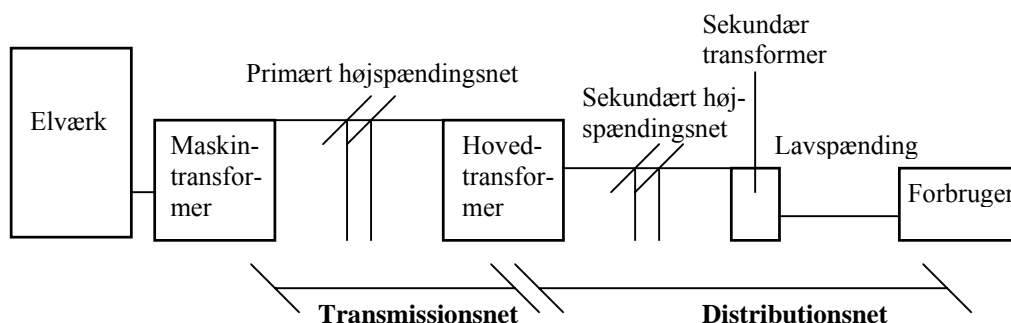
Ved elproduktionens opstart blev der etableret ledningsnet til forsyning af forbrugerne med jævnstrøm. Disse net var dimensioneret til den spænding, som det pågældende jævnstrømsværk producerede (lavspænding på 110-220 V). Lavspændingsnettet gik fra det enkelte jævnstrømsværk og direkte til forbrugerne i værkets forsyningsområde.

Frem til 1950'erne (stedvist frem til slutningen af 1960'erne) blev der anvendt jævnstrøm i husene. I forbindelse med overgangen til vekselstrøm blev lavspændingsnettet til jævnstrøm omlagt til et lavspændingsnet til vekselstrøm på 220-280 V, som også er den spænding, der anvendes i dag.

Ved vekselstrømsproduktionen opstart begyndte en opbygning af højspændingsledningsnettet i Danmark. I starten var ledningsnettets-kapaciteten på 6-10 kV (højspænding). Kapaciteten for højspændingsnettet er gennem årene forøget til det nuværende niveau på op til 400 kV.

Højspændingsledningsnettets primære funktion var i den første tid udveksling af overskudselektricitet mellem værkerne. På den måde blev forsynings sikkerheden i de enkelte områder øget, da forbrugernes aftag af elektricitet havde geografisk variation. Endvidere blev højspændingsnettet anvendt til fordeling af vekselstrøm til jævnstrømsværker med ensretter eller omformer, jf. afsnit 3.2 /10/. Fordeling af el via højspænding medfører, at den producerede el skal optransformeres til det spændingsniveau højspændingsnettet har. Inden modtagelse af el hos forbrugerne, skal den nedtransformeres. Op- og nedtransformering sker i transformere.

I dag opdeles forsyningsnettet i to netsystemer: Transmissionsnettet og distributionsnettet. På figur 3.5 ses en oversigt over opbygningen af det nuværende forsyningsnet.



**Figur 3.5** Oversigt over opbygningen af forsyningsnettet.

### Transmissionsnet

Transmissionsnettet består af et højspændingsnet (det primære højspændingsnet) og hovedtransformerne, der omformer el fra et spændingsniveau til et andet. Transmissionsnettets opgave er fordeling af elektricitet over store afstande med mindst mulig effekttab i ledningerne. En opgørelse fra slutningen af 1980'erne viser, at det samlede effekttab i forsyningsnettet var 6-10 % af elproduktionen /25/.

I maskintransformeren på el/kraftværk optransformeres den genererede elektricitet, jf. afsnit 3.3. I generatoren genereres elektricitet med en spænding på ca. 10-20 kV på et større anlæg /22/. I maskintransformeren optransformeres denne til højspænding (132-400 kV) /22/. Fra maskintransformeren transporteres den producerede elektricitet via 132-400 kV højspændingsledninger (det primære højspændingsnet) /21, 27/. Ved transport af elektriciteten til forbrugeren er tabet i ledningerne mindre, jo større spænding, der er på ledningsnettet /21, 22/.

På hovedtransformerstationer sker der en nedtransformering af højspændingen inden elektriciteten sendes videre til distributionsnettet /21, 27/. Hovedtransformerne er gerne opført som friluftstationer, hvilket betyder, at en eller flere transformere er opstillet udendørs /21/. Til friluftstationen er der endvidere tilknyttet en tavlebygning med nødstrømsanlæg /21, 28/. Den første friluftstransformerstation blev opført i 1927 /29/. I bilag 3 er der vedlagt fotos af eksempler på friluftstransformerstationer.

### Distributionsnet

Distributionsnettet består af det sekundære højspændingsnet på 10-60 kV samt lavspændingsnettet på 220-380 V. Nedtransformeringen fra sekundær højspænding til lavspænding sker på sekundære transformerstationer, også kaldet netstationer. I distributionsnettet nedtransformeres elektriciteten til den spænding, der anvendes hos forbrugeren.

Sekundære transformerstationer eller netstationer kan være udført som forskellige typer af anlæg /21, 30/:

- Friluftstationer (som regel kun med én til to transformere).



**Figur 3.6** Eksempel på en friluftstation.

- Stationsbygninger (muret bygning).



**Figur 3.7** Eksempel på en stationsbygning.

- Skabsstation, herunder tårnstationer (ca. 2x2 m grundareal).



**Figur 3.8** Eksempel på en skabsstation.

- Mastestation (anvendes i tyndt befolkede områder).



**Figur 3.9** Eksempel på en mastestation.

I bilag 3 er vedlagt fotos af flere forskellige typer af sekundære transformere og netstationer.



Der gælder for stationsbygninger og skabsstationer, at transformeren er opstillet på betongulv, mens transformeren for mastetransformere enten er ophængt på masten eller er placeret i en lukket beholder umiddelbart neden for masten /21/.

### **Master og ledninger**

Ledninger til transport af el, som både lav- og højspænding, etableres enten som jordkabler eller luftledninger. Højspændingsledningerne er af kobber eller aluminium med ståltråde, mens jordkabler er af aluminium eller kobber med plastik /21, 27/. Tidligere indeholdt ledningerne en blykappe og jordkabler til højspænding indeholdt tillige olie /21, 27/.

Til højspændingsmaster anvendes galvaniseret stål /21, 27/. Masterne omgalvaniseres efter ca. 25-30 år /27/. Til lavspændingsnet anvendes primært imprægnerede eller tjærede master /21/.

I dag etableres forsyningsnettet generelt som jordkabler, og der sker en gradvis omlægning af luftledninger til jordkabler /27/.

## 4. Processer, teknologi og miljø

### 4.1. Generel procesbeskrivelse

I forbindelse med elproduktion samt fordeling af el via forsyningsnettet foretages en række arbejdsgange og processer, før elektriciteten ender hos forbrugeren. I det følgende beskrives disse processer og benyttes herefter som udgangspunkt for en beskrivelse af den miljøbelastning, som elproduktion og eldistribution af elektricitet potentielt udgør for jord, luft og grundvand.

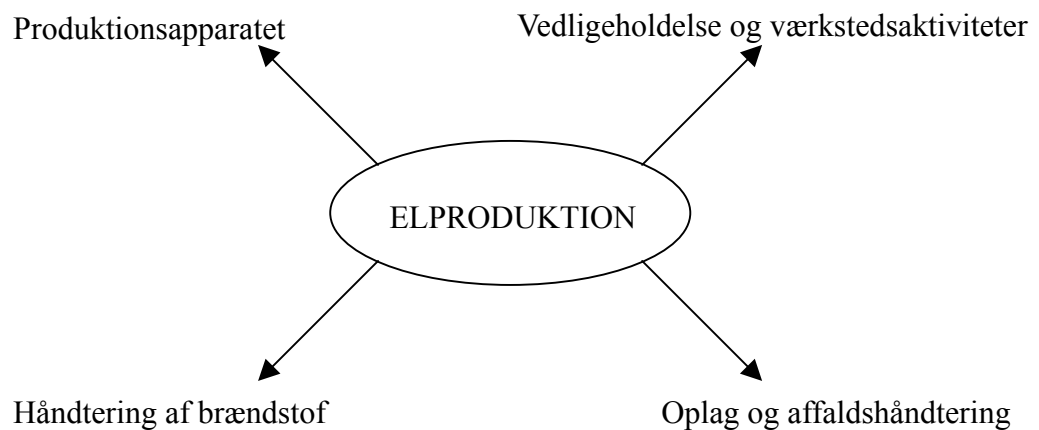
Processerne er i det efterfølgende opdelt i to hovedemner:

- Elproduktion
- Eldistribution.

### 4.2. Arbejdsmetoder og miljøbelastning ved elproduktion

I de følgende afsnit beskrives de enkelte processer i forbindelse med elproduktion, anvendte kemikalier samt den dertil relaterede miljøbelastning.

Processerne er opdelt i delprocesserne, der er angivet på figur 4.1.



**Figur 4.1** Diagram for elproduktion.

Disse fire delprocesser gennemgås i det efterfølgende, hvor de er yderligere opdelt i underprocesser.

### 4.2.1. Produktionsapparat

#### Arbejdsmetode

I forbindelse med selve produktionsapparatet til elproduktion er der flere arbejdsgange og komponenter, som kan udgøre en potentiel forureningsrisiko. I det følgende beskrives følgende arbejdsgange og processer:

- Smøring af maskindele
- Oplagring af jævnstrøm på akkumulatorer
- Ensretning af vekselstrøm til jævnstrøm
- Udledning af røggas.

#### *Smøring af maskindele*

I forbindelse med produktionsapparatet er der mange motorer, lejer og lignende, der kræver smøring for at fungere optimalt /23/. Større værker har ofte et lukket automatisk smøringssystem tilknyttet eksempelvis turbinen /22, 23/. Oliebeholderen til automatisk smøring af turbinen kan indeholde op til ca. 5.000 liter olie. Da olien er omkostningsfuld at udskifte, forsøges olien i stedet regenereret. Mindre lejer, maskiner og motorer smøres manuelt /22/. Olie til smøring og opfyldning af lukkede smøresystemer opbevares gerne i tromler.

#### *Oplagring af jævnstrøm på akkumulatorer*

Akkumulatorer anvendes til oplagring og efterfølgende afgivelse af jævnstrøm. De mest almindeligt brugte akkumulatorer på elværker er blyakkumulatorer /1/. Akkumulatorer anvendes i dag stadig på kraftværkerne, da flere hjælpesystemer kører på jævnstrøm. Endvidere udgør akkumulatorerne et nødforsyningsanlæg /22/. Selve akkumulatoren bestod tidligere af en åben blyforet kasse med svovlsyre, hvori blyplader eller -stænger var nedsænket i svovlsyre. Størrelsen af trækassen til akkumulatoren kunne tidligere være på over 1 m<sup>3</sup> /1, 20, 31/. Blypladerne eller -stængerne udgør elektroderne og svovlsyren elektrolytten /20/. Efter gentagne op- og afladninger forringes effektiviteten af akkumulatoren dels på grund af udfældninger på blyelementerne, og dels på grund af urenheder i svovlsyren, der kan ødelægge de positivt ladede blyplader/-stænger. Blyelementer og/eller svovlsyre er derfor regelmæssigt blevet udskiftet.

Enkelte steder kan der være anvendt andre typer af akkumulatorer, eksempelvis ludakkumulatorer, hvor der er anvendt lud (hydroxider) som elektrolyt i stedet for svovlsyre /22/. Med tiden er akkumulatorerne blevet bedre og kræver sjældnere udskiftning af blyelementer eller elektrolyt, men er stadig baseret på samme princip /22/. I dag bortskaffes både svovlsyre og bly til Kommune Kemi /22/. Tidligere har der ikke været krav til håndtering og bortskaffelse af brugt svovlsyre og bly /1/. Bly er formentlig blevet indsamlet til genanvendelse, men den brugte svovlsyre, der kan indeholde opløst bly, kan være bortskaffet på selve ejendommen ved udhældning på jord /1/.

#### *Ensretning af vekselstrøm til jævnstrøm*

Der er gennem tiden håndteret kviksølv på elværkerne. Der har været store mængder kviksølv (op til over 100 liter) i en ensretter /22/. Kviksølv i ensretteren har været indkapslet i en glaskolbe /1, 20/. Endvidere har mange måleinstrumenter og kontakter været baseret på kviksølv /22, 23/. Ensrettere er i dag baseret på dioder af silicium /22/.

#### *Udledning af røggas*

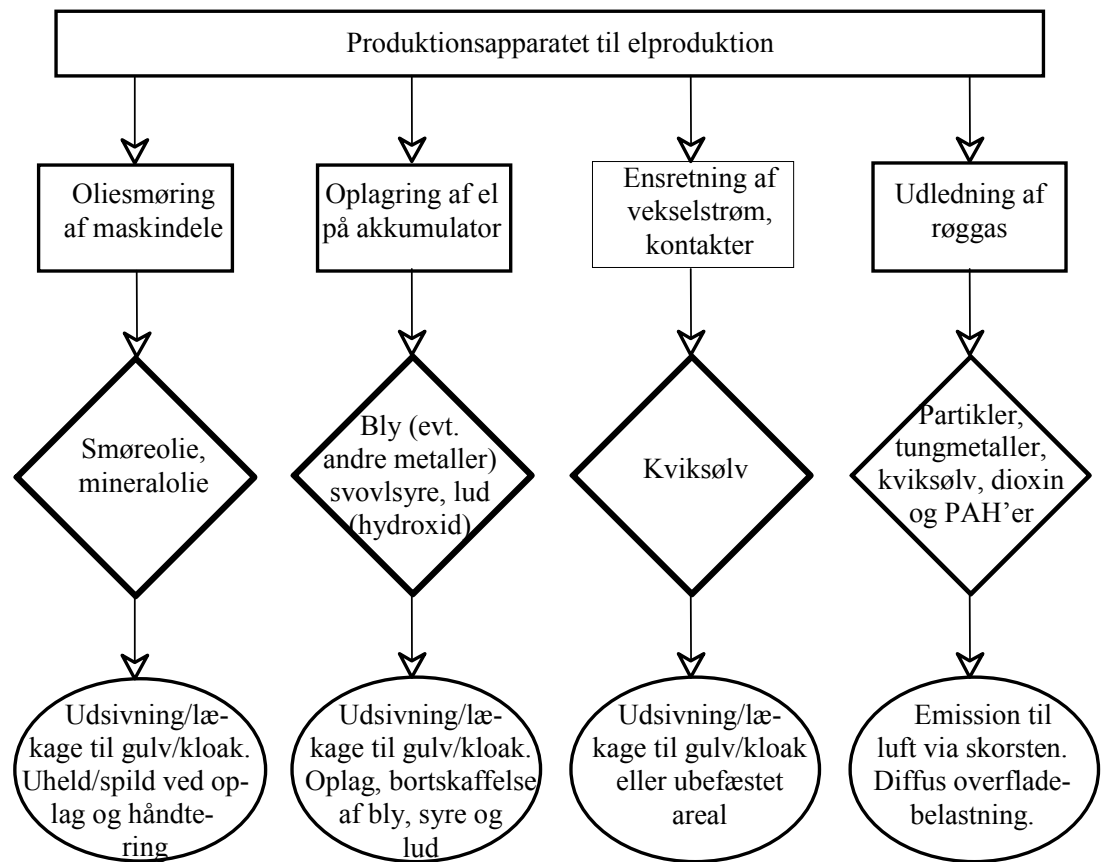
Røggas har blandt andet indhold af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl og partikler i form af flyveaske og sod, der eksempelvis indeholder PAH'er, dioxin og tungmetaller i form af eksempelvis kviksølv, cadmium og bly /22, 25/. I dag sker der rensning for partikler, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>, men tidligere er røggassen udledt direkte uden rensning.

#### **Miljøbelastning**

I relation til jord- og grundvandsforurening kan produktionsapparatet til elproduktion medføre følgende miljøbelastning:

- Spild eller lækage til gulv eller kloak i forbindelse med oplag og håndtering af olie.
- Spild eller lækage til gulv/kloak eller ubefæstet areal i forbindelse med håndtering og oplag af bly og svovlsyre. Endvidere har den regelmæssige tømning af akkumulatorer for blyelementer samt svovlsyre (eller lud) medført oplag af brugt væske samt blyelementer.
- Udsivning eller lækage til gulv/kloak i forbindelse med uheld med eller oplag af ensrettere og kontakter.
- Diffus forurening af overfladejord som følge af nedfald af partikler fra røggas.

Af figur 4.2 fremgår en oversigt over de potentielt forurenede stoffer med relation til produktionsapparatet til elproduktion.



**Figur 4.2** Potentielt forurenende stoffer samt potentielle forureningskilder ved produktionsapparatet til elproduktion.

#### 4.2.2. Håndtering af brændstof

##### Arbejdsmetode

Håndtering af brændstof på elværker/kraftværker omfatter modtagelse, oplag og fordeling af olie eller kul.

Olie opbevares i tanke. På mindre værker (typisk oliefyrede jævnstrømsværker) er olien som oftest opbevaret i nedgravede tanke, mens olien på større kraftværker typisk opbevares i store overjordiske tanke/siloer. På større værker er der i dag krav om, at der etableres et betonopsamlingsbassin omkring de overjordiske tanke. Opsamlingsbassinet skal have tilstrækkelig kapacitet til at indeholde olien fra tankene i tilfælde af lækage /22/.

Der er på mindre værker med dieselmotorer anvendt dieselolie som brændsel. De enkelte elværker kan have haft en eller flere overjordiske eller nedgravede olietanke /6, 32/. Størrelsen på tankene varierer fra få tusinde liter til over 100.000 liter /9, 32/. Allerede fra begyndelsen af 1900-tallet blev der nedgravet tanke på over 100.000 liter /9, 32/.

På større værker er der anvendt fuelolie. På de største værker opbevares fuelolien typisk i en eller flere overjordiske tanke /22, 23/. Tankene kan være på op til over 2 mio. liter /23/. Der kan endvidere været tilknyttet nedgravede tanke til udligningen eller opbevaring /23/. Fuelolie er tyktflydende (højviskøs) ved normale temperaturer (0-25 °C) /2, 22/. Fuelolien holdes i forbindelse med oplagring og pumpning flydende ved opvarmning /2, 22/. Ved udsivning eller lækage vil olien hurtigt blive afkølet og blive tyktflydende, hvorved spredningen og nedsivning vil mindskes /2, 22/. Fra tankene pumpes olien til kedlen eller forbrændingsmotoren gennem et rørsystem. I forbindelse med rørsystemet kan der være etableret udligningstanke eller mellemdepoter til olien /6, 23/.

På kulfyrede værker er kul normalt oplagret udendørs på en kulplads. Den gennemsnitlige størrelse af kuloplaget for mellemstore anlæg (elproduktion på ca. 10-100 MW) ligger 10.000-100.000 ton /24/. For større anlæg (elproduktion større end ca. 100 MW) er kuloplaget gennemsnitlig på 100.000-1.000.000 ton /22, 24/. Tidligere har der ikke været særlige foranstaltninger ved etablering af kulpladsen /22/. I dag er der gerne på større værker etableret rendeafløb med tilknyttede sandfang og olieudskillere til opsamling af drænvand fra kulpladsen /22/. Oplagring sker i store bunker, hvor kullene presses sammen for at hindre iltning /22/. Iltning kan medføre antændelse af kullene. I forbindelse med oplag af kul kan der opstå støvproblemer, hvilket i dag afhjælpes ved vanding af kullene /22, 24/. På mellemstore værker placeret i byområder kan kullene blive oplagret i lukkede siloer /24/.

Kul er tidligere blevet indfyret i kedlen ved håndkraft /31/. I dag indfyres kullene automatisk i kedlen /24/. På værker med kulstøvsfyring transporteres kullene via transportbånd til kulmøller, hvor kullene males. Det malede kul opbevares i siloer inden indfyring.

Olie bringes typisk til mindre værker med tankbiler. På større værker er der gerne anlagt en havn, hvorved brændstof kan modtages med skibe. På nogle værker kan der endvidere være jernbanespor til levering af brændstof.

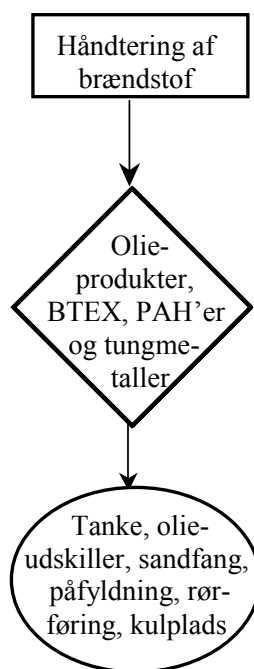
I perioderne under 1. og 2. verdenskrig var der mangel på brændsel, især olie /1, 9, 10/. Dette medførte, at mange el- og kraftværker i forsøg på at opretholde elproduktionen anvendte blandt andet tørv, brunkul og petroleum som brændstof /1, 10/. Endvidere blev sugegas, der kunne anvendes i ombyggede dieselmotorer, udvundet fra tørv /1, 9/. Dette bevirkede tjæredannelse i motorerne /9/.

### Miljøbelastning

I relation til jord- og grundvandsforurening kan opbevaring og fordeling af brændstof medføre følgende miljøbelastning:

- Udsivning eller lækage fra tanke.
- Udsivning fra olierørsystemet, som følge af korrosion eller brud.
- Spild i forbindelse med påfyldning af tanke.
- Utætheder ved olieudskillere, sandfang og/eller rørføringerne til disse, i forbindelse med tanke eller kulplads.
- Påvirkning af jord under og omkring kuloplag, som følge af oplag på ubefæstet areal, afløbsvand fra kuloplaget eller spredning af kulstøv.

Af figur 4.3 fremgår en oversigt over de potentielt forurenede stoffer og potentielle forureningskilder med relation til håndtering af brændstof.



**Figur 4.3** Potentielt forurenende stoffer samt potentielle forureningskilder ved håndtering af brændstof ved elproduktion.

### 4.2.3. Vedligeholdelse og værkstedsaktiviteter

#### Arbejdsmetode

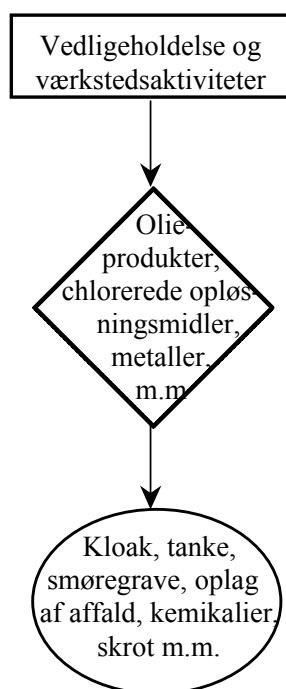
Til elværker/kraftværker er der ofte tilknyttet et maskinværksted til reparation og vedligeholdelse af udstyr og maskineri /6, 22/. Større maskiner eller dele af produktionsapparatet bliver typisk repareret på stedet, mens mindre dele som f.eks. motorer, pumper og pakninger reparerer i værkstedet /22/.

På større værker kan der endvidere foregå reparation af biler og andre køretøjer, der anvendes i forbindelse med driften af værket /22/. Endvidere kan der være lagre til reservedele, tankningsanlæg samt garageanlæg /9, 11/.

#### Miljøbelastning

I forbindelse med drift af værksteder kan der forekomme metalforarbejdning samt spild i forbindelse med oplag og håndtering af kemikalier som olieprodukter, organiske og chlorerede opløsningsmidler, maling og lak /33/. Endvidere kan der være oplag af reservedele og skrot. For detaljeret beskrivelse af miljøbelastning fra metalforarbejdende virksomheder, metalliseringsvirksomheder og autoværksteder henvises til branchebeskrivelserne herfor /34, 35, 36/.

Af figur 4.4 fremgår en oversigt over de potentielt forurenede stoffer og potentielle forureningskilder med relation til vedligeholdelse og værkstedsaktiviteter.



**Figur 4.4** Potentielt forurenende stoffer samt potentielle forureningskilder ved vedligeholdelse og værkstedsaktiviteter.



#### 4.2.4. Oplag og affaldshåndtering

##### Arbejdsmetode

I forbindelse med forbrændingsprocessen i kedlen dannes flere forskellige affaldsprodukter i form af sod, flyveaske og slagger /22/.

Både olie og kul har sporstofindhold af tungmetaller, der ved forbrænding opkoncentreres i restproduktet til en koncentration, der kan ligge over de fastsatte jordkvalitetskriterier /24/. I bekendtgørelse om affald fremgår det, hvilke restprodukter ved elproduktion der anses som farligt affald /37/.

Ved anvendelse af kul som brændsel udgør restproduktet i form af aske ca. 10-15 % af den indfyrede kulmængde for de kultyper, der anvendes i Danmark. Den anvendte indfyrimetode i kombination med kulstørrelsen af det indfyrede kul er afgørende for fordelingen af asken som slagger eller flyveaske /24/. Eksempelvis ender ca. 80-90 % af asken som flyveaske og 10-20 % af asken som slagge ved kulstøvsindfyring, hvor kullene finmales inden indfyring /24/.

Rensning af røggassen medfører opsamling af aske og andre partikler fra røggassen. Rensning af røggassen for SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> medfører restprodukter i form af gipsslam og spildevand.

Flyveaske og slagger opbevares indtil bortskaffelse på værkerne. Flyveaske opbevares i dag i siloer, hvor der sker sortering af asken efter kvalitet, så asken kan genanvendes i f.eks. betonindustrien. Flyveaske har også været anvendt til opfyld på værkerne eller ved anlægsprojekter /22/. Lovgivning omkring indførelse af partikelfiltre på skorstene trådte i kraft i 1974. Tidligere blev flyveaske udledt via røggassen gennem skorstenen /22/. Tidligere har flyveasken været opbevaret på værket, eventuelt i en grube, bassin, skur eller anden indrettet plads sammen med slagger.

Ufuldstændig forbrænding i kedlerne medfører dannelse af sod. Sod kan have et højt indhold af sundhedsfarlige stoffer, som f.eks. tungmetaller og PAH'er. Soden aflejres i skorsten, kedler og røggasser, hvorfra den skal fjernes med mellemrum.

I 1997 var den samlede affaldsmængde fra røgrensning på 1.774.000 tons. Heraf blev 654.000 tons deponeret og resten genanvendt. Flyveasken udgjorde 1.158.000 tons, røgrensningsprodukter 463.000 tons og slagger 153.000 tons /38/.

Røgrensningen for SO<sub>2</sub> sker ved vådabsorption, hvor SO<sub>2</sub> ved en kemisk proces optages i det tilsatte kalk. Efterfølgende sker der tørring af den dannede gips, hvor gipsen afvandes ved tryk. Spildevandet og gipsslammet fra afsvovling kan indeholde tungmetaller og partikler fra røggassen. Oplagring af gipsslam kan ske på værket inden deponering. Endvidere er der mulighed for tilla-

delse til indfyring af gipsslammet i kedlerne. Krav til rensning af spildevandet inden udledning til kloak vil fremgå af virksomhedens kapitel 5 godkendelse /22/.

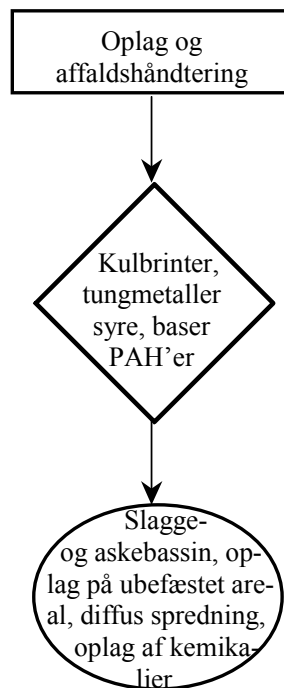
Kemikalier til de enkelte processer, herunder spildevandsrensningen, opbevares på et lager. Krav til lagerets opbygning vil fremgå af virksomhedens kapitel 5 godkendelse.

### Miljøbelastning

I relation til jord- og grundvandsforurening kan oplag og affaldshåndtering i forbindelse med elproduktion medføre følgende miljøbelastning:

- Utætheder eller lækage fra slagge- eller askebassin.
- Påvirkning af jord under og omkring flyveaske- og slaggeoplag som følge af oplag på ubefæstet areal, afløbsvand fra flyveaske- og slaggeoplag eller spredning af støv.
- Lækage eller spild i forbindelse med opbevaring eller håndtering af kemikalier til røgrensning og spildevandsrensning.

Af figur 4.5 fremgår en oversigt over de potentielt forurenede stoffer og potentielle forureningskilder med relation til oplag og affaldshåndtering.

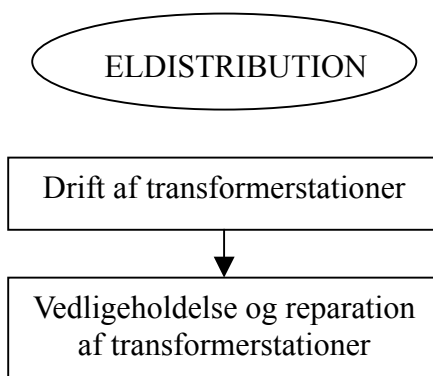


**Figur 4.5** Potentielt forurenende stoffer samt potentielle forureningskilder i forbindelse oplag og affaldshåndtering.

### 4.3. Arbejdsmetoder og miljøbelastning ved eldistribution

I de følgende afsnit beskrives de enkelte processer med tilknytning til eldistribution, anvendte kemikalier samt den dertil relaterede miljøbelastning.

Processerne er opdelt i delprocesserne, der er angivet på figur 4.6.



**Figur 4.6** Diagram for eldistribution.

Disse delprocesser gennemgås i det efterfølgende, hvor de er yderligere opdelt i underprocesser.

#### 4.3.1. Drift af transformerstationer

##### Arbejdsmetode

Omtransformation af elektricitet sker i en transformer, hvor man via en spo-leomviklet jernkerne transformerer elektriciteten fra et spændingsniveau til et andet /21/. Eksempelvis nedtransformerer en 50/10 kV transformer fra et spændingsniveau på 50 kV til 10 kV.

Omtransformationen af elektricitet er en varmedannende proces /21/. Som kølemiddel er der både tidligere og i dag hovedsageligt anvendt olie, hvorfor selve transformeren er nedsænket i en oliefyldt kasse /21, 28/. Olien virker som kølemiddel og beskytter endvidere mod fugt og giver isolationssikkerhed /21/. Der anvendes transformerolie som kølemiddel, der er en letflydende mineralolie /28/. Hvis kassen er helt opfyldt med olie, forsynes transformeren med en ekspansionsbeholder, hvilket nedsætter transformeroliens kontakt med luft og giver olien mulighed for at udvide sig ved opvarmning /21/.

PCB-holdig transformerolie er blevet anvendt som kølemiddel og isolator i nogen typer af højspændingstransformatorer /39/. I visse PCB-holdige transformerolier var der endvidere iblandet tri- og tetrachlorbenzen (blanding benævnt Askarel). Det anslås, at der er anvendt PCB i mindre end 100 højspændingstransformatorer i Danmark /39/. En fortegnelse fra 1988 over transformatorer indeholdende PCB angiver, at der kun er få leverandører, der har leveret transformatorer indeholdende PCB til Danmark. Transformere leveret før 1969

indeholdende PCB er generelt mærket med *Clophen* eller *Pyralene* på ekspansionsbeholderen /40/. Efter 1969 er transformerne indeholdende PCB mærket med C eller TC efterfulgt af 3-4 cifre. I 1995 blev det forbudt at anvende PCB i transformere /40/. I 1999 kom der krav om, at transformere med en PCB-koncentration større end 0,05 i vægtprocent i transformerolien skulle renses hurtigst muligt /40/.

Oliemængden, der er anvendt til køling af transformeren, afhænger af transformerens størrelse /27, 28/. I tabel 4.1 er angivet anslåede olieindhold samt antallet af forskellige typer af transformere /27, 28, 30, 41/:

Transformertype	Olieindhold (liter)	Antal <sup>1</sup>
Hovedtransformere (400 kV/132 kV)	Ca. 100.000	120
Hovedtransformere (150 kV/50 kV)	Ca. 25.000	} 820
Sekundær transformer (60 kV/10 kV)	Ca. 5.000-10.000	
Netstationer (10 kV/220 V)	Ca. 100-500	} 62.545 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> En opgørelse fra 1993 angiver fordelingen af antallet af transformere i intervaller 132-400kV, 30-60 kV og 6-20KV for startspænding før nedtransformering. Det totale antal transformere i Danmark i 1993 er 63.485 /41/.

<sup>2</sup> Størstedelen af antallet udgøres af netstationer /27/.

**Tabel 4.1** Anslåede olieindhold i forskellige typer af transformere.

Hovedtransformere (hhv. på 400 kV/132 kV og 150kV/50 kV) er generelt opført som friluftstransformerstationer /30/. Endvidere er en del af de sekundære transformere opført som friluftstransformere, mens den resterende del er etableret i en stationsbygning. Som hovedregel er sekundære transformere, der er beliggende i byområder, etableret i en bygning /21/. Netstationer vil som hovedregel være etableret i stationsbygninger, skabsstationer eller som mastestationer (jf. afsnit 3.4). På friluftstransformerstation kan der være etableret en netstation i forbindelse med en sekundær transformer. I forbindelse med ombygninger og vedligeholdelse kan transformere være flyttet fra en beliggenhed til en anden /42/.

Hovedtransformere og sekundærtransformeren er ofte etableret over en oliegrube med et stenfilter uden fast bund, der er dimensioneret til at optage olie-spild fra transformeren ved uheld eller lækage /21/. Oliegrubens funktion er hurtigt at bortlede olie fra transformeren for at forhindre brand eller slukke en brand ved køling af olien under passage af stenfilteret /21/. I dag er alle 400 kV transformere etableret med olieopsamling for at forhindre spredning af olie til jord og grundvand ved uheld eller lækage /27/. Kun få sekundære transformere eller netstationer er etableret med oliegrube eller olieopsamling /30/.

I visse netstationer kan der af brandmæssige hensyn være anvendt luftkølede transformere /42, 43/.

Når elektrisk strøm omtransformeres i transformeren, skabes der i selve transformeren en "ekstra" elektrisk strøm, hvis fase (rytme) er forskudt i forhold til den fase vekselstrømmen fra el-/kraftværket har. Der udføres derfor en fasekompensering på alle transformere, der ophæver den faseforskudte elektriske strøm. Dette gøres ved, at der indsættes en kondensator, der forskyder fasen, hvorved faseforskydningen bliver neutraliseret /39, 42/.

Kondensatoren er opbygget af to elektriske poler, der er adskilt af et isolerende materiale. Tidligere er der anvendt papir vædet med olie som isolator. Der har været tilsat PCB til olien som brandhæmmende middel /39/. Kondensatorer anvendt i forbindelse med transformere vejer 20-50 kg og med et gennemsnitligt indhold af PCB på ca. 10 kg. I dag anvendes hovedsageligt plastfolie og med et tyndt zinklag som isolator /39/.

Til transformeren og til hver indgående og udgående ledning er der tilknyttet en højspændingsafbryder, der afbryder transformeren ved lav oliestand eller fejl på ledningen /28/. Der er flere typer afbrydere /21, 27, 28/:

- Olieafbrydere
- Vakuumaafbrydere
- SF<sub>6</sub> gas afbrydere.

De mest almindeligt brugte afbrydere var tidligere olieafbrydere. De først anvendte olieafbrydere havde et olieindhold på 50 til over 100 liter pr. afbryder /21, 28/. Nyere olieafbrydere har et mindre indhold /21, 27/. Olieafbrydere på transformestationer udskiftes løbende, når de er udtjent /27/. Nye typer af afbrydere er vakuumaafbrydere og SF<sub>6</sub>-gas-afbrydere, hvor den sidstnævnte har haft størst udbredelse i forbindelse med transformestationer /30/. Afbrydere med SF<sub>6</sub>-gas (svovlhexafluorid) kræver mindre vedligeholdelse end olieafbrydere /28/. SF<sub>6</sub> betragtes som en kraftig drivhusgas og kan ved emission bidrage til en forøget drivhuseffekt. De første afbrydere, baseret på SF<sub>6</sub>-gas, blev etableret i starten af 1970'erne /44/.

I forbindelse med distribution af jævnstrøm kan der have været opstillet ensrettere på transformestationen. Ensrettere var hovedsageligt baseret på kviksølv /21/. I dag er det kun transformestationer, der leverer elektricitet til Norge, Sverige og Tyskland, der er forsynet med en ensretter /27/. Tidligere har ensrettere i høj grad været opstillet i forbindelse med jævnstrømselværker. I dag anvendes ensrettere baseret på silicium /22/.

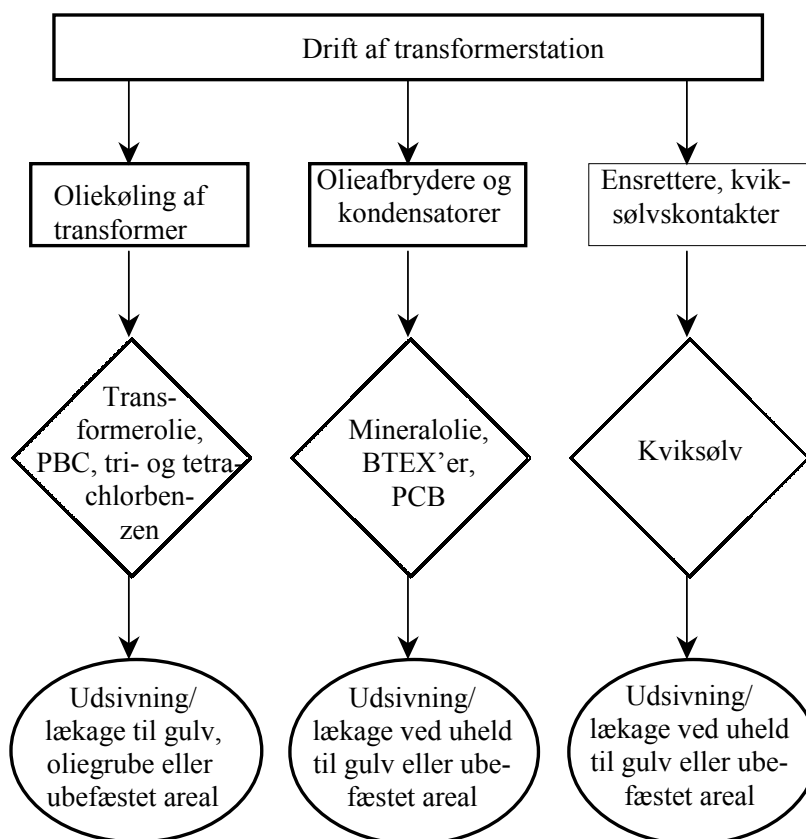
Tidligere har kviksølvkontakter været udbredt som styrekontakter og afbrydere i forbindelse med transformerrelæ /21, 28, 42/. Kviksølvkontakter er løbende blevet udskiftet med anden elektronik, men findes stadig i dag i mindre omfang i forbindelse med transformestationerne /28, 42/.

### Miljøbelastning

I relation til jord- og grundvandsforurening kan transformere med relation til eldistribution medføre følgende miljøbelastning:

- Udsivning eller lækage til gulv/kloak, oliegrube eller ubefæstet areal fra den oliekoede transformere.
- Udsivning eller lækage til gulv/kloak eller ubefæstet areal fra olieafbrydere.
- Udsivning eller lækage til gulv/kloak i forbindelse med uheld med eller oplag af kondensatorer.
- Udsivning eller lækage til gulv/kloak i forbindelse med uheld med eller oplag af ensrettere og kontakter.

Af figur 4.7 fremgår en oversigt over de potentielt forurenede stoffer og potentielle forureningskilder med relation til drift af transformerstationer.



**Figur 4.7** Potentielt forurenende stoffer samt potentielle forureningskilder ved driften af en transformerstation.

### 4.3.2. Vedligeholdelse af transformerstationer

#### Arbejdsmetode

I forbindelse med vedligeholdelse af transformere er der flere arbejdsgange, som kan udgøre en potentiel forureningsrisiko. I det følgende beskrives følgende arbejdsgange og processer:

- Kontrol af olie kvalitet og stand af transformerolie
- Rensning af transformere m.m.
- Vedligeholdelse af udendørs arealer.

#### *Olie kvalitet og stand af transformerolie*

Der kan ske en forringelse af transformeroliens kvalitet pga. fugt eller iltning, hvilket kan medføre slamdannelse og nedsættelse af isolationsevnen i transformeren. Hvis der sker forringelse af oliens kvalitet, skal denne udskiftes /21/. I dag sker der aftapning og regenerering af transformerolien på stedet på de store transformere (hovedtransformere), mens mindre transformere kan hjemtages og sendes til service på fabrikken /28, 42/. Inden påfyldning af ny olie skal der ske en rensning af transformeren og kassen til olie /21/. På transformeren kan der være en aftapningshane, så der er mulighed for at udtage prøver af olien /21/. Der kan også være etableret et oliereservoir (ekspansionsbeholder), der mindsker oliens berøringsflade med luften, hvilket nedsætter risikoen for, at olien ødelægges /21, 30/.

Endvidere skal transformere jævnligt efterses for oliestand. Ved lav oliestand skal der ske efterfyldning af transformerolie /28/. Hyppigheden for eftersyn af de enkelte transformere afhænger af de enkelte forsyningsselskaber, men foretages ca. 1-2 gange årligt /28, 42/. Transformerolie til opfyldning opbevares normalt ikke lokalt på de enkelte transformerstationer, men på et lager ved de enkelte forsyningsselskabers kontorer /27, 28/. I forbindelse med større reparationer på transformeren kan disse hjemtages til forsyningsselskabets værksted eller sendes til service andre steder /42/.

#### *Rensning af transformere*

I forbindelse med vedligeholdelse af transformere, sker der periodisk rensning af transformere, isolatorer, ledninger og anvendt værktøj, hvis de er beskidte, eller hvis der er sket oliespild /21, 22, 28, 42/. Det er forskelligt, hvilke affedtningsmidler de enkelte forsyningsselskaber har anvendt gennem tiden til vedligeholdelse /28, 42, 45/. I dag anvendes hovedsageligt vand og alkaliske affedtningsmidler til rensningsprocesser /45/. Tidligere er der anvendt enten vand eller affedtningsmidler som sprit, benzin, petroleum eller terpentin /30, 42, 45/. Fra midten af 1950'erne har forsyningsselskabet Nordsjællands Elektricitets- og Sporvejs Aktieselskabs (NESA) anvendt trichlorethylen (TCE) og siden tetrachlorethylen (PCE) som affedtningsmiddel /22, 45/.

Der er i dag 133 forsyningsselskaber i Danmark /6, 7/. Enkelte af de andre adspurgte forsyningsselskaber som Nordvestsjælland Energiforsyning, Eltra og Brønderslev og Oplands Elforsyning har oplyst, at der ikke er anvendt chlorerede opløsningsmidler til affedtning inden for de sidste 30 år /27, 28, 42/. De kan dog ikke afvise, at chlorerede opløsningsmidler kan have været anvendt tidligere i driften af forsyningsselskabet /28, 42/. Det kan derfor ikke udelukkes, at flere forsyningsselskaber i Danmark kan have anvendt chlorerede opløsningsmidler til affedtning af transformere i en kortere eller længere periode, men der foreligger p.t. ikke dokumenterede oplysninger herom.

Afrensningen er som regel foregået enten med børster, koste eller klude /42, 45/. Rengøringsmidlet har været ophældt i en spand eller er taget direkte fra flaske eller beholder /42, 45/. Behandlingshyppigheden for rensningen af transformestationerne varierer med typen af transformere samt det enkelte forsyningsselskab, men er typisk foretaget mellem en gang om året og en gang hver femte år /27, 28, 42, 45/.

Friluftstransformere samt ledninger, isolatorer til ophæng af ledninger, olieafbrydere m.m. er ubeskyttet mod vind, vejr og støv og bliver mere beskidte end transformere opstillet i bygninger. Der kan derfor forventes en hyppigere afrensning af friluftstransformerstationer end transformere, der er placeret i bygninger /42/.

Transformere, der er placeret indenfor, er som nævnt mere beskyttet mod tilsmudsning, og har ikke i samme omfang brug for rensning i forbindelse vedligeholdelse /30, 42, 45/. I tilfælde af oliespild ved transformere placeret indenfor, kan der være anvendt affedtningsmidler som petroleum eller rensbenzin /30, 45/. Det kan ikke afvises, at der hos de enkelte forsyningsselskaber er anvendt chlorerede opløsningsmidler til affedtning. Risikoen for direkte afledning af rensvæske til jordmiljøet er dog mindre end ved friluftstransformerstationer som følge af, at der er støbt betongulv, hvor transformeren er opstillet, og at vedligeholdeshyppigheden og den anvendte mængde af affedtningsmiddel er mindre.

#### *Vedligeholdelse af udendørs arealer*

Ofte er der udlagt grus eller etableret græs omkring friluftstransformerstationer. Disse områder er gennem tiden blevet friholdt for ukrudt ved enten sprøjtning med pesticider eller mekanisk fjernelse /27, 28, 42/. Valg af behandlingsmetode samt valg af sprøjtningssmidler til behandling af de omkringliggende arealer samt sprøjtningshyppighed varierer fra forsyningsselskab til forsyningsselskab.

Endvidere er der gennem tiden anvendt forskellige sprøjtemidler /27, 42, 46/. Der kan f.eks. have været anvendt totaludryddelsesmidler som dichlorbenil og triaziner i områder, hvor al vegetation har været uønsket /47/. Siden 1980 er der hos nogen forsyningsselskaber anvendt Round Up /46, 48/. Andre forsyningsselskaber har forestået ukrudtsbekæmpelsen ved håndkraft /42/.



Behandlingshyppigheden varierer mellem de enkelte forsyningselskaber, men kan være op til 4 gange årligt /27, 46/.

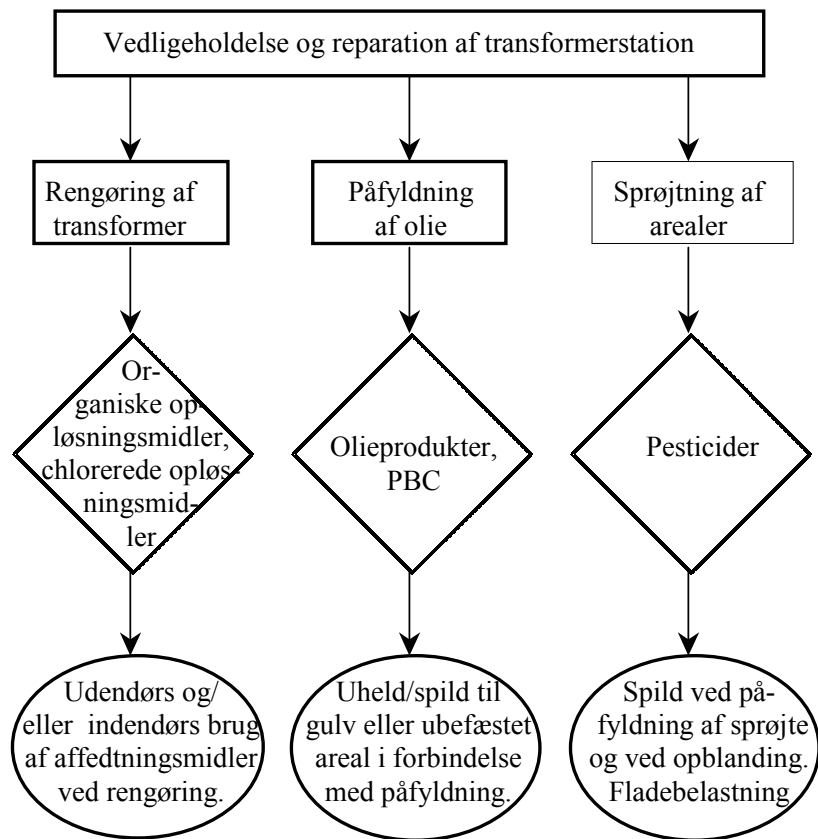
I de enkelte forsyningsområder kan det være forsyningselskabet selv, der står for vedligeholdelsen af de omkringliggende arealer, men der kan også være anvendt eksterne firmaer /22, 46/. Der kan i forbindelse med sprøjtningen af udendørsarealerne været sket tømning af sprøjter eller opblanding af pesticider på de enkelte lokaliteter /46/.

### **Miljøbelastning**

I relation til jord- og grundvandsforurening kan vedligeholdelse af transformerstationer medføre følgende miljøbelastning:

- Tilledning af affedtningsmidler til gulv/kloak eller ubefæstede arealer i forbindelse med rengøring af transformere, ledninger, isolatorer m.m.
- Spild til gulv/kloak eller ubefæstede arealer i forbindelse med efterfyldning af transformere med olie.
- Spild til gulv/kloak eller ubefæstede arealer i forbindelse med opblanding af pesticider samt udtømning af sprøjter og rengøring af udstyret.
- Fladebelastning af udendørs arealer som følge af sprøjtning med pesticider.

Af figur 4.8 fremgår en oversigt over de potentielt forurenede stoffer og potentielle forureningskilder med relation til vedligeholdelse og reparation af transformerstationer.



**Figur 4.8** Potentielt forurenende stoffer samt potentielle forureningskilder ved vedligeholdelse og reparation af transformerstation.



## 5. Forureningsrisiko

### 5.1. Oversigt over potentielle forureningskilder

I kapitel 4 er processer, anvendt teknologi og kemikalier samt de potentielle risici for miljøet på el-/kraftværker samt transformerstationer gennemgået.

I tabel 5.1 er processer, potentielle forureningskilder, kemikalier og mulige spredningsveje vedrørende elproduktionen opsummeret.

Delprocesser	Kildetyper	Spredningsveje	Forureningstyper
<b>Produktionsapparat til elproduktion</b>			
Smøring af maskiner	Uheld eller spild på jord eller gulv, utætte beholdere, tanke, kloakker, olieudskille- re eller rørføringer, uden- eller indendørs oplag af olie og affald samt bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvask- ning og diffusion	Kulbrinter, BTEX'er og PAH'er
Oplagring af el på akkumulatører	Uheld eller spild på jord eller gulv, utætte akkumulatører og kloakker, uden- og indendørs oplag af råvare (bly eller andre metaller, svovlsyre og lud) og affald (brugte blyelementer, svovl- syre eller lud) samt bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvask- ning og diffusion	Bly og evt. andre tungmetaller, blyhol- dig svovlsyre og -lud
Ensretning af strøm, kviksølvkontakter	Uheld eller spild på jord eller gulv, utætte komponenter og klo- akker, uden- og in- dendørs oplag af brugte komponenter samt bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvask- ning og diffusion	Kviksølv
Udledning af røggas	Afkast via skorsten	Luftdeposition af partikler og flyveaske	Kulbrinter, tungmetal- ler, PAH'er og dioxin

**Tabel 5.1** Oversigt over processer, potentielle forureningskilder, kemikalier og mulige spredningsveje vedrørende elproduktionen.

Delprocesser	Kildetyper	Spredningsveje	Forureningstyper
<b>Håndtering af brændstof</b>			
Modtagelse, oplag og fordeling af olie	Utætte i tanke, olieudskillere, sandfang og rørføringer, spild eller uheld i forbindelse med påfyldning, uden- og indendørs oplag af olie	Nedsivning og diffusion	Kulbrinter, BTEX'er og PAH'er
Modtagelse, oplag og fordeling af kul	Uden- og indendørs kuloplag, utætte olieudskillere, sandfang, rørføringer	Nedsivning, udvaskning og diffusion, luftdeposition af støv	Kulbrinter, PAH'er og tungmetaller
<b>Vedligeholdelse og værkstedsaktiviteter</b>			
Vedligehold og værkstedsaktiviteter	Uheld eller spild på jord eller gulv, utætte beholdere, tanke, kloakker, olieudskillere eller rørføringer, uden- eller indendørs oplag af kemikalier, metaller, affald m.m. samt bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvaskning og diffusion	Olieprodukter, organiske opløsningsmidler, chlorerede opløsningsmidler, tungmetaller, PAH'er m.m.
<b>Oplag og affaldshåndtering</b>			
Oplag og affaldshåndtering	Uheld eller spild på jord eller gulv, uden- og indendørs oplag af forbrændingsprodukter, utætte beholdere, olieudskillere, kloakker, sandfang, rørføringer, bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvaskning og diffusion, luftdeposition af forbrændingsprodukter	Kulbrinter, tungmetaller, kemikalier, PAH'er og dioxin

**Tabel 5.1 (fortsat)** Oversigt over processer, potentielle forureningskilder, kemikalier og mulige spredningsveje vedrørende elproduktionen.

I tabel 5.2 er processer, potentielle forureningskilder, kemikalier og mulige spredningsveje vedrørende eldistribution opsummeret.

Delprocesser	Kildetyper	Spredningsveje	Forureningstyper
<b>Drift af transformestationer</b>			
Oliekøling af transformere	Uheld eller lækage til gulv, oliegrube eller jord. Utætte transformere. Bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvaskning og diffusion	kulbrinter, BTEX'er, PCB'er, tri- og tetrachlorbenzener
Olieafbrydere og kondensatorer	Uheld eller lækage til gulv eller jord. Utætte komponenter, uden- og indendørs oplag af brugte komponenter samt bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvaskning og diffusion	kulbrinter, BTEX'er og PCB'er
Ensrettere og kviksølvkontakter	Uheld eller lækage til gulv eller jord. Utætte komponenter og kloakker, uden- og indendørs oplag af brugte komponenter samt bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvaskning og diffusion	Kviksølv
<b>Vedligeholdelse og reparation af transformestationer</b>			
Rengøring af transformere	Uheld eller spild til gulv eller jord, utætte beholdere, kloakker, bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvaskning og diffusion	Org. opløsningsmidler, herunder chlorerede opløsningsmidler
Påfyldning af olie	Uheld eller spild på jord eller gulv i forbindelse med påfyldning, utætte beholdere, kloakker, bortskaffelse af affald	Nedsivning, udvaskning og diffusion	Kulbrinter, BTEX'er, PCB'er, tri- og tetrachlorbenzener
Sprøjtning af arealer	Uheld eller spild på jord eller gulv i forbindelse med påfyldning, tømning og rensning af sprøjter, uden- og indendørs oplag af pesticider bortskaffelse af rester	Nedsivning, udvaskning, diffusion og fladebelastning	Pesticider

**Tabel 5.2** Oversigt over processer, potentielle forureningskilder, kemikalier og mulige spredningsveje vedrørende eldistribution.

## 5.2. Vurdering af forureningsrisiko

I følgende afsnit er hovedgrupperne af udvalgte stoffer anvendt eller fundet i forbindelse med el-/kraftværker, det vil sige elproduktion og -distribution:

- Kulbrinter
- Chlorerede opløsningsmidler
- Tungmetaller
- Polyaromatiske kulbrinter (PAH'er)
- Pesticider
- Polychlorerede Biphenyler (PCB), herunder chlorbenzener.

Datablade for udvalgte stoffer inden for ovenstående hovedgrupper findes i bilag 4. Pesticider er ikke medtaget i bilag 4, men er nærmere beskrevet i /47, 49, 50/.

Stoffernes fysisk-kemiske egenskaber er udgangspunkt for en vurdering af risikoen for at træffe en forurening med stofferne i hhv. jord, grundvand og poreluft.

Stoffer med ringe opløselighed, lavt damptryk og kraftig adsorption (høj oktanol-vand fordelingskoefficient, stor molvægt og evt. positive ladninger) vil udvise størst tendens til at blive opkoncentreret i jordprofilen frem for at blive udvasket til grundvand eller fordampe til poreluften.

Omvendt vil stoffer med stor vandopløselighed og ringe adsorption udgøre den største risiko for grundvandskvaliteten, mens stoffer med højt damptryk udgør en risiko for poreluftforurening.

### 5.2.1. Kulbrinter

Kulbrinter har generelt en massefylde, der er mindre end vands og benævnes derfor LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquids) /51/.

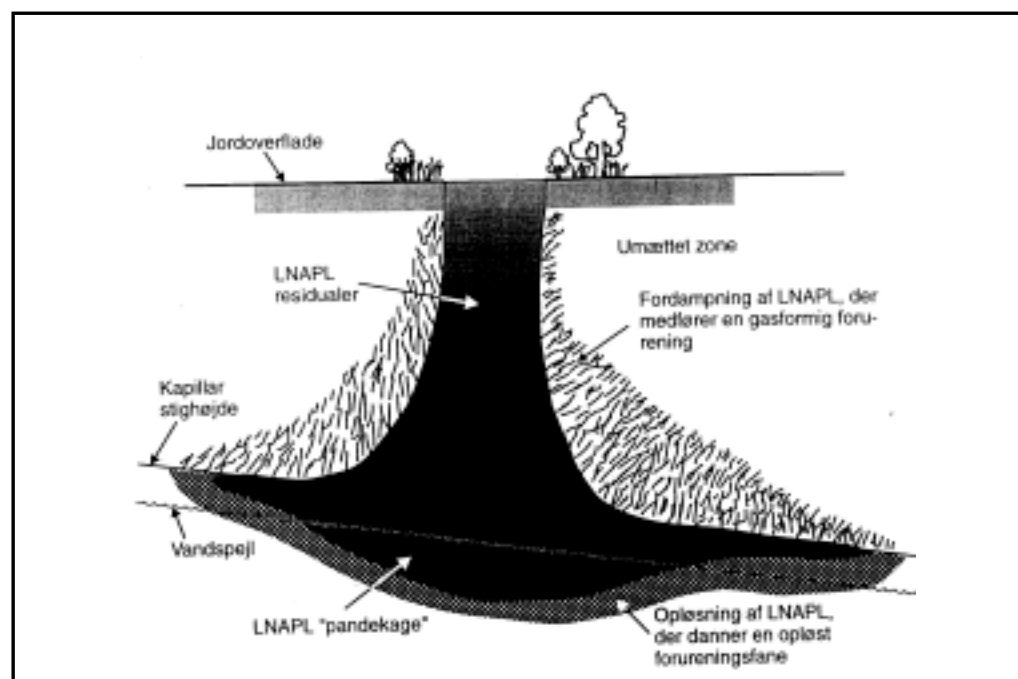
En forurening med LNAPL bevæger sig gennem jordmatricen mod grundvandet pga. udvaskning, tyngdekraften, trykgradienter samt kapillarkræfter, se figur 5.1. På vejen vil en del af de flygtige komponenter fordampe til poreluften, en del vil blive opløst i porevandet og en del af kulbrinterne vil blive fanget i jordens porer ved sorption (residual NAPL) /51/.

Et tilstrækkeligt stort kulbrintespild vil til sidst nå grundvandet, hvor det vil lægge sig oven på vandspejlet og strømme i samme retning som grundvandets hydrauliske gradient. Diffusion af kulbrinterne medfører en yderligere spredning af forureningen i andre retninger ud over strømningsretningen. Grund-

vandsforureningens udbredelse begrænses af sorption, fordampning og nedbrydning /51/.

Selv længe efter, at den frie fase har passeret gennem jorden, vil residual LNAPL langsomt frigøres igen til jordvæsken fra jordmatricen pga. desorption.

De forskellige typer af LNAPL bevæger sig ikke lige hurtigt gennem jordmatricen. Langkædede kulbrinter er f.eks. meget lidt mobile i jord, da de sorberes stærkt til det organiske materiale og udgør således et potentielt problem for arealanvendelsen. Flygtige og vandopløselige stoffer som BTEX'erne er derimod særdeles mobile og vil med tiden fordampe og udvaskes fra den oprindelige forurening, og de udgør således den største trussel for grundvand og indeklima /51/.



**Figur 5.1** Udbredelse af et LNAPL spild /51/.

Jo ældre en forurening med kulbrinter er, des større er sandsynligheden for, at forureningen er blevet reduceret i de terrænnære jordlag ved fordampning, udvaskning eller biologisk nedbrydning. Samtidig er der større risiko for at træffe forureningen i grundvand. Dette gælder især for ubefæstede områder, hvor nedsivningen er størst.

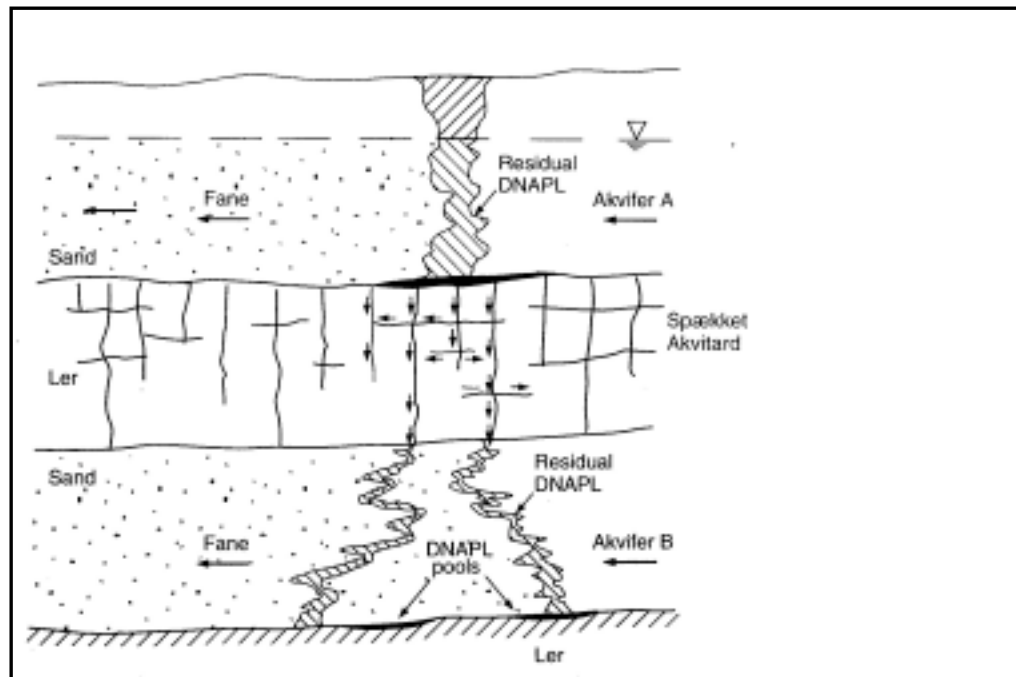
### 5.2.2. Chlorerede kulbrinter

Chlorerede kulbrinter har generelt en massefylde, der er større end vands (1,33-1,46 g/mL for de nævnte) og benævnes derfor DNAPL, Dense Non-Aqueous Phase Liquids /51/.



Et spild med DNAPL vil bevæge sig gennem den umættede zone stort set på samme måde som LNAPL, se figur 5.2.

Hvis et DNAPL spild når grundvandsspejlet, vil det imidlertid ikke lægge sig oven på grundvandet, men vil på grund af den større massefylde strømme længere ned og evt. til sidst lægge sig på bunden af reservoiret og danne søer /51/. Herfra kan DNAPL spredes yderligere ved at flyde langs bundens hældning eller ved at trænge ned i sprækker og således forurene underliggende grundvandsmagasiner /51/.



**Figur 5.2** Udbredelse af et DNAPL spild /51/.

Et spild med chlorerede kulbrinter er i stand til at forurene et stort område, hvilket skyldes, at chlorerede kulbrinter, i modsætning til f.eks. andre usubstituerede kulbrinter, enten ikke nedbrydes eller nedbrydes meget langsomt i både anaerobe og aerobe miljøer /52/.

Stoffernes høje damptryk (58-350 mm Hg) bevirker, at residual DNAPL i undergrunden kan fordampe og som følge af konvektion og diffusion transporteres til terræn og evt. forårsage indeklimaproblemer i overliggende bygninger.

Jo ældre en forurening med chlorerede kulbrinter er, des større er sandsynligheden for, at forureningen er blevet reduceret i de terrænnære jordlag ved fordampning eller udvaskning. Det gælder som for kulbrinterne, at der samtidig er større risiko for at træffe forureningen i grundvand, især på ubefæstede arealer.

### 5.2.3. Tungmetaller

Tungmetaller bruges efterfølgende som en generel betegnelse for metallerne arsen (As), bly (Pb), cadmium (Cd), kobber (Cu), chrom (Cr), kviksølv (Hg), nikkel (Ni) og zink (Zn). Tungmetaller er grundstoffer, der således ikke kan nedbrydes til uskadelige komponenter, som de organiske stoffer kan. Tungmetaller kan forekomme på forskellige kemiske tilstandsformer, der som følge heraf har forskellig mobilitet og miljøpåvirkning. Effekterne vil dog hovedsageligt bero på koncentrationsniveauet, og på hvor de findes /51/.

Tungmetallernes spredning i jordmiljøet er styret af processerne udfældning, sorption og kompleksering og endvidere af redox- og methyleringsprocesser for arsen, chrom og kviksølv /51/.

Tungmetallerne *bly, cadmium, kobber, nikkel og zink* optræder hyppigst som divalente kationer i jordmiljøet og tilbageholdes generelt kraftigt i overjord pga. af sorption og udfældning med f.eks. fosfat. Sorption forekommer ved alle koncentrationsniveauer, mens udfældning generelt kræver høje koncentrationer. Den afgørende faktor for stoffernes sorption er pH, hvor stofferne er mest mobile ved lave pH-værdier. Tilføres jorden f.eks. chlorid, carbonat og sulfat øges stoffernes opløselighed som følge af kompleksdannelser, på nær under stærkt reducerede forhold /51/.

*Kviksølv* optræder hovedsageligt på oxidationstrinene 0 og II i jordmiljøet. Kviksølv forekommer sjældent som frie  $\text{Hg}^{2+}$  ioner, der ville tilbageholdes kraftigt til jordmatricen. I stedet komplekserer stoffet, primært som  $\text{HgOH}^+$  og  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ , og bliver derved mobilt. Elementært kviksølv,  $\text{Hg}^0$ , der er flydende ved normale temperaturer, har en væsentlig anderledes opførsel og spredningsvej i jord end de øvrige tungmetaller. Elementært kviksølv ses således ofte at samle sig som dråber i jorden. Dette medfører, at elementært kviksølv kan være mere mobil i jordmiljøet end de øvrige tungmetaller og kan vanskeliggøre oprensningerne, dels pga. den særdeles inhomogene fordeling i jorden, dels pga. elementært kviksølvs større tendens til vertikal spredning. Elementært kviksølv samt methyleret kviksølv er endvidere flygtige stoffer, der vil have tendens til at fordampe /51, 53/.

På grund af tungmetallernes store tendens til at adsorbere til jordpartikler har de lange opholdstider i jorden. Cadmium er et af de mest mobile tungmetaller, med en opholdstid på omkring 100 år. Kviksølv har en residenstid omkring 750 år, mens arsen, kobber, nikkel, bly og zink har residenstider på omkring 2.000 år i tempereret jord /54/.

### 5.2.4. Polycykliske aromatiske kulbrinter

Polycykliske aromatiske kulbrinter (PAH'er) omfatter kulbrinter med to eller flere aromatiske ringe. Oftest er det stoffer med 2-7 aromatiske ringe, usubstituerede forbindelser, der refereres til /51/. I forbindelse med jordforurening er

der stor fokus på enkelt-stofferne benz(a)pyren og dibenz(a,h)anthracen /55/. PAH'er er potentielt carcinogene /56/.

PAH'er er generelt meget persistente i både jord-, vand- og luftmiljøet. PAH'er er karakteriseret ved lille vandopløselighed og lavt damptryk. Dette betyder, at PAH'er generelt er meget lidt flygtige og meget lidt mobile i jord /51/. Generelt gælder dog, at vandopløseligheden og damptrykket falder med stigende antal aromatiske ring /51/.

PAH'er kan syntetiseres naturligt i vores omgivelser /51/. PAH'er findes endvidere naturligt i råolie. Menneskeskabte processer som ufuldstændig forbrænding af fossilt brændstof, gasproduktion og asfaltproduktion kan medføre spredning af PAH'er til miljøet /51/.

PAH'er kan potentielt nedbrydes i jorden. Generelt gælder, at lavmolekylære PAH'er nedbrydes lettere end højmolekylære PAH'er /51/.

På grund af PAH'ernes store tendens til at adsorbere til jordpartikler har de lange opholdstider i jorden.

### **5.2.5. Pesticider**

De pesticider, der anvendes på transformerstationer, er til bekæmpelse af ukrudt (herbicider). Herbicider dækker over en lang række produkter, der indeholder et eller flere kemikalier (aktivstoffer) med forskellige fysisk-kemiske egenskaber.

Aktivstoffet i herbicidet kan være baseret på enten organiske eller uorganiske forbindelser. Før 2. verdenskrig var aktivt stoffet i anvendte pesticider metaller som kviksølv, kobber, bly og lignende /51/. Efter 2. verdenskrig skete en udvikling hen mod organiske aktivstoffer, som f.eks. phenoxysyre, triaziner, dichlorbenil og glyphosat /47, 51/.

Pesticider, hvor aktivstoffet er metaller eller stærkt sorberende organiske forbindelser med ringe vandopløselighed, kan medføre en opkoncentrering i jordmatrixens øverste jordlag /47/.

Flere pesticider baseret på organiske aktivstoffer er kendt som relativt vandopløselige og kun relativt lidt sorberende til jordmatrixen /49/. Hvis der ikke sker en nedbrydning i de øvre jordlag, kan der således ske en udvaskning til grundvandet /51/.

Mange pesticider er nedbrydelige under de rette omstændigheder /51/. Ved nedbrydning/omsætning af organiske aktivstoffer kan der i visse tilfælde dannes nedbrydningsprodukter, der er mere giftige end udgangsstoffet og har andre fysisk-kemiske egenskaber /51/.

### 5.2.6. PCB og chlorbenzener

Polychlorerede Biphenyler (PCB) er en gruppe af chlorerede aromatiske kulbrinter, der blev opdaget i slutningen af det 19. århundrede og er blevet fremstillet kommercielt siden 1930. Der kan fremstilles over 200 forskellige PCB'er, men kommercielle produkter indeholder normalt "kun" blandinger af ca. 130 af disse. PCB'er dannes ikke naturligt /57/.

Chlorerede benzener er en gruppe af chlorerede aromatiske kulbrinter indeholdende fra et til seks chloratomer. Der findes 12 forskellige chlorbenzener.

Når PCB og chlorbenzener tilføres jord, vil størstedelen blive adsorberet i det øverste lag. Begge stofgrupper har høje adsorptions- og absorptionskoefficienter. Det bemærkes, at stoffernes mobilitet falder med øget chlorering og øget indhold af organisk materiale samt ler i jorden. /57, 58/.

PCB og chlorbenzener er kemisk meget stabile og svært nedbrydelige i naturen. Nedbrydningen af PCB og chlorbenzener afhænger af graden af chlorering samt chloratomets position. Generelt er PCB'er med mere end seks chloratomer meget persistente i jordmiljøet. Under anaerobe forhold dechloreres primært de mest chlorerede PCB'er, hvorved der dannes mindre chlorerede PCB'er, som efterfølgende lettere udvaskes eller fordampes /58/.

På trods af lave damptryk ( $1 \cdot 10^{-7}$ - $6,5 \cdot 10^{-4}$  mm Hg) er fordampning endvidere en vigtig kilde til fjernelse af PCB'er fra jord /57/. For chlorbenzenerne, der har højere damptryk ( $1,1 \cdot 10^{-5}$ -11,85 mm Hg), er fordampning den vigtigste kilde til fjernelse fra jord. Undersøgelser har vist, at den biologiske nedbrydning kun udgjorde ca. 0,3-3 % af fordampningen /57/.

På grund af PCB's og chlorbenzenernes høje  $P_{o/w}$  og lave nedbrydelighed er stofferne bioakkumulerbare, og spor af PCB kan i dag findes i fedtvæv i næsten alle levende organismer /57/.

### 5.2.7. Sammenfattende for el-/kraftværker

På lokaliteter med el-/kraftværker vil forurening med kulbrinter potentielt konstateres ved kuloplag samt utætte tanke, rørføringer, sandfang, olieudskillere og kloakker. Endvidere er der risiko for at konstatere forurening med kulbrinter ved oplag af oplag af råvarer, forbrændingsprodukter og affald.

Der er risiko for at konstatere forurening med chlorerede kulbrinter på lokaliteter med el-/kraftværk i forbindelse med værkstedsaktiviteter, hvor chlorerede opløsningsmidler kan være anvendt til affedtning.

Der er risiko for at konstatere diffus forurening med tungmetaller i nedfaldsområder fra afkastet fra skorsten og områder ved kuloplag og oplag af affaldsprodukter. Der er endvidere risiko for at konstatere forurening med bly, hvor der er håndteret svovlsyre og bly til akkumulatorer. Desuden er der i områder,

hvor der er sket uheld eller oplag af ensrettere eller kviksølvkontakter, risiko for at konstatere forurening med kviksølv. Dette kan være på såvel elværker som transformerstationer.

Der er risiko for at konstatere diffus forurening med PAH'er i nedfaldsområder fra afkastet fra skorsten og områder med kul- og olieoplag samt oplag af affaldsprodukter.

#### **5.2.8. Sammenfattende for transformerstationer**

På lokaliteter med transformerstationer vil forurening med kulbrinter potentielt kunne konstateres ved utætte transformere, olieafbrydere og kondensatorer eller i områder, hvor der er sket efterfyldning eller rengøring af transformere.

Der er risiko for at konstatere forurening med chlorerede kulbrinter på lokaliteter med transformerstationer, hvor der uden- eller indendørs har været foretaget rengøring af transformere med chlorerede opløsningsmidler.

Der er risiko for at konstatere forurening med pesticider på lokaliteter med transformerstationer, hvor der er sket sprøjtning af omkringliggende arealer. Endvidere er der risiko for at konstatere forurening med pesticider, hvor der har foregået påfyldning, tømning eller rensning af sprøjter eller hvor der har været oplag af pesticider. På lokaliteter, hvor der er sket hyppig behandling af de omkringliggende arealer med pesticider, er der risiko for, at der kan være en fladebelastning af området.

På lokaliteter med transformerstationer vil forurening med PCB potentielt kunne konstateres ved utætte transformere (indeholdende PCB-holdig transformerolie) og kondensatorer eller i områder, hvor der er sket efterfyldning af transformere.

## 6. Undersøgelser

I det følgende er indholdet i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2 beskrevet, jf. Lov om forurenede jord. Beskrivelse af mere omfattende undersøgelser kan bl.a. findes i /59/.

Ved en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2 på et el-/kraftværk eller transformere anbefales følgende elementer at indgå i undersøgelsesstrategien:

- Historisk kortlægning
- Prøvetagning af jord, grundvand og poreluft
- Felt- og laboratorieanalyser af jord-, grundvands- og poreluftprøver
- Vurdering af analyseresultater i relation til relevante kvalitetskriterier
- Orienterende risikovurdering.

I det følgende er indholdet i kortlægningsundersøgelsen frem til vidensniveau 2 nærmere beskrevet.

### 6.1. Historisk kortlægning

#### 6.1.1. Kortlægningsstrategi og –metode

Siden 1. januar 2000 har amtsrådet i samarbejde med kommunalbestyrelsen skullet forestå forureningskortlægningen i henhold til § 3 i Lov om forurenede jord /60/.

Et areal betegnes som kortlagt på vidensniveau 1, hvis der er tilvejebragt en faktisk viden om potentielle forureningskilder på arealet.

Et areal betegnes som kortlagt på vidensniveau 2, hvis der er tilvejebragt dokumentation for, at der med høj grad af sikkerhed er en jordforurening på arealet, der kan have skadelig virkning på mennesker og miljø. Hvis der ikke i forvejen foreligger dokumentation, der udgør et sikkert grundlag for at kortlægge arealet på vidensniveau 2, udføres der tekniske undersøgelser i form af opgravninger, boringer, analyser eller lignende.

Forureningskortlægning frem til vidensniveau 2 er begrænset til offentlige indsatsområder, der omfatter arealer, hvor der er forurening eller forureningskilder, der kan:

- have skadelig virkning på grundvandet inden for et område med særlige drikkevandsinteresser (OSD),
- have skadelig virkning på grundvandet i et indvindingsopland for et alment vandforsyningsanlæg eller
- have skadelig virkning på mennesker på et areal med bolig, børneinstitution eller offentlig legeplads.

Det bemærkes, at nyere forureninger og diffuse forureninger også er medtaget. Kortlægningen omfatter således al jordforurening, uafhængigt af, hvornår og hvordan den er sket.

Strategien over for el-/kraftværker og transformere bør udvikles således, at lokaliteterne i offentlige indsatsområder identificeres først. Når lokaliteterne er identificeret, iværksættes miljøhistoriske gennemgange, der danner grundlag for kortlægningsundersøgelser frem til vidensniveau 2.

### **6.1.2. Indsamling af historisk materiale**

Inden kortlægningsundersøgelser frem til vidensniveau 2 påbegyndes, er det vigtigt at få lavet en historisk kortlægning for den aktuelle lokalitet. Dette kan være tidskrævende, men er nødvendigt for at kunne målrette de tekniske undersøgelser.

Den historiske kortlægning bør resultere i en detaljeret redegørelse for typen og den fysiske placering af potentielle forureningskilder relateret til el-/kraftværk og transformere.

Der findes en lang række kilder, hvor der kan søges oplysninger. Kilderne kan opdeles i primære og sekundære kilder. En nærmere beskrivelse af de vigtigste primære og sekundære kilder fremgår af bilag 5.

I det følgende er anvendelsen af det historiske materiale opdelt på følgende emner:

- Oplysninger om lokalisering af tidligere og nuværende el-/kraftværker samt transformere
- Oplysninger om branchen
- Oplysninger om lokaliteten.

#### **Lokalisering af el-/kraftværker**

Med henblik på en generel kortlægning indhentes oplysninger om, hvor der har været el-/kraftværker inden for afgrænsede geografiske områder.

Til generel kortlægning kan anvendes ”brede” historiske kilder, som f.eks. gamle vejvisere, telefonbøger, lokalvejvisere og annonceværker (f.eks. Kraks vejviser) med f.eks. 5-års-intervaller. Kendetegnende for disse kilder er, at de har en bred dækning, men en lav detaljeringsgrad.

Der kan ofte ligeledes med fordel tages kontakt til lokalhistorisk arkiv, hvor medarbejdere enten selv har et udvidet lokalkendskab eller kan henvise til ældre borgere med lokalkendskab.

Specifikt for el-/kraftværker anbefales desuden at kontakte Dansk Energi (DE) samt forsyningsselskaber i området, der kan oplyse om, hvilke værker de modtager strøm fra.

### **Lokalisering af transformere/transformerstationer**

Til kortlægning af transformere/transformerstationer kan det anbefales at kontakte netforsyningsselskabet og transmissionsselskabet for det pågældende område. Forsyningsselskabet vil kunne give information om beliggenhed og type af transformer. En oversigt over forsyningsselskaberne er vedlagt i bilag 3. Der kan endvidere anvendes nyere grundkort, hvor placering af transformere/transformerstationer i en vis udstrækning vil fremgå. Endvidere kan der for transformerstationer være udarbejdet kommunale lokalplaner.

### **Oplysninger om branchen**

Flere el-/kraftværker og forsyningsselskaber udgiver i anledning af jubilæer historiske beretninger om værket/forsyningsselskabet. Disse kan ofte findes på de lokale biblioteker, lokalhistoriske arkiver eller ved værkerne/forsyningsselskaberne.

Der er udarbejdet en historisk redegørelse for Danmarks elforsyning:

- ”Elektricitetens Aarhundrede, Dansk Elforsynings Historie”, Bind 1 og 2. Wistoft, B. m.fl, Danske Elværkers Forening 1991-92.

I denne er der blandt andet angivet en tidstavle (1891-1992) over etablering af el/kraftværker opført ved enten bynavn og/eller stednavn. Listen indeholder endvidere oplysninger om lukning af værker.

Endvidere kan Elmuseet i Bjerringbro ligge inde med historiske oplysninger vedrørende anvendte produktionsanlæg, anvendte brændsler, transformere m.m. På museet findes et udvalg af maskinel anvendt til elproduktion.

Mere specifikke oplysninger om forureningsforhold for el-/kraftværker mv. kan findes i databasen over amternes registreringsundersøgelser /61/ og gennemgås overordnet i afsnit 6.2.

### **Oplysninger om den enkelte lokalitet**

Når et areal med el-/kraftværk eller transformerstation er kortlagt på vidensniveau 1 på baggrund af oplysninger indhentet i afsnit 6.1.2, er næste trin at gennemgå de kilder til historiske oplysninger, der vil være relevante ved planlægningen af kortlægningsundersøgelser frem til vidensniveau 2, som ofte vil være tekniske undersøgelser.



Ved tilrettelæggelse af disse undersøgelser kan det historiske materiale inddeles efter de forhold, der søges oplysninger om. For et el-/kraftværk eller transformerstation kan følgende forhold være relevante:

- **Lokalisering og driftsperiode**

Adresse, matr.nr. og ejerforhold mv. fremgår af kommunens arkiver. Driftsperioden fremgår af tingbogen eller kan oplyses af grundejer i driftsperioden. Herudover kan der evt. indhentes oplysninger fra erhvervsregistret, vejvisere, brancheforeninger, lokalhistorisk arkiv mv.

For transformerstationer kan placering af transformere fås hos de enkelte forsyningsselskaber. Endvidere kan der foreligge lokalplaner for opførelse af transformerstationer ved amt eller kommune.

- **Fysisk indretning**

Kommunens arkiver, herunder evt. miljøgodkendelser.  
Virksomhedens arkiver.  
Fotos fra det Kongelige Biblioteks billedsamling, Kort- og Matrikelstyrelsen og Lokalhistorisk arkiv.

- **Gennemgang af processer og oplag**

Kommunens arkiver, herunder evt. miljøgodkendelser.  
Virksomhedens arkiver.  
Interview med grundejer eller ansatte i driftsperioden ved el-/kraftværk eller forsyningsselskab.  
Avisartikler mv.  
Arbejdstilsynets inspektionsberetninger.  
Gennemgangen suppleres med teknisk historisk litteratur.

- **Identifikation af miljøfarlige stoffer og lokalisering af forureningskilder**

Det vil være relevant at gennemgå de samme kilder som under ovenstående punkt.

- **Oplysninger om brand og ulykker**

Kommunens arkiver.  
Virksomhedens arkiver.  
Interview med grundejer i driftsperioden eller ansatte ved el-/kraftværk eller forsyningsselskab.

- **Besigtigelse**

Ved besigtigelse af et el-/kraftværk kan man eventuelt lokalisere brændselsoplæg (udendørs kuloplæg eller nedgravede/overjordiske olietanke), maskinhal, skorsten, akkumulatorrum, højspændingsrum, ensrettere, værkstedsaktiviteter, oplæg af slagge og flyveaske, oplæg af kemikalier mv. Det kan anbefales at udføre besigtigelsen sammen med tidligere grundejer eller ansatte, der har været vidende om produktionsprocesser og affaldsbortskaffelse.

Ved besigtigelse af en transformerstation kan man eventuelt lokalisere transformeren, olieafbrydere, kondensatorbatteri, behandlede udendørsarealer mv. Det kan anbefales at udføre besigtigelsen sammen med ansatte fra det pågældende forsyningsselskab, der har været vidende om drift og vedligeholdelse af transformerstationen.

## **6.2. Status for branchernes miljøbelastning**

På både el-/kraftværker og transformerstationer kan der, som omtalt i tidligere afsnit, være flere kilder til jord- og grundvandsforurening. I kapitel 4 og 5 er der udarbejdet oversigter over miljøbelastninger fra de forskellige aktiviteter, der kan foregå eller har foregået, jf. tabel 5.1 og 5.2.

I afsnit 6.2.1 og 6.2.2. vil status for henholdsvis el-/kraftværker og transformerens miljøbelastning blive gennemgået. Statusgennemgangen for el-/kraftværker er baseret på Amternes Videntcenter for Jordforurenings database over amternes registreringsundersøgelser /61/ samt forureningsundersøgelser fra Ringkøbing, Ribe, Viborg og Vestsjællands amter /32/. Statusgennemgangen for transformere er baseret på forureningsundersøgelser fra Københavns, Frederiksborg og Vestsjællands amter /32/.

### **6.2.1. Status for el-/kraftværkers miljøbelastning**

Amternes Videntcenter for Jordforurenings database over amternes registreringsundersøgelser (februar 1997) indeholder oplysninger om undersøgelser på i alt 47 ejendomme med el-/kraftværk. På 36 af ejendommene har elproduktion været primæraktiviteten, og på 6 ejendomme har der enten samtidig med elværket eller efter elværkets nedlæggelse været varmekværk. På de resterende 5 ejendomme har der foruden elværket været meget forskelligartede aktiviteter som gasværk, renseri, galvanisering, vaskeri og værksted /61/.

I alt er 34 ejendomme registreret som affaldsdepot på baggrund af tekniske undersøgelser, mens de resterende 13 undersøgte ejendomme ikke er blevet registreret /61/.

På 10 af de 13 ejendomme, der ikke er blevet registrerede, er der konstateret forurening, men registrering som affaldsdepot er udeladt, da det er skønnet, at forureningen kan være sket efter Miljøbeskyttelseslovens ikrafttrædelse i 1974.

Endvidere er der gennemgået i alt 14 forureningsundersøgelser fra Ringkøbing, Ribe, Viborg og Vestsjællands amter, der er foretaget efter 1997 /32/. Kun forureningsundersøgelser udført efter 1997 er medtaget. På 7 af ejendommene har elproduktion været primæraktiviteten, og på 4 ejendomme har der enten samtidig med elværket eller efter elværkets nedlæggelse været varmekværk. På de resterende 3 ejendomme har der foruden elværket været enten smedeværksted og/eller benzinsalg /61/.

Der er på alle 14 undersøgte ejendomme konstateret forurening. Det vides ikke, om undersøgelserne har medført registrering som affaldsdepot.

På de 61 ejendomme (47 ejendomme fra database og 14 fra amternes forureningsundersøgelser) er der udført i alt 159 tekniske undersøgelser ved 18 forskellige kilder.

Ved de syv hyppigst undersøgte kildetyper er der konstateret forurening og spor af forurening, som angivet i tabel 6.1. Spor af forurening er defineret som indhold over analysemetodens detektionsgrænse, men under Miljøstyrelsens kvalitetskriterier /61/.

Kilde	Antal undersøgelser	Forurening	Spor af forurening	Spor eller Forurening
Udendørs oplag	6	6 (100%)	-	6 (100%)
Spild	48	47 (98%)	1 (2%)	48 (100%)
Afløbssystem	4	2 (50%)	2 (50%)	4 (100%)
Ved bygning	25	23 (92%)	1 (4%)	24 (96%)
Olietanke	49	34 (69%)	5 (10%)	39 (79%)
Deponering	4	3 (75%)	-	3 (75%)
Stander/påfyldning	10	5 (50%)	1 (10%)	6 (60%)

**Tabel 6.1** Forureningshyppighed ved undersøgte kildetyper ved el- og kraftværker /32, 61/.

Tallene i tabellen skal kun opfattes som omtrentlige, idet nogle kildetyper kan være talt med flere steder. F.eks. kan tekniske undersøgelser udført ved bygninger ligeledes have dækket afløbssystemet eller spild. Endvidere er det ikke alle steder tydeligt, om den undersøgte kilde har været tilknyttet el-/kraftværket eller andre aktiviteter på ejendommen.

På trods af et relativt lille erfaringsgrundlag fremgår det af tabel 6.1, at der er en tendens til, at der er en meget stor risiko for at træffe forurening ved udendørs oplag, spild, afløbssystem og ved bygninger. Generelt er der ved alle de hyppigst undersøgte kilder stor risiko for at træffe forurening eller finde spor af forurening (60-100 %).

To hyppige undersøgte kilder er spild og ved bygning. Gældende for begge kilder er, at den hyppigt forekommende forureningskomponent er bly. For flere undersøgelser gælder, at blyforureningen er konstateret i et større område ved og omkring elværksbygningen.

Der er endvidere foretaget én undersøgelse ved et kul- og slaggeoplæg, én ved en affaldsgrube samt to ved kølevandstanke, hvor der blev konstateret forure-

ning. Erfaringsgrundlaget er dog for spinkelt til, at der kan gives nogen entydig vurdering af risikoen for at træffe forurening ved disse kilder.

Der er endvidere udført én undersøgelse ved en olie-/benzinudskillere, hvor der ikke er konstateret forurening. Ved gennemgang af hele databasen er det fundet, at der er konstateret forurening ved olie-/benzinudskillere i ca. 50 % af tilfældene (44/87). Det vurderes, at dette sandsynligvis også generelt vil være gældende for olie-/benzinudskillere på el-/kraftværker.

Der er en del af de potentielle forureningskilder nævnt i kapitel 4 og 5, der enten ikke er undersøgt eller kun undersøgt i så begrænset omfang, at det ikke kan anvendes til en generel erfaringsopsamling.

Kilder omkring håndtering af kviksølv i forbindelse med ensrettere, værkstedsaktiviteter i forbindelse med el-/kraftværk, oplag af kul- og affaldsprodukter og diffus påvirkning fra oplag af kul/aske samt udledning af røggas er kun delvist eller slet ikke belyst i de udførte undersøgelser. Der er således endnu ikke noget erfaringsgrundlag vedrørende forureningsrisikoen for disse kilder. Det anbefales derfor, at der på baggrund af de historiske oplysninger om de enkelte værker, der skal undersøges, foretages relevante analyser ved disse kilder, indtil der er bedre grundlag for at vurdere den generelle forureningsrisiko for disse kilder.

Ud fra ovennævnte erfaringer er der nedenfor givet en prioriteret liste over forureningskilder, som bør undersøges på lokaliteter, hvor der har været el-/kraftværk. Listen er udarbejdet ud fra generelle erfaringer, hvorfor listen i hvert enkelt tilfælde skal vurderes sammen med de konkrete forhold på lokaliteten.

Forureningskilder, som **altid bør medtages** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Udendørs områder omkring el-/kraftværket (nær opbevaring af akkumulatører)
- Nedgravede tanke
- Spild
- Udendørs oplag af kul og affaldsprodukter
- Deponier/ nedgravet affald
- Olieudskillere og sandfang
- Stander- og påfyldningspladser.

Forureningskilder, som **anbefales medtaget** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Værkstedsaktiviteter
- Afløbssystemer
- Kviksølvsensrettere.

Forureningskilder, som *i specielle tilfælde kan medtages* i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Afkast via skorsten.

Såfremt der er etableret en transformer i forbindelse med el-/kraftværker, bør der udføres undersøgelse af potentielle forureningskilder med relation til transformeren, jf. afsnit 4.3 og 6.2.2.

Ved de tekniske undersøgelser på de 61 ejendomme er der foretaget analyser og konstateret koncentrationsniveauer i de to medier jord og grundvand, som angivet i tabel 6.2. Der er ikke i nogen af de udførte undersøgelser på el-/kraftværker udtaget poreluftprøver.

Komponent	Jord (mg/kg TS)		Vand (µg/L)	
	Interval for konc.	Antal analyser*	Interval for konc.	Antal analyser*
<b>Blandingsprodukter</b>				
Totalkulbrinter	610-22.300	20/17	7-15.000	12/7
Benzin	5,1-110	34/4	-	5/0
Diesel-/fyringsolie	21,3-38.000	41/28	-	5/0
<b>BTEX</b>				
Benzen	0,11-42	40/3	0,25-1,8	13/4
Toluen	0,05-170	40/11	2,1	13/1
Ethylbenzen	0,13-1,74	39/9	-	8/0
Xylen	0,13-200	39/13	2,3-4	13/4
<b>PAH</b>				
Total konc. af PAH'er	0,72-9.800	10/6	-	-
Naphthalen	0,43-60,5	30/14	0,25-7,1	11/3
Benz(a)pyren	0,4-1.100	6/4	-	1/0
Phenanthren	-	1/0	0,24-6,6	7/3
<b>Polychlorerede Biphenyler (PCB)</b>				
PCB (total)	0,3	2/1	-	-

\* Antallet af analyser før skråstregen er det totalt antal udførte. Efter skråstregen er anført det antal undersøgelser, hvor indholdet overskrider detektionsgrænsen.

**Tabel 6.2** Koncentrationsniveauer i registreringsundersøgelser på 61 lokaliteter med el-/kraftværker /32, 61/.

Komponent	Jord (mg/kg TS)		Vand (µg/L)	
	Interval for konc.	Antal analyser*	Interval for konc.	Antal analyser*
<b>Chlorerede opløsningsmidler</b>				
TCE	-	4/0	0,2	7/1
PCE	-	4/0	0,05	7/1
<b>Metaller</b>				
Arsen (As)	2,3-120	6/4	15	1/1
Bly (Pb)	6,3-312.000	49/49	72	1/1
Cadmium (Cd)	0,2-2,8	11/11	0,5	1/1
Chrom (Cr)	6,9-29	8/7	27	1/1
Kobber (Cu)	5,8-240	14/14	-	1/0
Kviksølv (Hg)	0,1-0,65	8/4	-	1/0
Nikkel (Ni)	6,6-100	8/6	107	1/1
Zink (Zn)	15-1.200	14/14	280	1/1

\* Antallet af analyser før skråstregen er det totalt antal udførte. Efter skråstregen er anført det antal undersøgelser, hvor indholdet overskrider detektionsgrænsen.

**Tabel 6.2 (fortsat)** Koncentrationsniveauer i registreringsundersøgelser på 61 lokaliteter med el-/kraftværker /32, 61 /.

Som det fremgår af tabel 6.2, er der i analyser i forbindelse med de tekniske undersøgelser primært lagt vægt på olieprodukter, BTEX'er, naphthalen og bly, hvorfor disse stoffer er analyseret hyppigere end andre og derfor giver et bedre erfaringsgrundlag.

*Blandingsprodukter:* Der er foretaget forholdsvis mange analyser for blandingsprodukter (defineret som totalkulbrinter, benzin og diesel/fyringsolie) i både jord og grundvand. Der er konstateret indhold af totalkulbrinter eller diesel-/fyringsolie i 60-85 % af analyserne, der primært er udført omkring tanke. Der er kun i et enkelt tilfælde konstateret indhold af benzin. Dette skyldes dog sandsynligvis, at benzin ikke er et af de produkter, der generelt anvendes på el-/kraftværker.

*BTEX:* Der er foretaget mange analyser for BTEX'er i jord. Generelt findes der spor i op mod 30 % af de analyserede prøver, men kun få prøver overskrider jordkvalitetskriterierne. I de analyserede vandprøver for BTEX'er er der kun fundet overskridelse af kvalitetskriterierne for benzen i én prøve.

*PAH:* Der er ikke udført systematiske undersøgelser for PAH'er i forbindelse med el-/kraftværker. Der foreligger et forholdsvis stort datamateriale for indholdet af naphthalen i jord, hvor der i ca. 50 % af de analyserede prøver er fundet indhold. I de analyserede vandprøver for naphthalen er der kun én prøve

der overskrider Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium. Der er fundet forurening på ca. 65 % af de lokaliteter, hvor der er analyseret for benz(a)pyren i jord. For ca. 50 % af de lokaliteter, hvor der er undersøgt for PAH'er (7 stk. i henhold til Miljøstyrelsen) er der fundet forurening. Der har ligget et gasværk på den lokalitet, hvor den højeste koncentration er konstateret.

*PCB:* I forbindelse med el-/kraftværker er der udført to analyser for PCB, hvor der i den ene er fundet indhold over detektionsgrænsen. For den ene undersøgelse fremgår det ikke om det er dokumenteret, at der har været PCB-holdige produkter på ejendommen. For undersøgelsen, hvor der er konstateret indhold af PCB er det forud for undersøgelsen bekræftet, at der på ejendommen er anvendt PCB-holdig olie.

*Chlorerede opløsningsmidler:* Der er kun udført få analyser for chlorerede opløsningsmidler (TCE og PCE). Der er ikke i nogen af de udførte analyser for TCE og PCE konstateret indhold over jordkvalitetskriterierne. Der er kun i én analyseret vandprøve konstateret spor af chlorerede opløsningsmidler. For el-/kraftværker kan chlorerede opløsningsmidler være anvendt i forbindelse med værkstedsaktiviteter. Generelt gælder for alle de udførte undersøgelser, at eventuelle værkstedsaktiviteter ikke er blevet undersøgt. Ved gennemgang af hele databasen for metalforarbejdende virksomheder, er det fundet, at der er konstateret forurening i vand eller poreluft ved ca. 55 % af virksomhederne (32/57). Det vurderes derfor, at der kan være forurening på lokaliteter, hvor der er anvendt chlorerede opløsningsmidler i forbindelse med værkstedsaktiviteter.

*Metaller:* Der er generelt udført mange analyser for bly og i mindre omfang for tungmetallerne As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni og Zn i jord. Bly overskrider kvalitetskriterierne på 92 % af ejendommene. Der er generelt konstateret mindre indhold af metallerne arsen, cadmium, nikkel og zink i de udførte analyser, der maksimalt overskrider jordkvalitetskriterierne med en faktor 6. Der er ikke konstateret overskridelser af jordkvalitetskriterierne for kobber eller kviksølv i nogen af de udførte analyser. For alle metallerne gælder endvidere, at de er naturligt forekommende i jorden, hvorfor metallerne genfindes over detektionsgrænsen i stort set alle udførte analyser. Der er analyseret for indhold af alle metaller i én vandprøve fra en ejendom, hvor der har været oplag af kul og restprodukter. Der er i denne vandprøve konstateret indhold af arsen, bly, cadmium, chrom, nikkel og zink, der overskrider grundvandskvalitetskriterierne med op til en faktor 70-75.

De hyppigst konstaterede forureningstyper er tungmetaller og dernæst oliekomponenter og PAH'er.

Ud fra ovennævnte erfaringer er der nedenfor givet en prioriteret liste over forurenende stoffer, som der bør analyseres for på lokaliteter, hvor der har været el-/kraftværk. Listen bør dog i hvert enkelt tilfælde vurderes sammen med de konkrete forhold på lokaliteten, herunder konkrete oplysninger om anvendte stoffer.

Forurenende stoffer, som der *altid bør analyseres for* i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Kulbrinter, herunder BTEX
- Tungmetaller (herunder bly)
- PAH'er.

Forurenende stoffer, som der *anbefales analyseret for* i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Chlorerede opløsningsmidler
- Kviksølv.

Forurenende stoffer, som der *i specielle tilfælde analyseres for* i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Dioxin
- PCB.

Hvis der på lokaliteten er oplysninger om kviksølvensrettere bør der undersøges for kviksølv, indtil der foreligger et erfaringsgrundlag for den potentielle forureningsrisiko for ensrettere. Hvis der er en transformerstation på lokaliteten tilrettelægges undersøgelsen af denne efter afsnit 6.2.2.

### **6.2.2. Status for transformeres miljøbelastning**

Det er først for inden for de seneste år, at der kommet fokus på den potentielle forureningsrisiko, som drift og vedligeholdelse af transformere udgør for miljøet.

Amternes Videntcenter for Jordforurenings database over amternes registreringsundersøgelser (februar 1997) indeholder ikke oplysninger om undersøgelser på transformerstationer. Det kan ikke udelukkes, at der i forbindelse med undersøgelser på andre virksomhedstyper er foretaget undersøgelser af transformere, men sådanne resultater fremgår ikke af databasen.

Datagrundlaget for en erfaringsopsamling er derfor begrænset og baserer sig på undersøgelser udført i Københavns, Frederiksborg og Vestsjællands amter /32/. Alle de undersøgte lokaliteter ligger i forsyningsområderne NESA og NVE, og resultaterne kan derfor ikke ukritisk anvendes for alle transformere i Danmark, jf. afsnit 4.3.2, men kun give en indikation af forureningsniveauet ved de typer af transformere, der er undersøgt.

Der er udført 13 forureningsundersøgelser ved hovedtransformerstationer i Københavns Amt, hvor transformeren er primæraktiviteten.



Der er udført 10 undersøgelser i Frederiksborg og Vestsjællands amter ved sekundære transformere, der alle er placeret på lokaliteter med andre potentielle forureningskilder, som jernstøberi, træ- og møbelfabrik, galvaniseringsvirksomhed, trykkeri, sæbefabrik, landbrug med deponering, detailsalg og korn- og foderstofvirksomhed.

På de 23 ejendomme er der udført undersøgelser ved selve transformeren/erne. I tabel 6.3 er det angivet, om der ved undersøgelserne er konstateret forurening eller spor af forurening. Spor af forurening er defineret som indhold over analysemetodens detektionsgrænse, men under Miljøstyrelsens kvalitetskriterier /61/.

Transformertype	Antal undersøgelser	Forurening	Spor af forurening	Spor eller forurening
Hovedtransformerstation	13	13 (100%)	-	13 (100%)
Sekundær transformere	10	3 <sup>1</sup> (30%)	7 (70%)	10 (100%)

<sup>1</sup> I alle tre tilfælde er prøven udtaget meget tæt på andre potentielle forureningskilder, hvorfor det kan ikke afvises, at der er en anden kilde til forureningen /32/.

**Tabel 6.3** Forureningshyppighed ved undersøgte typer af transformerstationer /32/.

På trods af det lille erfaringsgrundlag fremgår det af tabel 6.3, at der ved alle de undersøgte hovedtransformerstationer er konstateret forurening, hvorfor det vurderes, at der generelt er stor risiko for at træffe forurening. Der er ved de sekundære transformere i mindre grad truffet forurening. Der er dog også ved alle sekundære transformere konstateret enten forurening eller spor af forurening. På lokaliteter, hvor der er konstateret forurening ved sekundære transformere kan det dog ikke i alle tilfælde entydigt afklares om forureningerne stammer fra transformeren eller andre potentielle forureningskilder, der ikke knytter sig til transformeren.

De udførte undersøgelser har ikke været rettet direkte mod de specifikke potentielle forureningskilder, der er udpeget i forbindelse med transformere i kapitel 4 og 5. De undersøgelser, der er udført ved transformerne, opsummeret i tabel 6.3, kan anvendes som indikation for hyppigheden af konstateret forurening ved de enkelte transformertyper, men der skal gøres opmærksom på at alle de undersøgte lokaliteter ligger inden for NESA's og NVE's forsyningsområder.

Det anbefales derfor, at der på baggrund af de historiske oplysninger for de enkelte transformere/transformerstationer tages stilling til, om der skal ske en undersøgelse af lokaliteten. For de lokaliteter, der skal undersøges, anbefales det, at alle relevante potentielle forureningskilder undersøges, indtil det kan be- eller afkræftes, om de enkelte potentielle forureningskilder generelt udgør et forureningsmæssigt problem.

I forbindelse med udvælgelsen af lokaliteter til undersøgelse anbefales det, at fokus lægges på hovedtransformerstationer (132/400 kV) og større sekundære transformere (10/60 kV) opført som friluftstransformerstationer, men også hovedtransformere og sekundære transformere opstillet i bygninger, da der i alle disse er store oliemængder (5.000-100.000 liter, jf. tabel 4.1). Mindre sekundære transformere (10kV/280V) anbefales kun undersøgt, såfremt der er konkrete oplysninger om uheld på lokaliteten.

På baggrund af de udpegede potentielle forureningskilder i kapitel 4 og 5 samt den hyppighed, hvormed der findes forurening ved transformertyperne, er der nedenfor givet en prioriteret liste over de forureningskilder, som bør undersøges på lokaliteter, hvor der er eller har været transformere. Det skal dertil bemærkes, at listen er udarbejdet ud fra et meget spinkelt erfaringsgrundlag. Derfor skal listen i hvert enkelt tilfælde vurderes sammen med de konkrete forhold på lokaliteten.

Forureningskilder, som ***altid bør medtages*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Hovedtransformere (132/400 kV) og sekundær transformere (10/60 kV)
- Oliegruber
- Udendørs placerede olieafbrydere.
- Udendørs områder, hvor der har foregået affedtning
- Områder, hvor der håndteres pesticider på friluftstransformerstationer.

Forureningskilder, som ***anbefales medtaget*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Affedtning af indendørs placerede transformere
- Kviksølvrensere
- Kondensatorer.

Forureningskilder, som ***i specielle tilfælde kan medtages*** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Udendørsområder, hvor der er foregået ukrudtsbekæmpelse med pesticider
- Indendørs placerede olieafbrydere.

Ved de tekniske undersøgelser på de 23 ejendomme er der foretaget analyser og konstateret koncentrationsniveauer i de tre medier jord, grundvand og poreluft, som angivet i tabel 6.4.

Komponent	Jord (mg/kg TS)		Vand (µg/L)		Poreluft (µg/m <sup>3</sup> )	
	Interval for konc.	Antal analyser*	Interval for konc.	Antal analyser*	Interval for konc.	Antal analyser*
<b>Blandingsprodukter</b>						
Total kulbrinter	400	1/1	6,2-18.100	11/9	-	-
<b>Polychlorerede Biphenyler (PCB)</b>						
PCB (total)	0	2/0	-	-	-	-
<b>Chlorerede opløsningsmidler</b>						
Chlorerede opløsningsmidler (total)	-	-	0,34-466	11/11	3,8-8.300	13/13
TCA	-	-	-	-	0,22-22	10/9
TCE	-	-	-	-	0,17-41	10/5
PCE	-	-	-	-	0,7-45	10/6
Chloroform (trichlormethan)	-	-	-	-	0,88-16	10/8
Tetrachlormethan	-	-	-	-	0,15-3,0	10/8

\* Antallet af analyser før skråstregen er det totalt antal udførte. Efter skråstregen er anført det antal undersøgelser, hvor indholdet overskrider detektionsgrænsen.

**Tabel 6.4** Koncentrationsniveauer i undersøgelser på 23 lokaliteter med hovedtransformere eller sekundær transformere /32/.

Som det fremgår af tabel 6.4, er der i analyser i forbindelse med de tekniske undersøgelser lagt vægt på olieprodukter og chlorerede opløsningsmidler. I enkelte tilfælde er der analyseret for PCB.

*Blandingsprodukter:* Der er i over 70 % af de udførte analyser for vand konstateret totalkulbrinter over Miljøstyrelsens kvalitetskriterier. Det er ikke på baggrund af undersøgelserne mulig at afklare, om forureningerne kan skyldes lækage fra transformere, spild i forbindelse med påfyldning af transformere eller spild ved anvendelse af organiske opløsningsmidler som affedtningsmiddel.

*Chlorerede opløsningsmidler:* Der er ved alle undersøgelser udført på hovedtransformerstationer konstateret chlorerede opløsningsmidler i både vand og poreluft, der overskrider Miljøstyrelsens kvalitetskriterier. På 30 % af de sekundære transformere er der konstateret indhold af enten PCE eller TCE i poreluften, der overskrider Miljøstyrelsens kvalitetskriterier. Det må forventes, at de chlorerede opløsningsmidler på de undersøgte hovedtransformerstationer skyldes tilledning til jord i forbindelse med affedtning, mens det ikke entydigt

kan afgøres for de sekundære transformerstationer. Da der på alle hovedtransformerstationer er fundet forurening med chlorerede opløsningsmidler, hvor der foreligger oplysninger om, at chlorerede opløsningsmidler er anvendt til affedtning, må det forventes, at anvendelse af f.eks. organiske affedningsmidler ligeledes udgør en stor risiko for forurening.

For en del af stofferne, nævnt i kapitel 4 og 5, som pesticider, kviksølv, PCB og chlorbenzener, er der ikke tidligere udført undersøgelser, der kan anvendes til en erfaringsopsamling. I forbindelse transformerstationer er der udført to analyser for PCB i jord, hvor der ikke er konstateret indhold over detektionsgrænsen. Det vides dog ikke, om det inden udførelse af analyserne er undersøgt, om der på transformerstationerne har været anvendt PCB-holdig transformerolie eller om analyserne er udført nær kondensatorer. Endvidere er kilder omkring håndtering af pesticider og håndtering af kviksølv i forbindelse med ensrettere ikke belyst i de udførte undersøgelser.

Der er således endnu ikke noget erfaringsgrundlag vedrørende forureningsrisikoen for disse kilder. Det anbefales derfor, at der på baggrund af de historiske oplysninger om de enkelte transformere, der skal undersøges, foretages relevante analyser ved disse kilder, indtil det kan afgøres, i hvilken udstrækning disse kilder udgør et problem for mennesker og miljø.

På basis af ovennævnte er der givet en prioriteret liste over forurenende stoffer, som der bør analyseres for på lokaliteter, hvor der har været transformere. Listen bør dog i hvert enkelt tilfælde vurderes sammen med de konkrete forhold på lokaliteten, herunder konkrete oplysninger om anvendte stoffer.

Forurenende stoffer, som der **altid bør analyseres for** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Kulbrinter, herunder BTEX
- Chlorerede opløsningsmidler.

Forurenende stoffer, som der **anbefales analyseret for** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Pesticider.

Forurenende stoffer, som der **i specielle tilfælde analyseres for** i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2:

- Kviksølv
- Chlorbenzener
- PCB.

Det anbefales, at der altid undersøges for chlorerede opløsningsmidler ved fri-lufttransformerstationer og større sekundære transformere (10/60 kV), såfremt

der i forbindelse med den historiske redegørelse eller tidligere undersøgelser af transformere i forsyningsområdet er fremskaffet oplysninger om anvendelse af chlorerede opløsningsmidler til affedtning i det pågældende forsyningsområde.

På nuværende tidspunkt foreligger der ikke et erfaringsgrundlag vedrørende forureningsrisikoen for håndtering af pesticider på friluftstransformerstationer. Det anbefales derfor, at der på baggrund af de historiske oplysninger om pesticidhåndteringen i de enkelte forsyningselskaber samt på de enkelte lokaliteter, der skal undersøges, foretages relevante analyser for pesticider, indtil det kan afgøres, i hvilken udstrækning disse kilder udgør et forureningsproblem.

### **6.3. Kortlægningsundersøgelser frem til vidensniveau 2**

I det følgende er de enkelte elementer i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2 beskrevet nærmere.

Undersøgelserprogrammet er opdelt i et standardprogram og et supplementprogram, hvor standardprogrammet for el-/kraftværker gennemgås i afsnit 6.3.1 og standardprogrammet for transformere i afsnit 6.3.2. Supplementprogrammet for både el-/kraftværker og transformere er samlet i afsnit 6.3.3.

Standardprogrammet indeholder de elementer, som altid anbefales medtaget i en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2. Her forudsættes det, at der er gennemført en detaljeret historisk kortlægning med lokalisering af de vigtigste forureningskilder.

Hvis historikken er sparsomt belyst, eller der er mistanke om tilstedeværelse af større forureningskilder, hvis lokalisering er ukendt, kan standardprogrammet udvides med et eller flere elementer fra supplementprogrammet.

#### **6.3.1. Undersøgelsesmetoder for el-/kraftværker**

Standardprogrammet for el-/kraftværker anbefales at indeholde:

- Udførelse af boringer (korte indtil 1 m.u.t. og dybere indtil minimum 3-4 m.u.t.) og udtagning af jordprøver i udendørs områder omkring el-/kraftværksbygningen, ved nedgravet affald eller deponier og ved spild. Ligeledes udtages jordprøver ved nedgravede tanke, stander- og påfyldningspladser, olieudskillere, afløbssystemer og sandfang samt ved udendørs oplag af kul og affaldsprodukter.
- Ved tilstedeværelse af terrænnære grundvandsmagasiner udføres filtersatte boringer med henblik på vandprøvetagning. Filtersatte boringer placeres ved større forureningskilder, som f.eks. olieudskillere, områder med oplag samt ved nedgravede tanke eller nedstrøms disse.

I det følgende er undersøgelsesmetoderne gennemgået nærmere.

## **Boringer**

Udførelse af boringer og udtagning af jordprøver er detaljeret beskrevet i Miljøstyrelsens prøvetagningsvejledning /62/. Boringerne føres minimum til bund af fyldlag eller til bund af kloakker, nedgravede tanke mv. Boringer indtil ca. 1 m.u.t. er velegnede til undersøgelse af overfladenær og evt. diffus forurening, mens boringer på minimum 3-4 m.u.t. er velegnede til undersøgelse af koncentrerede forureningskilder og til undersøgelse af grundvandsforurening.

Under borearbejdet udarbejdes der feltjournal med angivelse af:

- Prøvetagningsdybder
- Jordartsbeskrivelse, forureningsbedømmelse, laggrænser og boreddybder
- Jordens fugtighed med henblik på forventet beliggenhed af grundvandspejl
- Filtersætning, afpropning, retablering og vandspejlsobservationer.

Det anbefales, at der altid etableres én eller flere filtersatte boringer, f.eks. ved nedgravede tanke.

Det anbefales endvidere, at der ved el-/kraftværker med akkumulatører altid udføres korte boringer til undersøgelse af overfladenær forurening med metaller (især bly), da dette er forureningskomponenter, der ofte konstateres i forbindelse med el-/kraftværker.

Supplementprogrammet kan omfatte gravninger, TV-inspektion og lokalisering af nedgravede tanke og rørføringer ved geofysiske opmålinger, jf. afsnit 6.3.3. Såfremt der er mistanke om værkstedsaktiviteter, bør der udtages poreluftprøver ved forureningskilder, hvor der er mistanke om spild af organiske opløsningsmidler, herunder chlorerede opløsningsmidler og eventuelt ved utætheder i afløbssystemet.

### **6.3.2. Undersøgelsesmetoder for transformere**

Standardprogrammet for transformere anbefales at indeholde:

- Udførelse af boringer (korte indtil 1 m.u.t. og dybere indtil minimum 3-4 m.u.t.) og udtagning af jordprøver ved transformere, oliegruber og udendørs placerede olieafbrydere samt i udendørs områder, hvor der er foregået affedtning.
- Ved tilstedeværelse af terrænnære grundvandsmagasiner udføres der filtersatte boringer med henblik på vandprøvetagning. Filtersatte boringer placeres ved større forureningskilder, som f.eks. ved transformere, og hvor der er foregået affedtning eller nedstrøms disse.
- Etablering af prøvetagningssteder til poreluftmåling samt udtagning af poreluftprøver, primært ved forureningskilder, hvor der er mistanke om spild af opløsningsmidler, herunder chlorerede opløsningsmidler. Dette kan f.eks. være i områder, hvor der er foregået affedtning og i oliegruber.

I det følgende er undersøgelsesmetoderne gennemgået nærmere.

### **Boringer**

Udførelse af boringer og udtagning af jordprøver er detaljeret beskrevet i Miljøstyrelsens prøvetagningsvejledning /62/. Boringerne føres minimum til bund af fyldlag eller til bund af kloakker, nedgravede tanke mv. Boringer indtil ca. 1 m.u.t. er velegnede til undersøgelse af overfladenær og evt. diffus forurening, mens boringer på minimum 3-4 m.u.t. er velegnede til undersøgelse af koncentrerede forureningskilder og til undersøgelse af grundvandsforurening.

Under borearbejdet udarbejdes der feltjournal med angivelse af:

- Prøvetagningsdybder
- Jordartsbeskrivelse, forureningsbedømmelse, laggrænser og boreddybder
- Jordens fugtighed med henblik på forventet beliggenhed af grundvandspejl
- Filtersætning, afpropning, retablering og vandspejlsobservationer.

Det anbefales, at der altid etableres minimum én filtersat boring ved transformere og i områder, hvor der er foregået affedtning.

### **Poreluftmålinger**

For flygtige forbindelser, som f.eks. opløsningsmidler, herunder aromatiske kulbrinter og chlorerede kulbrinter (især TCE og PCE), der forventes at kunne konstateres i forbindelse med henholdsvis el-/kraftværker og transformere, vil en væsentlig del af forureningen forekomme på dampform. Derfor anbefales det at udføre poreluftmålinger som en del af standardprogrammet, hvis disse midler er anvendt på lokaliteten.

Etablering af prøvesteder til poreluftmåling samt udtagning af poreluftprøver er nærmere beskrevet i /63/.

Det anbefales, at der altid udføres poreluftmålinger ved transformere og i områder, hvor der er forekommet affedtning. Hvis der i tilknytning til transformeren er en oliegrube, kan oliegruben medføre en hurtig vertikal transport af affedtningmidler. Såfremt poreluften udtages tæt på terræn ved sådanne oliegruber, er der erfaringsmæssigt risiko for, at poreluftprøven ikke afspejler den reelle forureningssituation /32/. Hvis poreluftmålingen derfor ikke kan etableres i niveau med bunden af gruben, bør poreluftmålingen suppleres med en filtersat boring.

Poreluftmålinger er desuden velegnede til screening af især udendørs arealer for flygtigt stoffer, hvis det eksempelvis ikke er muligt at fastlægge, hvor affedtning i forbindelse med transformere er foregået. Ud fra resultaterne af poreluftmålingerne kan boringerne efterfølgende placeres.

Resultatet af poreluftmålinger er imidlertid påvirket af jordens permeabilitet, hvilket f.eks. betyder, at en kompakt moræneler er mindre velegnet til poreluftundersøgelser, især som screeningsmetode.

### **6.3.3. Supplementprogram til undersøgelsesmetoder**

Som en del af supplementprogrammet kan følgende undersøgelsesmetoder anbefales:

#### **Gravninger**

Hvis der har været oplag eller er overfladenære affaldsdeponeringer, kan det overvejes at supplere borearbejdet med gravninger.

Ved udtagning af helt terrænnære jordprøver kan borerne erstattes af gravninger. Gravninger udføres normalt med rendegraver eller lignende. Udgravning med maskine giver et godt overblik over lagfølgen og forureningens rummelige variation langs gravefronten, hvilket har betydning ved vurdering af en evt. affaldsdeponering.

I felten optegnes profiler med beskrivelse af det gennemgravede affald og fyld. Herudover er det en god ide at fotografere graveprofilen og det opgravede fyld.

Det skal dog bemærkes, at prøvegravninger kan blive omkostningskrævende, hvis der ikke inden opgravningen foreligger accept om tilbagefyldning af evt. forurenet jord efter endt gravning.

#### **TV-inspektion og tæthedsprøvning**

Risiko for udsivning fra et defekt kloaksystem til den omkringliggende jord og evt. terrænnært grundvand kan vurderes ved gennemførelse af TV-inspektion. Under TV-inspektionen trækkes et kamera gennem kloaksystemet. Kameraet registrerer rørens tilstand og skader på rørene.

Ved korrosion mv., hvor der kan herske tvivl om, hvorvidt der kan ske en udsivning, kan TV-inspektionen suppleres med en tæthedsprøvning af en rørstrækning. Tæthedsprøvning kan endvidere med fordel foretages på olieudskillere. Tæthedsprøvning udføres typisk med vand eller luft.

Ud fra TV-inspektion eller tæthedsprøvning kan forureningskilder stammende fra udsivning fra kloaksystemet eller olieudskilleren lokaliseres.

#### **Lokalisering af nedgravede tanke og rørføringer**

Ved undersøgelser, der omfatter nedgravede tankanlæg, kan det tilgængelige kort- og informationsmateriale være mangelfuldt og unøjagtigt. I sådanne tilfælde kan der anvendes geofysiske metoder, som f.eks. målinger med protonmagnetometer eller metaldetektor.

Metoderne kan anvendes ved lokalisering af nedgravede tanke, tromler og rørinstallationer ned til 2-3 m.u.t.



#### 6.3.4. Placering af boringer

Da formålet med en kortlægningsundersøgelse frem til vidensniveau 2 er at påvise/afvise forurening på en ejendom, anbefales det i standardprogrammet at placere boringer i de områder, hvor den historiske kortlægning har lokaliseret potentielle forureningskilder.

Som supplement kan boringer og poreluftsonder placeres ud fra den nuværende eller fremtidige arealanvendelse eller ud fra statistiske overvejelser. Endelig kan boringer og poreluftsonder placeres ud fra TV-inspektion, tæthedsprøvning og geofysiske opmålinger. I det følgende er strategien for placeringen af boringer og poreluftsonder beskrevet nærmere.

Ved opstilling af en prøvetagnings- og analysestrategi er det vigtigt, at der foreligger en historisk kortlægning for området, således at potentielle forureningskilder og –komponenter er udpeget.

Ud fra den historiske kortlægning defineres der for hver potentiel forureningskilde mindst et prøvetagningsfelt. Et prøvetagningsfelt er et område, hvor der kan forventes sammenhængende eller ensartede forureningsforhold. Et prøvetagningsfelt kan f.eks. være:

- En punktkilde, f.eks. en olietank eller olieudskiller
- Et område, f.eks. et udendørs oplag eller et område med deponeret affald
- En diffus kilde, f.eks. en overfladenær forurening stammende fra udledning af røggas.

Hvis den historiske kortlægning har lokaliseret potentielle forureningskilder defineres disse kilder som prøvetagningsfelterne. Prøvetagningspunkterne placeres i prøvetagningsfelterne med henblik på at dokumentere eventuelle forureninger.

Er den historiske kortlægning mangelfuld, kan prøvetagningsfelterne defineres ud fra sårbarhed af den nuværende eller fremtidige arealanvendelse, f.eks. kan en køkkenhave defineres som et prøvetagningsfelt eller et areal, som fremover skal anvendes til parkeringsplads, kan defineres som et prøvetagningsfelt.

Som supplement til den historiske gennemgang kan forureningskilder stammende fra udsivning fra kloaksystemer og nedgravede olie- og kemikalietanke lokaliseres vha. TV-inspektion, tæthedsprøvning og geofysiske opmålinger.

Endelig kan der udføres en række poreluftmålinger til screening af området for flygtige stoffer. Ud fra resultaterne kan boringerne placeres.

Hvis der er kendskab til en potentiel forureningskilde i et prøvetagningsfelt, men placeringen af forureningskilden er ukendt, kan der anvendes statistiske

metoder til placering af prøvetagningspunkter. Prøvetagningspunkterne placeres da i et gitter over hele området.

En detaljeret gennemgang af prøvetagnings- og analysestrategier fremgår af /62/. Her beskrives i bilag 1, eksempel 1 og 2, relevante typer af prøvetagnings- og analysestrategier i orienterende forureningsundersøgelser (tekniske kortlægningsundersøgelser). Det anbefales generelt, at prøvetagningstætheden til lokalisering af ukendte forureningskilder ved tekniske kortlægningsundersøgelser begrænses til niveauet ”grov screening”.

### **6.3.5. Prøvetagningsmetoder**

Standardprogrammet anbefales at indeholde udtagning af jord- og poreluftprøver samt udtagning af vandprøver fra terrænnære grundvandsmagasiner. Supplementprogrammet kan omfatte udtagning af vandprøver fra større sekundære grundvandsmagasiner og fra primære grundvandsmagasiner. I det følgende er prøvetagningsmetoderne beskrevet nærmere.

#### **Jord**

Ved spild og udendørs oplag af kul og afbrændingsprodukter kan udtagning af jordprøver fra terrænnære jordlag være ideelt i forhold til forureningskomponenter, der adsorberes kraftigt til jorden, f.eks. metaller og PAH'er.

Fra borer udtages typisk to jordprøver for hvert jordlag, dog minimum for hver halve boremeter, til beskrivelse af jordart, PID-måling og evt. kemisk analyse.

Jordprøver kan evt. blandes med henblik på at minimere analyseomkostningerne. Det anbefales, at der ikke blandes mere end fem delprøver. Blanding af prøver er velegnet til prøvetagning for metaller, men må aldrig anvendes, hvor der skal analyseres for flygtige forureningskomponenter, pga. risiko for fordampningstab under blandingen.

Ved blanding af prøver bliver resultatet et gennemsnitsindhold af forureningen i jorden i det undersøgte område. Herved mistes informationer om, hvilke prøvetagningspunkter, der indeholder høje eller lave koncentrationer. Til gengæld fås et billede af den generelle belastning af det undersøgte område.

Prøvetagningsmetode, emballering, håndtering og opbevaring af prøverne skal tilpasses forureningens art. Det er overordentlig vigtigt, specielt ved flygtige forureninger, at udtagne jordprøver emballeres i membranglas eller red-cap/duranglas med teflonlåg, hvor prøver kan ekstraheres direkte i glasset. Det er desuden vigtigt, at plastmaterialer i prøveemballagen ikke kan afgive enkeltkomponenter (f.eks. phthalater) til jordprøven. Derfor frarådes generelt pakninger af plast/gummi i prøveglas. Prøver til analyse for flygtige, organiske forureninger skal håndteres så lidt som muligt og skal opbevares mørkt og kø-

ligt i felten, under transport og under opbevaring i laboratoriet. Sådanne prøver bør analyseres inden for maksimalt 24 timer efter prøveudtagning /62/.

Mere detaljerede retningslinjer for udtagning af jordprøver og deres håndtering fremgår af /62/.

### **Grundvand**

I prøvetagningen indgår tre faser:

- Forpumpning
- Prøvetagning
- Prøveemballering, -håndtering og -opbevaring.

Ved *forpumpning* af højtydende boringer bør vandet passere en pH-, ilt- og ledningsevne måler. Når pH, iltindhold og ledningsevne bliver konstant, udtages vandprøven. På denne måde sikres det, at der udtages en vandprøve, der repræsenterer grundvandsmagasinet bedst muligt. Der skal dog som minimum forpumpes en vandmængde svarende til 10 gange vandmængden i filter og blindrør /64/.

Ved lavtydende boringer, hvor boringen tørpumpes inden forpumpningen er afsluttet, bør boringen tørpumpes 1-4 gange inden prøvetagningen /19/. I terrænnære grundvandsmagasiner er boringerne typisk lavtydende.

*Prøvetagningen* bør udføres i direkte forlængelse af forpumpningen. Filtre, pumpe-slanger og beholdere af blød plast (især PVC) skal undgås, da disse kan afgive blødgøringsmidler og opløsningsmidler. I stedet anbefales filtre og pumpe-slanger af PE-HD og prøvetagningsbeholdere af glas /64/.

Prøvetagningsmetode, *emballering, håndtering og opbevaring* af prøverne skal tilpasses forureningens art. Det er derfor overordentlig vigtigt, specielt ved flygtige, organiske forureninger, at vandprøven ikke sprøjtes ned i prøveemballagen, da der herved kan forekomme en betydelig stripping af flygtige stoffer fra prøven. De udtagne vandprøver emballeres i glasflasker med teflonlåg og opbevares mørkt og køligt i felten, under transport og under opbevaring i laboratoriet for at minimere fordampningsrisikoen /64/.

Mere detaljerede retningslinjer for udtagning af vandprøver og deres håndtering er nærmere beskrevet i /64/.

### **Poreluft**

Når der skal foretages en vurdering af afgangning til udeluften bør målingerne tages tæt på jordoverfladen, dog ikke tættere end 0,5 m.u.t. Ved prøvetagning til brug for indeklimavurderinger bør prøven udtages umiddelbart under gulvniveau /64/.

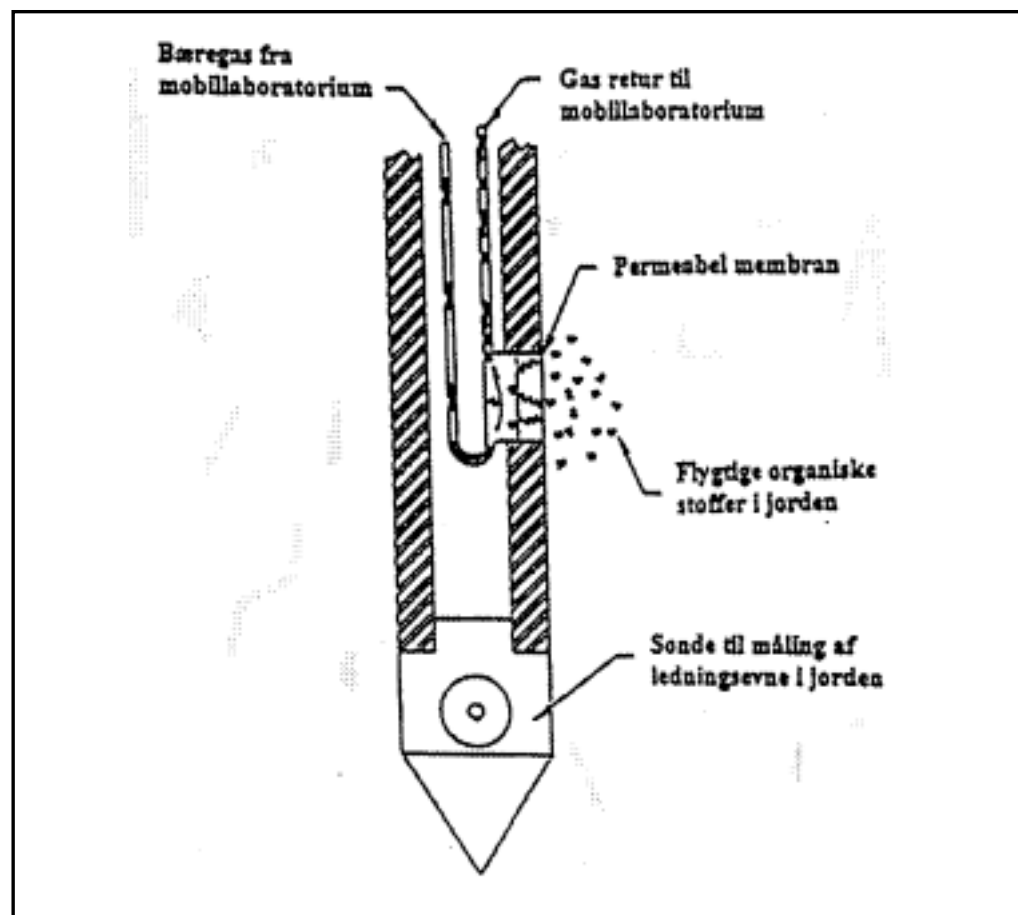
Til oppumpning af luft anvendes fra korte sonder en vakuumpumpe. Poreluftprøven kan udtages på flere måder.

Der kan f.eks. udtages en poreluftprøve via et udtag i slangen, som umiddelbart herefter manuelt injiceres i en transportabel gaschromatograf.

Ved anvendelse af maskindrevet udstyr transporteres de flygtige komponenter fra sonden via en bæregas til analyse i et mobilt laboratorium, hvor der kan gennemføres kontinuerte målinger med PID-, FID- og EDC-detektorer. Principskitse for prøvetagningen med maskindrevet udstyr fremgår af figur 6.1.

Som alternativ til analyse i mobillaboratorium kan poreluftprøver udtages på kulrør og lignende til senere analyse i stationært laboratorium. Herved kan der opnås bedre detektionsgrænser og anvendes akkrediterede analysemetoder.

Mere detaljerede retningslinjer for udtagning af poreluftprøver og deres håndtering fremgår af /63/.



**Figur 6.1** Principskitse for poreluftprøvetagning med maskindrevet udstyr.

### 6.3.6. Feltanalyser

Ved feltanalyser forstås analysemetoder af mindre kompleksitet, som er egnede til anvendelse i felten. De fleste feltanalyser er mindre nøjagtige og mindre præcise end laboratorieanalyserne, jf. afsnit 6.3.7, men er hurtigere og giver en respons for flere stoffer ved samme analyse. Feltanalyser anvendes af økonomiske og tidsmæssige årsager til sikring af et tilstrækkeligt analysegrundlag for lavere omkostninger, således at der udvælges relevante prøver til laboratorieanalyser, og der analyseres for relevante parametre. Herudover kan feltanalyser foretages samtidig med borearbejdet, således at placeringen af borerer løbende tilrettelægges ud fra resultaterne af feltanalyserne.

Hvis feltmetoden er stofs specifik, bør den som minimum have en detektionsgrænse, der svarer til det gældende kvalitetskriterium for det pågældende stof.

Følgende feltanalyser være aktuelle:

- PID/FID anvendes til vurdering af flygtige forbindelser i poreluften eller i headspacen over en jordprøve. Apparatus følsomhed afhænger af, hvilken type lampe detektoren er udstyret med. Metoden er ikke stofs specifik.
- GC/FID og GC/EDC anvendes typisk i mobile laboratorier og prøverne er enten poreluft, headspace over jordprøver eller jordprøver, der ekstraheres. Metoderne er semispecifikke og følsomme over for de fleste af de organiske forureninger, der kan forekomme på el-/kraftværker og transformere.
- Metalscreening med røntgenfluorescenceteknik (EDXRF). Metoden anvendes til at få en orientering om, hvorvidt jorden er forurenet med almindeligt forekommende metaller, og hvor stor en variation der kan forventes over undersøgelsesområdet.
- Jordprøver med høje koncentrationer af chlorerede opløsningsmidler eller olieprodukter kan ved udrystning med Sudan IV (hydrofob farvestof) give en farvereaktion. Metoden er ikke stofs specifik.
- Immunoassay er en teknik, hvor der anvendes antistoffer med høj affinitet for det forurenede stof. Koncentrationen måles via farveændring, fluorescens eller radioaktivitet.

Yderligere oplysninger om analyseprincipper for forskellige feltmetoder findes i /62, 65, 66/.

Standardprogrammet anbefales at indeholde en prøvebeskrivelse af samtlige jord- og vandprøver, der er udtaget i forbindelse med feltarbejdet. Den indledende prøvebeskrivelse bør omfatte:

- Registrering af observationer i felten, såsom misfarvning, fyldmateriale, geologiske aflejringer og lugt.
- Registrering af lugt, uklarheder, oliefilm og lignende i oppumpet vand.
- Screening af jordprøver i felten og/eller i laboratorium for flygtige ioniserbare forbindelser ved PID/FID.

Supplementprogrammet kan indeholde feltanalyser med PID/FID-detektor på poreluftprøver. Det kan desuden overvejes at screene et større antal jordprøver i felten for indhold af metaller med røntgenfluorescenceteknik (EDXRF) samt for indhold af høje jordkoncentrationer af chlorerede opløsningsmidler med Sudan IV farvetest.

I tabel 6.5 er feltmetoderne sammenfattet med angivelse af analysemetoder, parametre og vejledende detektionsgrænser /62/.

Analyseteknik	Analysemetoder	Parametre	Vejl. detektionsgrænser
Direkte måling på poreluftprøver eller headspace over jordprøver	PID/FID	Benzin Terpentin Diesel/fyringsolie Chlorerede kulbrinter	1-10 mg/kg 1-10 mg/kg 20-100 mg/kg 0,02 mg/kg
Direkte måling på poreluftprøver eller headspace over jordprøver eller indirekte måling på jordprøver efter ekstraktion	GC/FID og GC/EDC	Benzin Dieselolie Tung olie BTEX Chlorerede kulbrinter	1 mg/kg 5 mg/kg 25 mg/kg 0,05-0,2 mg/kg 0,001-0,05 mg/kg
Direkte måling på jordprøver	Røntgenfluorescens (ECXRF)	Arsen Bly Cadmium Chrom Kobber Nikkel Zink	0-25 mg/kg 10-30 mg/kg ~30 mg/kg 70-160 mg/kg 15-50 mg/kg 0-80 mg/kg 15-80 mg/kg
Direkte måling på jordprøver	Farvetest med Sudan IV	Kulbrinter Chlorerede kulbrinter	1 mg/kg ~50 mg/kg
Direkte måling på jordprøver	Immunoassay	PCB Kviksølv Visse pesticider	~5 mg/kg 1-3 mg/kg Fra 0,5 mg/kg

**Tabel 6.5** Oversigt over feltanalyser.

### 6.3.7. Laboratorieanalyser for el-/kraftværker

Ved laboratorieanalyser forstås analyser udført på et analyselaboratorium, som er akkrediteret til at lave analyser af en kvalitet, der som udgangspunkt lever op til bl.a. følgende krav /62/:

- Detektionsgrænserne er 1/10 af de gældende kvalitetskriterier for jord, vand og poreluft (undtaget er detektionsgrænsen for C<sub>25</sub>-C<sub>35</sub>).
- Metodeusikkerheden er acceptabel (typisk 10-20 % standardafvigelse).

Der foreligger på nuværende tidspunkt (efteråret 2002) ikke gældende jordkvalitetskriterier for PCB, dioxin og chlorbenzener.

Standardprogrammet for el-/kraftværker anbefales at indeholde følgende akkrediterede laboratorieanalyser:

- Udvalgte jordprøver for:
  - totalindhold af kulbrinter, BTEX og PAH ved GC/FID og GC/MS
  - metaller ved ICP eller AAS.
- Grundvandsprøver for:
  - totalindhold af kulbrinter og BTEX ved GC/FID og GC/MS.

I det følgende er angivet forslag til laboratorieanalyseprogrammer.

Hvis den historiske gennemgang har afsløret specifik viden om f.eks. anvendelse af chlorerede opløsningsmidler i forbindelse med værkstedsaktiviteter, anbefales det at udvide analyseprogrammet, så det specifikt rettes mod de forureningskomponenter, der har været anvendt.

De anførte vejledende detektionsgrænseniveauer i jord, grundvand og poreluft er hentet fra gældende metodebeskrivelser og oplysninger fra et udvalg af danske analyselaboratorier i 2002.

#### **Analyseprogram for jordprøver**

Jordprøver fra lokaliteter, hvor der har været el-/kraftværker, anbefales analyseret efter programmet angivet i tabel 6.6. Analysemetoderne er nærmere beskrevet i /62/.

Analyseteknik	Analysemetoder	Parametre	Detektionsgrænser [mg/kg TS]
Indirekte måling på jordprøver efter ekstraktion	GC/FID <sup>1</sup> og GC/MS <sup>2</sup>	C6-C10	2,0 <sup>1</sup>
		C10-C25	5,0 <sup>1</sup>
		C25-C35	20,0 <sup>1</sup>
		BTEX	0,01 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		PAH	0,005 <sup>2</sup>
Indirekte måling på jordprøver efter ekstraktion	ICP <sup>3</sup> og AAS <sup>4</sup>	Bly	0,05 <sup>4</sup> /0,9 <sup>3</sup>
		Cadmium	0,01 <sup>4</sup> /0,05 <sup>3</sup>
		Chrom	0,03 <sup>4</sup> /0,2 <sup>3</sup>
		Kobber	0,05 <sup>4</sup> /0,5 <sup>3</sup>
		Nikkel	0,1 <sup>4</sup> /0,6 <sup>3</sup>
		Zink	0,01 <sup>4</sup> /1 <sup>3</sup>

**Tabel 6.6** Laboratorieanalyser for jordprøver.

Røntgenfluorescens (ECXRF) kan anvendes i forbindelse med ICP og AAS, hvis større områder omkring et oplag med kul- eller slagge samt områder, der kan være belastet med bly, ønskes undersøgt.

På baggrund af forhøjet PID-udslag, misfarvning, mislugt og/eller indhold af fremmedlegemer i jorden samt kendskab til de potentielle forureningskilder udvælges jordprøver til analyse.

Som supplement til standardprogrammet anbefales det at analysere jordprøver for kviksølv, hvis der foreligger oplysninger om uheld eller oplag i kviksølvensrettere/kviksølvholdige komponenter samt i specielle tilfælde dioxiner og PCB.

#### **Analyseprogram for vandprøver**

Vandprøver fra lokaliteter, hvor der har været el-/kraftværk, anbefales analyseret efter programmet angivet i tabel 6.7.

Som anført for jordprøver kan analyseprogrammet for vandprøver ligeledes reduceres eller udbygges afhængigt af, hvilke oplysninger der kan fremskaffes i den konkrete undersøgelse. Analysemetoderne er nærmere beskrevet i /62/.



Analyseteknik	Analysemetoder	Parametre	Detektionsgrænser [µg/L]
Indirekte måling på vandprøver efter ekstraktion	GC/FID <sup>1</sup> og GC/MS <sup>2</sup>	C6-C10	5 <sup>1</sup>
		C10-C25	9 <sup>1</sup>
		C25-C35	15 <sup>1</sup>
		Benzen	0,04 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		Toluen	0,04 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		Ethylbenzen	0,02 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		Xylener	0,02 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>

**Tabel 6.7** Laboratorieanalyser for vandprøver.

Som supplement til standardprogrammet anbefales det at analysere vandprøver for chlorerede opløsningsmidler, såfremt der er oplysninger om anvendelse på lokaliteten, f.eks. ved værkstedsaktiviteter samt for tungmetaller og PAH'er ved oplag af kul og slagger.

#### **Analyseprogram for poreluftprøver**

Analyser fra poreluftprøver i forbindelse med el-/kraftværker anbefales kun udført, såfremt der er oplysninger om anvendelse af organiske opløsningsmidler, herunder chlorerede opløsningsmidler på lokaliteten, f.eks. i forbindelse med værkstedsaktiviteter.

#### **6.3.8. Laboratorieanalyser for transformere**

Ved laboratorieanalyser forstås analyser udført på et analyselaboratorium, som er akkrediteret til at lave analyser af en kvalitet, der som udgangspunkt lever op til bl.a. følgende krav /62/:

- Detektionsgrænserne er 1/10 af de gældende kvalitetskriterier for jord, vand og poreluft (undtaget er detektionsgrænsen for C<sub>25</sub>-C<sub>35</sub>).
- Metodeusikkerheden er acceptabel (typisk 10-20 % standardafvigelse).

Der foreligger på nuværende tidspunkt (efteråret 2002) ikke gældende jordkvalitetskriterier for PCB og chlorbenzener.

Standardprogrammet for transformere anbefales at indeholde følgende akkrediterede laboratorieanalyser:

- Udvalgte jordprøver for:
  - totalindhold af kulbrinter og BTEX GC/FID og GC/MS.
- Grundvandsprøver for:
  - totalindhold af kulbrinter og BTEX ved GC/FID og GC/MS
  - chlorerede opløsningsmidler ved GC/EDC.

- Poreluftprøver for:
  - totalindhold af kulbrinter og BTEX ved GC/FID og GC/MS
  - chlorerede opløsningsmidler ved GC-EDC.

I det følgende er angivet forslag til laboratorieanalyseprogrammer.

Hvis den historiske gennemgang har givet specifik viden om, at der ikke er anvendt chlorerede opløsningsmidler til affedtning i forsyningsselskabet, anbefales det at indsnævre analyseprogrammet, så det specifikt rettes mod de forureningskomponenter, der har været anvendt.

De anførte vejledende detektionsgrænseniveauer i jord, grundvand og poreluft er hentet fra gældende metodebeskrivelser og oplysninger fra et udvalg af danske analyselaboratorier i 2002.

#### Analyseprogram for jordprøver

Jordprøver fra lokaliteter, hvor der har været transformere, anbefales analyseret efter programmet angivet i tabel 6.8. Analysemetoderne er nærmere beskrevet i /62/.

Analyseteknik	Analysemetoder	Parametre	Detektionsgrænser [mg/kg TS]
Indirekte måling på jordprøver efter ekstraktion	GC/FID <sup>1</sup> og GC/MS <sup>2</sup>	C6-C10	2,0 <sup>1</sup>
		C10-C25	5,0 <sup>1</sup>
		C25-C35	20,0 <sup>1</sup>
		BTEX	0,01 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>

**Tabel 6.8** Laboratorieanalyser for jordprøver.

En GC/FID screening af jordprøverne for totalindhold af kulbrinter vil endvidere kunne afsløre, om der er høje koncentrationer af chlorerede kulbrinter i prøverne eller indhold af PAH'er, men vil dog ikke kunne give den nøjagtige koncentration af disse.

Umiddelbart anbefales det kun at analysere jordprøver for chlorerede opløsningsmidler, hvis det ikke er muligt at filtersætte en boring til udtagelse af en vandprøve eller udføre en poreluftmåling.

På baggrund af forhøjet PID-udslag, misfarvning, mislugt og/eller indhold af fremmedlegemer i jorden samt kendskab til de potentielle forureningskilder udvælges jordprøver til analyse.

Som supplement til standardprogrammet anbefales det at analysere jordprøver for PCB og kviksølv.

### Analyseprogram for vandprøver

Vandprøver fra lokaliteter, hvor der har været transformere, anbefales analyseret efter programmet angivet i tabel 6.9.

Som anført for jordprøver kan analyseprogrammet for vandprøver ligeledes reduceres eller udbygges afhængigt af, hvilke oplysninger der kan fremskaffes i den konkrete undersøgelse. Analysemetoderne er nærmere beskrevet i /62/.

Analyseteknik	Analysemetoder	Parametre	Detektionsgrænser [µg/L]
Indirekte måling på vandprøver efter ekstraktion	GC/FID <sup>1</sup> og GC/MS <sup>2</sup>	C6-C10	5 <sup>1</sup>
		C10-C25	9 <sup>1</sup>
		C25-C35	15 <sup>1</sup>
		Benzen	0,04 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		Toluen	0,04 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		Ethylbenzen	0,02 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		Xylener	0,02 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
Indirekte måling på vandprøver efter ekstraktion	GC/MS og GC/EDC	Chloroform	0,05
		PCE	0,02-0,03
		TCA	0,02-0,05
		TCE	0,02-0,05
		Tetrachlormethan	0,02

**Tabel 6.9** Laboratorieanalyser for vandprøver.

Såfremt der er oplysninger om håndtering af pesticider på lokaliteten, bør vandprøver endvidere analyseres for udvalgte pesticider. Hvis der foreligger oplysninger om anvendelse af PCB-holdig transformerolie, kan vandprøver endvidere analyseres for chlorbenzener.

Såfremt der foreligger specifikke oplysninger om, at der ikke er anvendt chlorerede opløsningsmidler til affedtning på lokaliteten eller generelt i forsynings-selskabet, kan analyse for chlorerede opløsningsmidler undlades.

### Analyseprogram for poreluftprøver

Poreluftprøver fra lokaliteter, hvor der har været transformere anbefales analyseret efter programmet angivet i tabel 6.10.

Som anført for jord- og vandprøver kan analyseprogrammet for poreluftprøver ligeledes reduceres eller udbygges afhængigt af, hvilke oplysninger der kan fremskaffes i den konkrete undersøgelse. Analysemetoderne er nærmere beskrevet i /62/.

Det skal bemærkes, at detektionsgrænserne vil være afhængige af den mængde luft, der oppumpes.

Analyseteknik	Analysemetoder	Parametre	Deteksjonsgrænser [µg/rør]
Indirekte måling på absorptionsrør efter ekstraktion	GC/FID <sup>1</sup> og GC/MS <sup>2</sup>	Total kulbrinter	1-5 <sup>1</sup>
		Benzen	0,01 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		Toluen	0,01 <sup>2</sup> /0,2 <sup>1</sup>
		Ethylbenzen	0,01 <sup>2</sup> /0,1 <sup>1</sup>
		Xylener	0,01 <sup>2</sup> /0,5 <sup>1</sup>
Indirekte måling på absorptionsrør efter ekstraktion	GC/EDC	Chloroform	0,03
		PCE	0,01
		TCA	0,01
		TCE	0,01
		Tetrachlormethan	0,01

**Tabel 6.10** Laboratorieanalyser for poreluftprøver.



## 7. Afværgeteknikker

Hvis kortlægningsundersøgelsen frem til vidensniveau 2 og eventuelle mere omfattende undersøgelser leder frem til en risikovurdering, der viser, at forureningen udgør en risiko over for arealanvendelsen, grundvands- eller recipient-interesserne, skal der foretages afværgeforanstaltninger.

Inden projektet påbegyndes, foreslås det at orientere sig i Amternes Projekt-håndbog /5/. I projekthåndbogen er der samlet en lang række erfaringer med udbud og kontrahering af rådgivere og entreprenører.

I det følgende er der listet eksempler på afværgeforanstaltninger, der kan være aktuelle til sikring af arealanvendelse, herunder indeklimateknikker, samt grundvandsinteresser på lokaliteter, hvor der er eller har været autolakereri.

I bilag 6 er der for de enkelte afværgeteknikker angivet relevante kilder, hvor der kan findes uddybende beskrivelser mht. praktisk udførelse samt anvendelighed i forhold til forskellige stofgrupper og geologi.

### **Afværgeforanstaltninger til sikring af arealanvendelsen**

Nedenfor er nævnt eksempler på afværgeforanstaltninger til sikring af arealanvendelsen, herunder indeklimateknikker, som tager sigte på at fjerne eller afskære forureningen, så eksponeringen hindres eller mindskes.

- Afgravning
- Vakuumelekstraktion/-ventilering
- Bioventilering
- Passiv ventilering
- Termisk assisteret oprensning
- Phytooprensning
- Forsegling af forurening.

### **Afværgeforanstaltninger til sikring af grundvand og recipient**

Nedenfor er nævnt eksempler på afværgeforanstaltninger over for grundvand, som tager sigte på at reducere eller hindre spredningen af forureningen i grundvand og recipienter.

- Afværgepumpning
- Air-sparging
- In-well stripping
- Etablering af vertikale barrierer
- Frakturering.



## 8. Litteraturliste

- /1/ Elmuseet i Bjerringbro, museumsinspektør Jytte Thorndahl, pers. komm.
- /2/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1997: ”Branchebeskrivelse for varmeværker”. Amternes Videncenter for Jordforurening. Teknik og Administration nr. 11, 1997.
- /3/ Danmarks Statistiske Bibliotek, Danmarks Statistikbank, [www.statistikbanken.dk](http://www.statistikbanken.dk).
- /4/ Amternes Videncenter for Jordforurening 2002: ”Kortlægning af brancher, der anvender chlorerede opløsningsmidler”. Teknik og Administration nr. 4, 2002.
- /5/ Bekendtgørelse om godkendelse af listevirksomhed, nr. 646, 2001.
- /6/ Energistyrelsen: ”Produktion og forbrug af el”. Hjemmeside for Energistyrelsen, [www.ens.dk](http://www.ens.dk), 7/6-2002.
- /7/ ELFOR – Dansk eldistribution. Kort over elselskaber samt medlemsliste af ELFOR, Hjemmeside for ELFOR, [www.elfor.dk](http://www.elfor.dk), 2/10-2002.
- /8/ Dansk Energi. Årsberetninger 2000/2001 samt 2001/2002.
- /9/ Christian Øby Andersen, Viborg Elektricitetsværk (udleveret af Viborg Stiftsmuseum).
- /10/ Kristensen, W., K.E. Olsen: ”ELPRODUKTION – fra dampmaskine til atomkraft”. Institut for Miljø, Teknologi og Samfund, Roskilde Universitetscenter, 1981.
- /11/ Christensen, P.: ”Himmerlands Elektricitetsforsyning 1922-1972”. Udgivet af Himmerlands Elektricitetsforsyning i anledning af selskabets 50 års jubilæum, 1972.
- /12/ Dansk El-Forbund: ”75 år - Fremtidens el-tekniker” Dansk El-forbund afd. 24, 1993.
- /13/ Miljø- og Energiministeriet: ”Natur- og Miljøpolitisk redegørelse”, 1999.
- /14/ Dansk Energi: Branchestatistik: ”Forbrug af brændsel på kraftværker” 2001.



- /15/ Videncenter for Halm- og flisfyring: ”Træ til energiformål”. Hjemmeside for Videncenter for halm- og flisfyring, [www.videnscenter.dk](http://www.videnscenter.dk).
- /16/ Meyer, N., I., J. S. Nørgård, G. Galster og T. Guldbrandsen: ”Energi og Ressourser – for en bæredygtig fremtid”. Polyteknisk Forlag, 1994.
- /17/ Danmarks Statistik: ”Dansk Statistik Årsbøger”, 1920, 1930 og 1940.
- /18/ Danmarks Statistik: ”Statistisk tiårsoversigt”, 1948-1958, 1950-1960, 1970, 1980, 1990 og 2000.
- /19/ Maskinmestrenes Forening: ”Elproduktion i Danmark”. Teknisk information nr. 20, Maskinmestrenes Forening, 1986.
- /20/ Dahl, C., E., H. og V. Faaborg-Andersen: ”Elektricitetens Historie”. Alfred Jørgensens Forlag, 1940.
- /21/ Axelsen, A.H. og K. Jark: ”Stærkstrømsteknik IV – elværker, ledningsnet og transformerstationer”. H. Hagerups Forlag, 1972.
- /22/ Amagerværket, Miljøkoordinator Jens Jørgen Kristensen, pers. comm. samt materiale udleveret om Amagerværket.
- /23/ SEAS. ”Stignæsværket”. SEAS, 1972.
- /24/ Miljøstyrelsen: ”Mellemstore Kulfyrede anlæg – luftforureningsmæssige konsekvenser af kulfyring i mellemstore fyringsanlæg”. Miljøstyrelsen, 1982.
- /25/ Miljøstyrelsen: ”Renere teknologi på energiområdet”. Miljøprojekt nr. 138, 1990.
- /26/ Christensen, L. og K. Christiansen. ”Rensemuligheder for partikler, herunder fine partikler”. Reflab, Teknik, energi og miljø, 1999.
- /27/ Eltra, Jens Peter Kjærgård, pers. comm.
- /28/ Nordvestsjælland Energiforsyning (NVE), Niels Hansen, driftsafdelingen, pers. komm.
- /29/ Torben Holm og Klein, K., SEAS 75 år, SEAS A/S, 1987.
- /30/ Nordvestsjælland Energiforsyning (NVE), Ebbe Christensen, anlægsafdelingen, pers. komm.

- /31/ Wistoft, B., J. Thorndahl og F. Petersen: "Elektricitetens Aarhundrede, Dansk Elforsynings Historie", Bind 1 og 2. Danske Elværkers Forening 1991-92.
- /32/ Ringkøbing, Ribe, Viborg, Vestsjælland, København og Frederiksborg Amter, udleverede forureningsundersøgelser for elværker og transformerstationer, indsamlet af Dansk Miljørådgivning i forbindelse med udarbejdelse af nærværende branchebeskrivelse.
- /33/ Danske Elværkers Forening: "Kursusudvalg for Kraftværksteknikere: Overfladebehandling 1 (kursushæfte 16)", Danske Elværkers Forening, 1976.
- /34/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1997: "Branchebeskrivelse for metalforarbejdende virksomheder". Amternes Videncenter for Jordforurening. Teknik og Administration nr. 8, 1997.
- /35/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1999: Branchebeskrivelse for metalliseringsvirksomheder". Amternes Videncenter for Jordforurening. Teknik og Administration nr. 2, 1999.
- /36/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1997: "Branchebeskrivelse for autoværksteder". Amternes Videncenter for Jordforurening. Teknik og Administration nr. 4, 1997.
- /37/ Bekendtgørelse om affald, nr. 619, 2000.
- /38/ Danmarks Statistik: "Miljøstatistik", 1999.
- /39/ Miljøstyrelsen: "PCB i apparater i Danmark". Arbejdsrapport nr. 15 2000.
- /40/ Miljøstyrelsens: Affaldstyper – fortegnelse fra 1988 over transformatorer og kondensatorer indeholdende PCB. Hjemmeside for Miljøstyrelsen, [www.mst.dk](http://www.mst.dk), 15/10-02.
- /41/ Danske Elværkers Forening: "Electricity Supply in Denmark", 1993.
- /42/ Brønderslev og Oplands Elforsyning (BOE), Kabelmester Erik Dalsgård, pers. komm.
- /43/ Axelsen, A.H. og K. Jark: Stærkstrømsteknik I – Elektroteknik, 1975.
- /44/ Miljøstyrelsen: "Forbrug og emissioner af SF6 i elsektoren". Hjemmeside for Miljøstyrelsen [www.mst.dk](http://www.mst.dk), 24/7-02.

- /45/ Smith, P. M., P. Ølsgård, D. Glensvig og C. Buck: "Chlorerede opløsningsmidler på Hovedtransformerstationer". artikel i AVJ info nr. 4, 2002 .
- /46/ Nordvestsjælland's Energiforsyning (NVE), Kurt Jensen, driftsafdelingen, pers. komm.
- /47/ Amternes Videncenter for Jordforurening 2000: "Pesticidanvendelse i forskellige brancher". Amternes Videncenter for jordforurening. Teknik og Administration, 2000.
- /48/ Nordvestsjælland's Energiforsyning (NVE), Arne Larsen, driftsafdelingen, pers. komm.
- /49/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1998: "Branchebeskrivelse for aktiviteter med pesticidhåndtering og -anvendelse". Amternes Videncenter for jordforurening. Teknik og administration nr.5, 1998.
- /50/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1998: "Pesticider som punktkilder". Amternes Videncenter for jordforurening, 1998.
- /51/ Miljøstyrelsen 1996: "Kemisk stoffers opførsel i jord og grundvand: Bind 1 og 2". Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 20, 1996.
- /52/ Miljøstyrelsen 1996: "Chlorerede opløsningsmidler i den mættede zone". Miljøprojekt nr. 330, 1996.
- /53/ Miljøstyrelsen 1987: "Kviksølvreddegørelse". Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 5 1987.
- /54/ Helweg, Arne: "Kemiske stoffer i landjordmiljøer". Teknisk Forlag A/S, 1988.
- /55/ Miljøstyrelsen: "Oprydning på forurenede lokaliteter" Vejledning nr. 6, 1998.
- /56/ Arbejdstilsynet, , Grænseværdier for stoffer og materialer, AT-vejledning, 2000.
- /57/ Miljøstyrelsen: "Soil Quality Criteria for Selected Compounds". Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 83 1997.

- /58/ Jennifer Ickes et al., 2001: "Natural recovery of PCB-contaminated sediments at the Sangamo-Weston/Lake Hartwell superfund site", s. 231-236 i *Phytoremediation, Wetlands, and Sediments*, 6(5) af The Sixth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, Battelle Press, 2001. (Editors) Andrea Leeson, Eric A. Foote, M. Katherine Banks, and Victor S. Magar.
- /59/ Miljøstyrelsen 1998: "Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind". Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.
- /60/ Miljø- og Energiministeriet 1999: "Lov nr. 370 af 2. juni 1999 om forurenede jord".
- /61/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1997. Branchespecifikke udtræk fra databasen over amternes registreringsundersøgelser.
- /62/ Miljøstyrelsen 1998: "Prøvetagning og analyse af jord". Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 13, 1998.
- /63/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1998: "Håndbog for poreluftundersøgelser". Teknik og Administration nr. 3, 1998.
- /64/ Miljøstyrelsen 1998: "Oprydning på forurenede lokaliteter – Appendikser". Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 7, 1998.
- /65/ Miljøstyrelsen 1995: "Feltmetoder til forurenede jord". Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 18, 1995.
- /66/ Amternes Videncenter for Jordforurening 1999: "Sammenligning af testmetoder til jord". Tillæg til Orientering, november 1999. Tema-nummer om feltanalyser.
- /67/ Amternes Videncenter for Jordforurening 2001: "Amternes projekthåndbog nr. 1".
- /68/ Miljøstyrelsen 2002: "Projektkatalog". Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening.

# **Bilag 1**

## **Ordliste**

## Ordliste

**Akkumulator:** Enhed der kan oplagre og afgive elektricitet. Ved opladning af en akkumulator omdannes den elektriske energi til kemisk energi, der ved afladning igen kan omsættes til elektrisk energi.

**Brænder:** Enhed, hvor olie eller kulstøv blæses ind og antændes. Flere brændere er gerne fordelt ud over kedlen, hvilket giver en bedre opvarmning af vand til damp.

**Centrale kraftværker:** Større værker (gennemsnitlig kapacitet på over flere hundrede MW), der er basis for elforsyningsikkerheden i Danmark. Flere af værkerne har endvidere tilknyttet fjernvarmeproduktion (kraftvarmewærker), hvilket øger udnyttelsesgraden af det indfyrede brændsel.

**Decentrale kraftvarmewærker:** Mindre værker (gennemsnitlig med en kapacitet på ca. 10 MW), der er placeret i områder, hvor det er teknisk muligt at få afsat hele varmeproduktionen enten direkte til forbrugeren eller til et eksisterende varmeforsyningsnet. Den producerede elektricitet leveres til elforsyningsnettet.

**Elektrisk strøm:** Ordnet bevægelse af elektriske ladninger gennem en elektrisk leder. Man taler om *jævnstrøm*, hvis den retning de elektriske ladninger bevæger sig i er konstant og om *vekselstrøm*, hvis strømretningen varierer. Ved almindelige elektriske installationer i boliger anvendes næsten overalt vekselstrøm.

Elektrisk strøm beskrives af Ohms lov:

$U = R * I$ , hvor U er elektrisk spændingen målt i Volt (V).

I er strømstyrken målt i Ampere (A).

R er modstanden målt i Ohm ( $\Omega$ ).

Den energi, der afsættes i ledninger eller et apparat, kaldes *effekt* og afhænger af størrelsen af spændingen og strømmen:

$P = U * I$ , hvor P er effekten målt i Watt (W)

$W = J/s$ .

$P = R * I^2$

**Elektrode:** Elektrisk ledende metalstang eller –plade, der kan påtrykkes en elektrisk strøm. Elektrodepar består af en katode (negativ ladet elektrode) og en anode (positiv ladet elektrode).

**Elektrolyt:** Stof, der i vandig opløsning er elektrisk ledende. Ledningsevnen skyldes ioner i opløsningen. Syrer, baser og salte er eksempler på elektrolytter.

**Energi:** SI-enheden for energi er Joule (J). Den mængde energi et apparat bruger opgøres i Wh (oftest anvendes kWh).

**Ensretter:** Enhed, der omformer vekselstrøm til jævnstrøm. De mest udbredte ensrettere har været baseret på kviksølv (kviksølvbueensretter og kviksølvstråleensretter). Man udnytter, at kviksølv frigør elektroner under de rette forhold. Kviksølv virker i disse ensrettere som en positiv pol, hvorved vekselstrømmen kan ensrettes. I dag er ensrettere primært baseret på silicium.

**Generator:** Enhed, der genererer strøm. Generatoren består af en fast del (stator) og en roterende del (rotor). Rotoren er en elektromagnet og statoren en spole. Når rotoren drejes rundt af turbinen, skabes der en ændring i det magnetiske felt i elektromagneten, der bevirker at der induceres strøm i statoren (spolen).

**Hovedtransformer:** Transformer der nedtransformere elektrisk strøm fra det primære højspændingsnet (132- 400 kV) til det sekundære højspændingsnet (10 - 60 kV).

**Højspændning:** Elektrisk strøm med en spænding højere end 400 V.

**Isolatorer:** Ikke strømledende materiale, udført af eksempelvis porcelæn eller glas, der f.eks. anvendes til ophæng af strømførende ledninger på master. Isolatorerne forhindrer, at strømmen løber gennem den mast ledningerne er ophængt på.

**Kedel:** Forbrændingskammer, hvori der sker opvarmning af vand til damp. Alt efter hvad kedlen er dimensioneret til, fyres der med olie, kul eller naturgas.

**Kondensator (el):** Enhed der anvendes til fasekompensering. I kraftige motorer, transformere og lignende skabes en blindstrøm, hvis rytme er forskudt i forhold til vekselstrømmen i ledningsnettet. Via en kondensator kan blindstrømmen ophæves. Kondensatoren kan være opsat i forbindelse med motoren/transformeren eller hos forbrugeren.

**Kondensator (vand):** Enhed hvor damp bliver kølet ned og fortættet til vand.

**Lavspændning:** Elektrisk strøm med spænding på 400 V og derunder.

**Maskintransformer:** Den producerede spænding på et elværk/kraftværk er som regel lavere end spændingen på primærnettet ved distribution af elektrici-

teten. Maskintransformeren er tilknyttet elværket/kraftværket, og heri foregår der en optransformering af spændingen i til primærspændingsniveau for distributionsnettet.

**Netstation:** Se sekundær transformer.

**Omtransformering:** Proces, hvor spændingen enten op eller nedtransformeres til et andet spændingsniveau. Omtransformeringen sker ved at sende strømmen gennem en spole. Herved dannes et magnetfelt i spolen, der inducerer en strøm i en anden spole. Der gælder at spændingen er proportional med antallet af vindinger i spolerne, hvorfor man har mulighed for at op- eller nedtransformere strøm i en transformer ved at variere antallet af viklingerne i de to spoler.

**Omformer:** Enhed der via en motorgenerator kan omforme jævnstrøm til vekselstrøm eller omvendt. Til omformning af jævnstrøm til vekselstrøm anvendes en omformer bestående af en jævnstrømsmotor (der kan udnytte jævnstrøm), der er sammenkoblet med en vekselstrømsgenerator (der kan omsætte energien fra jævnstrømsmotoren til vekselstrøm). Der findes ligeledes omformere til omformning af vekselstrøm til jævnstrøm, der bygger på samme princip.

**Primært højspændingsnet:** Højspændingsnet med et spændingsniveau på 132-400 kV.

**Orimulsion:** Orimulsion består af en blanding af det olielignede stof bitumen og vand. Orimulsion udvindes i Venezuela og er anvendt til fyring i Danmark siden 1995. Visse typer af orimulsion indeholder nonylphenoethoxylat (NPE).

**Sekundært højspændingsnet:** Højspændingsnet med et spændingsniveau på 10-60 kV.

**Sekundær transformer (netstation):** Transformer, der nedtransformerer elektrisk strøm fra det sekundære højspændingsnet (10-60 kV) til lavspænding (220-400 V).

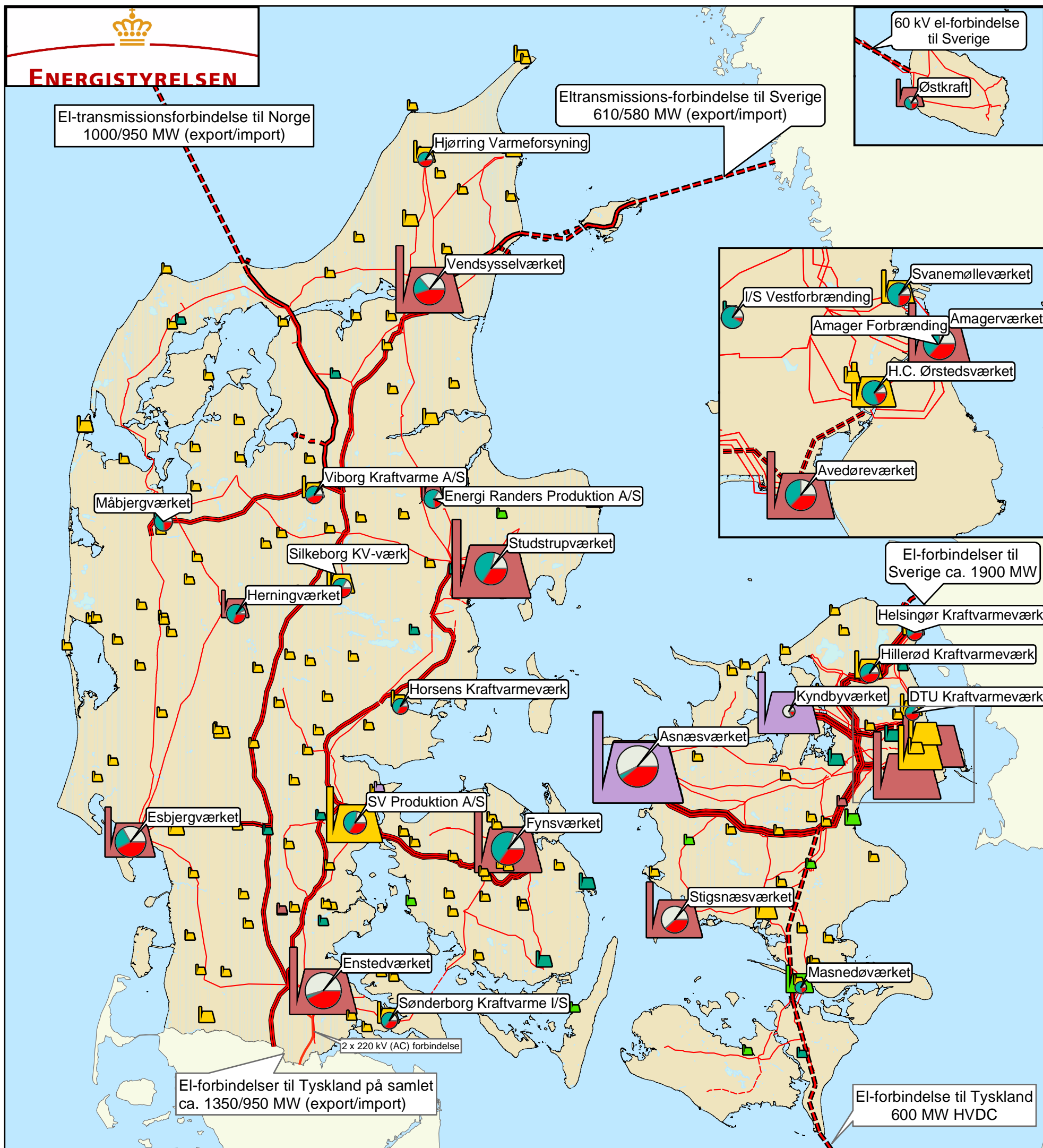
**Transformer:** Enhed, der omdanner elektrisk spænding fra et niveau til et andet.

**Turbine:** Består af en aksel med hjul og turbineskovle. Damp fra kedlen ledes under tryk ind i turbinen og får den til at rotere. Den roterende bevægelse overføres til generatoren, hvori strøm induceres.



## **Bilag 2**

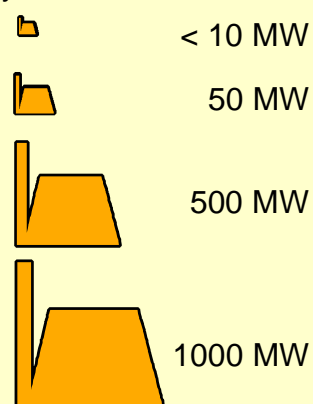
### **Kort over den geografiske fordeling af elselskaber og elforsyning**



## Symbol-forklaring

### El-værker med levering til net over 10 GWh i år 2000

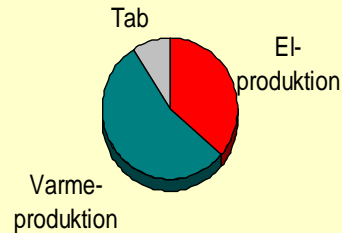
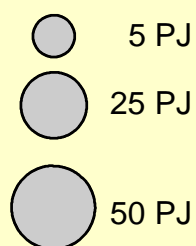
Symbolstørrelse viser el-kapacitet



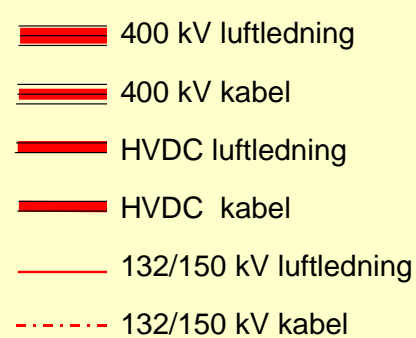
Symbol-farve viser hovedbrændsel



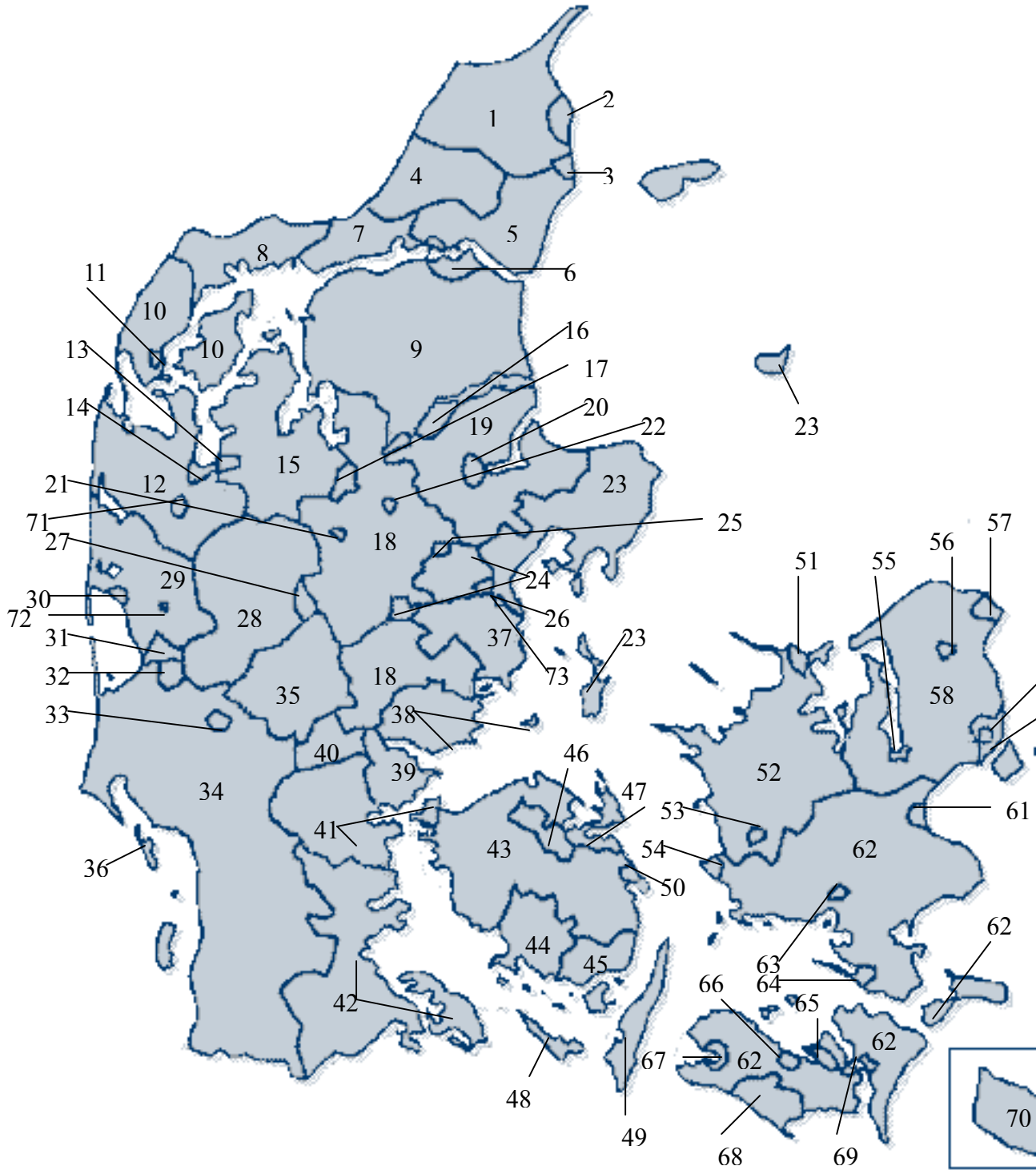
Cirkel-areal viser brutto-brændselsinput (cirkel-areal) og produktion af el og varme.



### El-transmissions-linier



## Oversigtkort over selskaber for distribution af elektricitet i Danmark



Liste over net- og forsyningspligtige selskaber samt transformerforeninger, der står for ca. 99 % af el-distribution i Danmark. Nummereringen henviser til overstående oversigtskort /2/.

1. Elforsyningen Nordvendsyssel (ENV)
2. Frederikshavns Forsyning
3. Sæby Kommunale Elforsyning
4. Brønderslev og Oplands Elforsyning (BOE)
5. Elforsyningen Sydvendsyssel (ESV)
6. AKE Net
7. Han Herred Elektricitetsforsyning (HHE)
8. Nordthy Strømforsyning
9. Himmerlands Elforsyning (HEF)
10. Morsø Elforsyning Net A/S; Thy Højspændingsværk Net A/S
11. Hurup Elværk
12. Nordvestjysk Elforsyning (NOE)
13. Vinderup Elforsyning
14. Struer Elforsyning Netselskab A/S
15. EnergiMidt forsyning
16. Energi Hobro Net
17. Viborg Elnet A/S
18. Energi Midt
19. ELRO Net A/S
20. Energi Randers
21. Kjellerup Elforsyning
22. Bjerringbro Elværk
23. NRGi Net A/S
24. Galten Elværk
25. Hammel Elforsyning
26. Brabrand Net A/S
27. Ikast El- & Varmeværk
28. EnergiGruppen Jylland A/S
29. Ringkøbing Ants Højspændingsforsyning (RAH)
30. Ringkøbing Kommunale Elværk

31. Skjern Kommunale Elværk
32. Tarm Elværk Net A/S
33. Grindsted El- og Varmeværk
34. Sydvest Energi
35. MES Net A/S
36. Esbjerg Kommune
37. Østjysk Energi
38. Energi Horsens Net A/S
39. TRE-FOR
40. VOS
41. KOE-EI A/S
42. Energiselskabet Sønderjylland, Energi Danmark (ESS)
43. Energi Fyn
44. Fåborg Elforsyning
45. SEF Net A/S
46. Odense Elforsyning Net A/S
47. NEF
48. Ærø Elforsyning Net A/S
49. LEF Net A/S
50. Nyborg Forsyning & Service A/S
51. Nykøbing Sjællands Kommunale Elforsyning
52. Nordvestsjælland Energiforsyning (NVE)
53. Slagelse Kommunale Elforsyning (SKE-NET)
54. Korsør Kommunale Værker
55. Roskilde Elforsyning
56. Hillerød Elforsyning
57. Helsingør Elforsyning
58. NESA
59. Frederiksberg Forsyning
60. Københavns Energi
61. Køge Kommunale El- Varme- og Antenneforsyning
62. SEAS Distribution

63. Næstved Elforsyning
64. Vordingborg
65. Sakskøbing
66. Maribo Elforsyning
67. Nakskov Kommunale Elværk
68. Rødby Kommunale Elværk
69. Nykøbing Falster Kommune, Elforsyning
70. Østkraft
71. Holstebro Kommunale Forsyning
72. Videbæk Energiforsyning
73. Viby Elværk

På Energistyrelsens hjemmeside ([www.ens.dk](http://www.ens.dk)) er der mulighed for at få oplysninger på kort om alle forsyningspligtige netselskaber (i alt 133) i Danmark. Der er mulighed for at søge oplysninger på basis af amt, kommune eller netselskaber. Der er endvidere mulighed for at placere nuværende centrale- og decentrale værker i amt/kommune på kortet. Af farvekoder fremgår det endvidere, hvad de enkelte værkers hovedbrændsel er.

*Der er to transmissionsselskaber i Danmark, der overordnet står for transmissionsnettet. Transmissionsselskaberne ejes af lokale netselskaber.*

*Transmissionsselskabet Eltra dækker Fyn og Jylland, mens Elkraft dækker Sjælland.*

*Referencer*

- /1/ Energistyrelsen 2002. Kort over elforsyning. udarbejdet af Energistyrelsen 16.05.2002.
- /2/ ELFOR – Dansk eldistribution. Kort over elselskaber samt medlemsliste af ELFOR, Hjemmeside for ELFOR, [www.elfor.dk](http://www.elfor.dk), 2/10-2002.

## **Bilag 3**

### **Billeder af forskellige transformere m.m.**





Stationsbygning



Stationsbygning



Stationsbygning



Transformertårn



Kiosk



Kiosk



Masttransformer



Masttransformer



Friluftstransformerstation (stor)



Friluftstransformerstation (mellem)



Friluftstransformerstation (mellem)



Friluftstransformerstation (lille)



Oliekølet transformere



Oliekølet transformere



Oliekølet transformere



Olieafbrydere og ledningsfordeler



Olieafbryder og beholder til efterfyldning af olie



Ledningsfordeler

## **Bilag 4**

### **Datablade**

I dette bilag findes datablade for følgende stoffer:

- Benz(a)pyren
- Benzen
- Bly
- Chlorbenzener
- Dibenz(a,h)anthracen
- Kviksølv
- Mineralsk terpentin
- Olie
- PCB
- Toluen
- Trichlorethylen
- Tetrachlorethylen
- Xylen

Databladene giver oplysninger om stoffernes kemiske formler, tilstandsformer, fysisk-kemiske egenskaber som molvægt, densitet, kogepunkt, vandopløselighed, damptryk og oktanol-vand fordelingskoefficient, hvor oplysningerne har været tilgængelige. Desuden er stofferne klassificeret ud fra "Listen over farlige stoffer" /4/, og hvor Miljøstyrelsen har opstillet et kvalitetskriterium er dette anført.

I slutningen af dette bilag er faresymboler og risikosætninger listet.

Navn	Benz(a)pyren	Enhed	Referencer
Synonym	Benzo(a)pyren		
CAS nr.	50-32-8		/1/
Kemisk formel	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		/2/
Tilstandsform			
Molvægt	252,3	g/mol	/2/
Densitet			
Kogepunkt	496	°C	/2/
Vandopløselighed	0,0038	mg/L	/2/
Damptryk	$7,3 \cdot 10^{-7}$	Pa	/3/
Oktanøl-vand fordelingsforhold (log)	6,5		/3/
Klassificering	T, Carc2, Mut2, Rep2, R45		/1, 4/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	0,1	mg/kg TS	/5/
Grundvand	-	µg/L	/5/
Afdampning i luft	-	µg/m <sup>3</sup>	/5/

Navn	Benzen	Enhed	Referencer
Synonym	Benzol		/6/
CAS nr.	71-43-2		/7/
Kemisk formel	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>		/6/
Tilstandsform	Klar, farveløs væske		/6/
Molvægt	78,11	g/mol	/6/
Densitet	0,8787	g/mL	/6/
Kogepunkt	80,1	°C	/6/
Vandopløselighed	1.780 (ved 20 °C)	mg/L	/3/
Damptryk	76 (ved 20 °C) 60 (ved 15 °C)	mm Hg	/3/
Oktanolvand fordelingsforhold (log)	2,13		/3/
Klassificering	Carc 1; R45, F; R11, T; R48/23/24/25		/4/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	1,5	mg/kg TS	/5/
Grundvand	1	µg/L	/5/
Afdampning i luft	0,125	µg/m <sup>3</sup>	/5/

Navn	Bly	Enhed	Referencer
Synonym			
CAS nr.	7439-92-1		/7/
Kemisk formel	Pb		/2/
Tilstandsform	Fast, sølvhvidt metal		/7/
Molvægt	207,2	g/mol	/2/
Densitet			
Kogepunkt	1740	°C	/2/
Vandopløselighed	Uopløseligt	mg/L	/2/
Damptryk	-		
Oktanolvand fordelingsforhold (log)	-		
Klassificering	Klassificeres generelt som sundhedsskadelig og reproduktions-skadende. Enkelte blyforbindelser er klassificeret som kræftfremkaldende		/1/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	40 <sup>a</sup> /400 <sup>b</sup>	mg/kg TS	/5/
Grundvand	1	µg/L	/5/
Afdampning i luft	-	µg/m <sup>3</sup>	/5/

<sup>a</sup> Kvalitetskriterium for jord /5/.

<sup>b</sup> Afskæringskriterium for jord /5/.



Navn	Chlorbenzener	Enhed	Referencer
Synonym	Chlorerede benzener, CB		
CAS nr.	MCB: 108-90-7 1,2-DCB: 95-50-1 1,3-DCB: 541-73-1 1,4-DCB: 106-46-7 1,2,3-TCB: 87-61-6 1,2,4-TCB: 120-82-1 1,3,5-TCB: 107-70-3 1,2,3,4-TeCB: 634-66-2 1,2,3,5-TeCB: 634-90-2 1,2,4,5-TeCB: 95-94-3 PeCB: 608-93-5 HCB: 118-74-1		/8/
Kemisk formel	$C_6H_{6-n}Cl_n$		/8/
Tilstandsform	MCB-TCB: farveløs væske TeCB-HCB: hvidt fast stof		/7/
Molvægt	112,6-284,8	g/mol	/7/
Densitet	1,1-2,0	g/mL	/7/
Kogepunkt*	130-332	°C	/7/
Vandopløselighed	0,005-500	mg/L	/8/
Damptryk	$1,1 \cdot 10^{-5}$ -11,85	mm Hg	/8/
Oktanolvand fordelingsforhold (log)	2,8-5,4		/7, 8/
Klassificering*	R10, R11 Xn; R20, R22 N;R51/53		/4/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	-	mg/kg TS	
Grundvand	-	µg/L	
Afdampning i luft	-	mg/m <sup>3</sup>	

\* HCB er endvidere klassificeret som Carc2; R45 og T; R48/25

Navn	Dibenz(a,h)anthracen	Enhed	Referencer
Synonym			
CAS nr.	53-70-3		/1/
Kemisk formel	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>		/2/
Tilstandsform			
Molvægt	278,4	g/mol	/2/
Densitet			
Kogepunkt	524	°C	/2/
Vandopløselighed	0,0005	mg/L	/2/
Damptryk	1,3 · 10 <sup>-8</sup>	Pa	/2/
Oktanolvand fordelingsforhold (log)	6,5		/2/
Klassificering	Carc, T:R45, R50/53		/1/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	0,1	mg/kg TS	/5/
Grundvand	-	µg/L	/5/
Afdampning i luft	-	µg/m <sup>3</sup>	/5/

Navn	Kviksølv	Enhed	Referencer
Synonym	Metallisk kviksølv		
CAS nr.	7439-97-6		/7/
Kemisk formel	Hg		/7/
Tilstandsform	Sølvagtig flydende væske		/7/
Molvægt	200,59	g/mol	/7/
Densitet	13,5	g/mL	/7/
Kogepunkt			
Vandopløselighed	$6 \cdot 10^{-6}$ (25°C)		/7/
Damptryk	$1,22 \cdot 10^{-3}$	mm Hg	/7/
Oktanøl-vand fordelingsforhold (log)	-		
Klassificering	T		/1/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	$1^a/3^b$	mg/kg TS	/5/
Grundvand	-		
Afdampning i luft*	-		

<sup>a</sup> Kvalitetskriterium for jord /5/.

<sup>b</sup> Afskæringskriterium for jord /5/.

Navn	Mineralsk terpentin	Enhed	Referencer
Synonym	-		
CAS nr.	8052-41-3		/4/
Kemisk formel	-		
Tilstandsform	Farveløs væske		/7/
Molvægt <sup>1</sup>	Gennemsnit ca. 150	g/mol	/9/
Densitet	0,78	g/mL	/7/
Kogepunkt	150-200	°C	/7/
Vandopløselighed	<0,1 wt%		/9/
Damptryk	4,4	mm Hg	/9/
Oktanolvand fordelingsforhold (log)	-		
Klassificering	Carc2; R45, R10, Xn; R48/20-65		/4/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	-	mg/kg TS	
Grundvand	-	µg/L	
Afdampning i luft*	0,1	mg/m <sup>3</sup>	/10/

<sup>1</sup>Mineralsk terpentin er en blanding af mættede alifatiske og cycloalifatiske C<sub>7</sub>-C<sub>12</sub> kulbrinter med et indhold på 15-20 % aromatiske C<sub>7</sub>-C<sub>12</sub> kulbrinter.

\* B-værdi

Navn	Olie	Enhed	Referencer
Synonym	Fyringsolie, fyringsgasolie, gasolie		
CAS nr.	64741-44-2		/7/
Kemisk formel	-		
Tilstandsform	Flydende		/7/
Molvægt	-	g/mol	
Densitet	0,85	g/mL	/7/
Kogepunkt	180-380	°C	/7/
Vandopløselighed	-	mg/L	
Damptryk	-	mm Hg	
Oktanøl-vand fordelingsforhold (log)			
Klassificering	Carc2, T: R45		/7/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	100	mg/kg TS	/5/
Grundvand	9	µg/L	/5/
Afdampning i luft	100	µg/m <sup>3</sup>	/5/

Navn	PCB	Enhed	Referencer
Synonym	Polychlorerede biphenyler		
CAS nr.	1336-36-3		/8/
Kemisk formel	C <sub>12</sub> H <sub>10-n</sub> Cl <sub>n</sub>		/8/
Tilstandsform	Gullig olielignende væske		/8/
Molvægt	188-494	g/mol	/8/
Densitet	-	g/mL	
Kogepunkt*	171-320	°C	/7/
Vandopløselighed	0,0013-6.000	lg/L	/8/
Damptryk	1·10 <sup>-7</sup> -6,5·10 <sup>-4</sup>	mm Hg	/7/
Oktanolvand fordelingsforhold (log)	4,5-8,3		/7, 8/
Klassificering	Xn; R33, N; R50/53		/4/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	-	mg/kg TS	
Grundvand	-	µg/L	
Afdampning i luft	-	mg/m <sup>3</sup>	

\* Oplyst for mono- og dichlorerede biphenyler

Navn	Toluen	Enhed	Referencer
Synonym	Methylbenzen		
CAS nr.	108-88-3		/7/
Kemisk formel	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>		/7/
Tilstandsform	Farveløs væske		/7/
Molvægt	92,1402	g/mol	/7/
Densitet	0,867	g/mL	/7/
Kogepunkt	110,6	°C	/7/
Vandopløselighed	526	mg/L	/7/
Damptryk	22	mm Hg	/7/
Oktanøl-vand fordelingsforhold (log)	-		
Klassificering			/4/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	Total BTEX: 10	mg/kg TS	/5/
Grundvand	5	µg/L	/5/
Afdampning i luft	0,4	mg/m <sup>3</sup>	/5/

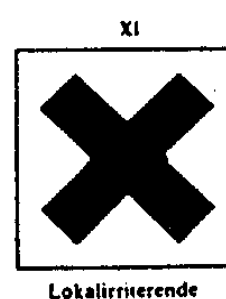
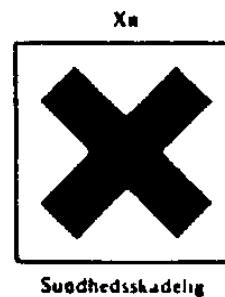
Navn	Trichlorethylen	Enhed	Referencer
Synonym	TCE		
CAS nr.	79-01-6		/7/
Kemisk formel	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>		/7/
Tilstandsform	Farveløs væske		/7/
Molvægt	131,39	g/mol	/7/
Densitet	1,462	g/mL	/7/
Kogepunkt	86,7	°C	/7/
Vandopløselighed	1.100 (25 °C)	mg/L	/7/
Damptryk	58	mm Hg	/7/
Oktanøl-vand fordelingsforhold (log)	2,29		/9/
Klassificering	Carc2;R45 Xi;R36/38 R67 Mut3;R68 R52/53		/4/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	5	mg/kg TS	/5/
Grundvand	1	µg/L	/5/
Afdampning i luft	1	µg/m <sup>3</sup>	/5/



Navn	Tetrachlorethylen	Enhed	Referencer
Synonym	PCE, Perchlor		/7/
CAS nr.	127-18-4		/7/
Kemisk formel	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>		/7/
Tilstandsform	Farveløs væske		/7/
Molvægt	165,8	g/mol	/7/
Densitet	1,623	g/mL	/7/
Kogepunkt	121,1	°C	/7/
Vandopløselighed	150 (25 °C)	mg/L	/7/
Damptryk	18,5	mm Hg	/7/
Oktanøl-vand fordelingsforhold (log)	3,4		/7/
Klassificering	Carc3;R45 Mut3;R68 R52/53		/1/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	5	mg/kg TS	/5/
Grundvand	1	µg/L	/5/
Afdampning i luft	6	µg/m <sup>3</sup>	/5/

Navn	Xylen	Enhed	Referencer
Synonym	Dimethylbenzen		/7/
CAS nr.	1330-20-7		/7/
Kemisk formel	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>		/6/
Tilstandsform	Farveløs væske		/6/
Molvægt	106,16	g/mol	/6/
Densitet	0,86	g/mL	/6/
Kogepunkt	137-140	°C	/6/
Vandopløselighed	Uopløselig; 175	mg/L	/7/
Damptryk	5,1	mm Hg	/7/
Oktanøl-vand fordelingsforhold (log)	2,77		/3/
Klassificering	R10 Xn;R20/21 Xi;R38		/4/
<b>Kvalitetskriterier</b>			
Jord	BTEX, total: 10	mg/kg TS	/5/
Grundvand	5	µg/L	/5/
Afdampning i luft	0,1	mg/m <sup>3</sup>	/5/

## FARESYMBOLER OG FAREBETEGNELSER



## R-SÆTNINGER

- R1 Eksplosiv i tør tilstand
- R2 Eksplosionsfarlig ved stød, gnidning, ild eller andre antændelseskilder
- R3 Meget eksplosionsfarlig ved stød, gnidning, ild eller andre antændelseskilder
- R4 Danner meget følsomme eksplosive metalforbindelser
- R5 Eksplosionsfarlig ved opvarmning
- R6 Eksplosiv ved og uden kontakt med luft
- R7 Kan forårsage brand
- R8 Brandfarlig ved kontakt med brandbare stoffer
- R9 Eksplosionsfarlig ved blanding med brandbare stoffer
- R10 Brandfarlig
- R11 Meget brandfarlig
- R12 Yderst brandfarlig
- R14 Reagerer voldsomt med vand
- R15 Reagerer med vand under dannelse af yderst brandfarlige gasser
- R16 Eksplosionsfarlig ved blanding med oxiderende stoffer
- R17 Selvantændelig i luft
- R18 Ved brug kan brandbare dampe/eksplosive damp-luftblandinger dannes
- R19 Kan danne eksplosive peroxider
- R20 Farlig ved indånding
- R21 Farlig ved hudkontakt
- R22 Farlig ved indtagelse
- R23 Giftig ved indånding
- R24 Giftig ved hudkontakt
- R25 Giftig ved indtagelse
- R26 Meget giftig ved indånding
- R27 Meget giftig ved hudkontakt
- R28 Meget giftig ved indtagelse
- R29 Udvikler giftig gas ved kontakt med vand
- R30 Kan blive meget brandfarlig under brug
- R31 Udvikler giftig gas ved kontakt med syre
- R32 Udvikler meget giftig gas ved kontakt med syre
- R33 Kan ophobes i kroppen efter gentagen brug
- R34 Ætsningsfare
- R35 Alvorlig ætsningsfare
- R36 Irriterer øjnene
- R37 Irriterer åndedrætsorganerne
- R38 Irriterer huden
- R39 Fare for varig alvorlig skade på helbred
- R40 Mulighed for kræftfremkaldende effekt
- R41 Risiko for alvorlig øjenskade
- R42 Kan give overfølsomhed ved indånding
- R43 Kan give overfølsomhed ved kontakt med huden

- R44 Eksplosionsfarlig ved opvarmning under indeslutning
- R45 Kan fremkalde kræft
- R46 Kan forårsage arvelige genetiske skader
- R48 Alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning
- R49 Kan fremkalde kræft ved indånding
- R50 Meget giftig for organismer, der lever i vand
- R51 Giftig for organismer, der lever i vand
- R52 Skadelig for organismer, der lever i vand
- R53 Kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet
- R54 Giftig for planter
- R55 Giftig for dyr
- R56 Giftig for organismer i jordbunden
- R57 Giftig for bier
- R58 Kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i miljøet
- R59 Farlig for ozonlaget
- R60 Kan skade forplantningsevnen
- R61 Kan skade barnet under graviditeten
- R62 Mulighed for skade på forplantningsevnen
- R63 Mulighed for skade på barnet under graviditeten
- R64 Kan skade børn i ammeperioden
- R65 Farlig: kan give lungeskade ved indtagelse
- R66 Gentagen udsættelse kan give tør eller revnet hud
- R67 Dampe kan give sløvhed og svimmelhed
- R68 Mulighed for varig skade på helbred

*Kombinationer af R-sætninger*

- R14/15 Reagerer voldsomt med vand under dannelse af yderst brandfarlige gasser
- R15/29 Reagerer med vand under dannelse af giftige og yderst brandfarlige gasser
- R20/21 Farlig ved indånding og ved hudkontakt
- R20/22 Farlig ved indånding og ved indtagelse
- R20/21/22 Farlig ved indånding, ved hudkontakt og ved indtagelse
- R21/22 Farlig ved hudkontakt og ved indtagelse
- R23/24 Giftig ved indånding og ved hudkontakt
- R23/25 Giftig ved indånding og ved indtagelse
- R23/24/25 Giftig ved indånding, ved hudkontakt og ved indtagelse
- R24/25 Giftig ved hudkontakt og ved indtagelse
- R26/27 Meget giftig ved indånding og ved hudkontakt
- R26/28 Meget giftig ved indånding og ved indtagelse
- R26/27/28 Meget giftig ved indånding, ved hudkontakt og ved indtagelse
- R27/28 Meget giftig ved hudkontakt og ved indtagelse
- R36/37 Irriterer øjnene og åndedrætsorganerne
- R36/38 Irriterer øjnene og huden
- R36/37/38 Irriterer øjnene, åndedrætsorganerne og huden
- R37/38 Irriterer åndedrætsorganerne og huden

R39/23	Giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indånding
R39/24	Giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved hudkontakt
R39/25	Giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indtagelse
R39/23/24	Giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indånding og hudkontakt
R39/23/25	Giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indånding og indtagelse
R39/24/25	Giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved hudkontakt og indtagelse
R39/23/24/25	Giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indånding, hudkontakt og indtagelse
R39/26	Meget giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indånding
R39/27	Meget giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved hudkontakt
R39/28	Meget giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indtagelse
R39/26/27	Meget giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indånding og hudkontakt
R39/26/28	Meget giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indånding og indtagelse
R39/27/28	Meget giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved hudkontakt og indtagelse
R39/26/27/28	Meget giftig: fare for varig alvorlig skade på helbred ved indånding, hudkontakt og indtagelse
R40/20	Farlig: mulighed for kræftfremkaldende effekt ved indånding
R40/21	Farlig: mulighed for kræftfremkaldende effekt ved hudkontakt
R40/22	Farlig: mulighed for kræftfremkaldende effekt ved indtagelse
R40/20/21	Farlig: mulighed for kræftfremkaldende effekt ved indånding og hudkontakt
R40/20/22	Farlig: mulighed for kræftfremkaldende effekt ved indånding og indtagelse
R40/21/22	Farlig: mulighed for kræftfremkaldende effekt ved hudkontakt og indtagelse
R40/20/21/22	Farlig: mulighed for kræftfremkaldende effekt ved indånding, hudkontakt og indtagelse
R42/43	Kan give overfølsomhed ved indånding og ved kontakt med huden
R48/20	Farlig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding
R48/21	Farlig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved hudkontakt
R48/22	Farlig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indtagelse
R48/20/21	Farlig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding og hudkontakt
R48/20/22	Farlig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding og indtagelse
R48/21/22	Farlig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved hud-

	kontakt og indtagelse
R48/20/21/22	Farlig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding, hudkontakt og indtagelse
R48/23	Giftig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding
R48/24	Giftig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved hudkontakt
R48/25	Giftig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indtagelse
R48/23/24	Giftig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding og hudkontakt
R48/23/25	Giftig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding og indtagelse
R48/24/25	Giftig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved hudkontakt og indtagelse
R48/23/24/25	Giftig: alvorlig sundhedsfare ved længere tids påvirkning ved indånding, hudkontakt og indtagelse
R50/53	Meget giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet
R51/53	Giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet
R52/53	Skadelig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet
R68/20	Farlig: mulighed for varig skade på helbred ved indånding
R68/21	Farlig: mulighed for varig skade på helbred ved hudkontakt
R68/22	Farlig: mulighed for varig skade på helbred ved indtagelse
R68/20/21	Farlig: mulighed for varig skade på helbred ved indånding og hudkontakt
R68/20/22	Farlig: mulighed for varig skade på helbred ved indånding og indtagelse
R68/21/22	Farlig: mulighed for varig skade på helbred ved hudkontakt og indtagelse
R68/20/21/22	Farlig: mulighed for varig skade på helbred ved indånding, hudkontakt og indtagelse

### *Referencer*

- /1/ AT-vejledning, Grænseværdier for stoffer og materialer, Arbejdstilsynet 2000.
- /2/ Kemisk stoffers opførsel i jord og grundvand: Bind 1 og 2". Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 20, 1996.
- /3/ Verschueren, Karel: "Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. Second Edition". Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1983.
- /4/ Miljøstyrelsen 2000: "Bekendtgørelse om listen over farlige stoffer". Bekendtgørelse nr. 733 af 31/7-2000.
- /5/ Miljøstyrelsen 1998: "Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind". Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.
- /6/ Windholz, Martha: "The Merck Index. An encyclopedia of chemicals, drug and biologicals. Tenth Edition". Merck & Co., Inc., 1983.
- /7/ [www.chemfinder.com](http://www.chemfinder.com), juli 2002.
- /8/ Miljøstyrelsen 1997: "Soil Quality Criteria for Selected Compounds". Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 83 1997.
- /9/ Miljøstyrelsen 1996: "Chlorerede opløsningsmidler i den mættede zone". Miljøprojekt nr. 330, 1996.
- /10/ Miljøstyrelsen 2002: "B-værdivejledningen". Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2002.





## **Bilag 5**

### **Oversigt over historisk materiale**

## Primære og sekundære informationskilder

Forud for igangsættelse af tekniske undersøgelser er det vigtigt at få indsamlet og beskrevet det historiske materiale for den aktuelle lokalitet. Dette kan være tidskrævende, men den forbrugte tid vil ofte være givet godt ud, når de tekniske undersøgelser igangsættes.

Formålet med den historiske gennemgang er at få udpeget art og fysisk placering af de potentielle forureningskilder.

Der findes en lang række kilder, hvorfra der kan søges oplysninger. Kilderne kan opdeles i primære og sekundære kilder. De vigtigste oplysninger findes i de primære kilder. Hvis det vurderes, at de primære kilder er mangelfulde, suppleres med oplysninger fra de sekundære kilder.

*De primære kilder omfatter:*

- Arkiver hos kommunen: I kommunens arkiver findes der oplysninger om byggeaktiviteter, lokalplaner, situations- og kloakplaner, oplysninger om nedgravede tanke og deres status, oplag, miljøsager mv. I nogle kommuner findes alle oplysninger i byggesagsarkivet, mens oplysningerne i andre kommuner er fordelt på byggesags- og miljøarkivet. Den lokale politie eller brandmyndighed kunne tidligere have kronologiske oplysninger om hændelser, der havde forureningsmæssig betydning, f.eks. brande eller andre uheld som spild, lækager eller overløb ved tankanlæg. Herudover kunne der findes oplysninger om tidligere oplag af brandfarlige og eksplosionsfarlige stoffer.
- Lokalhistoriske arkiver: På de lokalhistoriske arkiver findes gamle vejvisere, telefonbøger, fotos og avisudklip mv. Herudover har personalet på arkiverne ofte et stort lokalkendskab.
- Tinglysningskontoret: Oplysninger om tidligere ejerforhold og deklARATIONER findes tinglyst på den enkelte ejendom.
- Interview: Interview af tidligere eller nuværende grundejere eller ansatte kan understøtte og supplere oplysninger fra arkiver og litteratur. Det kan også være relevant at interviewe medarbejdere hos kommunen.
- Besigtigelse: Ved besigtigelsen af lokaliteten, kontrolleres det, om de indsamlede arkivoplysninger er i overensstemmelse med de nuværende forhold. Placeringen af eksisterende bygninger og installationer registreres, og synlige tegn på jordforurening noteres. En tjekliste til brug ved besigtigelse findes i /1/.

*De sekundære kilder omfatter:*

- Miljøgodkendelser indeholder beskrivelser af produktionsprocesser, forureningsbegrænsende foranstaltninger samt affaldsprodukter og deres bortskaffelse. For listevirksomheder med regional påvirkning er Amtet mil-

jømyndighed. Miljøgodkendelser omfatter kun perioden efter Miljøbeskyttelseslovens ikrafttræden i 1974.

- Arbejdstilsynets (tidligere fabrikstilsynet) inspektionsberetninger. Her kan skaffes oplysninger om kemikalier og uheld.
- Det kongelige Bibliotek har ca. 400.000 skrå- og lodfotos fra før 1945. Ud fra fotos kan fås indtryk af arealanvendelsen. Herudover kan tankanlæg, oplag af tromler og affald mv. lokaliseres.
- Kort- og Matrikelstyrelsen har lodfotos fra 1945 og frem.
- Private luftopmålingsfirmaer, som Kampsax Geoplan, Landinspektørens Luftopmåling og Kastrup Luftfoto kan ligge inde med historiske luftfotos. Endelig kan der findes flyfotos hos en lang række kommuner.

*Referencer:*

- /1/ Miljøstyrelsen 1998: ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Appendikser”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 7 1998.

## **Bilag 6**

### **Relevante kilder i relation til afværgeteknikker**

## **Relevante kilder i relation til afværgeforanstaltninger til sikring af areal-anvendelsen**

### *Afgravning*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.

### *Vakuumelekstraktion/-ventilering*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.
- ”Vakuumentileringssager fra Oliebranchens Miljøpulje”, Miljøprojekt nr. 421, 1998.
- ”Airsparging og vakuumventilering fra vandrette boringer på Drejøgade 3-5: design og anlæg”, Miljøprojekt nr. 480, 1999.
- ”Airsparging og jordventilering med vandrette boringer”, Miljøprojekt nr. 678, 2002.
- ”Vakuumentilering, Ikast”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.

### *Bioventilering*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.

### *Passiv ventilering*

- ”Passiv ventilering, Fakse”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.
- ”Passiv ventilering, Allerød”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.
- ”Passiv ventilering, Askov”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.

### *Termisk assisteret oprensning*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.
- ”Termisk assisterede oprensninger”, Miljøprojekt nr. 409, 1998.
- ”Oprensning af klorerede opløsningsmidler ved dampstripping”, Miljøprojekt nr. 543, 2000.
- ”Dampoprensning med vacuumelekstraktion”, Miljøprojekt nr. 552, 2000.
- ”Modellering af opvarmning ved dampinjektion (Modi)”, Miljøprojekt nr. 679, 2002.
- ”Dampinjektion, Østerbro, Aalborg”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.
- ”Dampinjektion, Hedehusene”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.
- ”Termisk assisteret rensning, Vesterbro”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.

### *Phytooprensning*

- ”Oprensning af tungmetalforurenede jord”, Miljøprojekt nr. 407, 1998.
- ”Oprensning af blandingsforurenede jord”, Miljøprojekt nr. 503, 1999.
- ”Phytooprensning af metaller”, Miljøprojekt nr. 536, 2000.
- ”Fytoremediering af forurening med olie- og tjæreprodukter”, Miljøprojekt nr. 644, 2001.
- ”Phytooprensning, Valbyparken”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.
- ”Phytooprensning, Allerød”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.
- ”Phytooprensning. Oliebranchens Miljøpulje (OM), Rønnede, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.

### *Forsøgning af forurening*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.
- ”Oprensning af blandingsforurenede jord”. Miljøprojekt nr. 503, 1999.

### **Relevante kilder i relation til afværgeforanstaltninger til sikring af grundvand og recipient**

#### *Afværgepumpning*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.

#### *Air-sparging*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.
- ”Airsparging og vakuumventilering fra vandrette boringer på Drejøgade 3-5: design og anlæg”, Miljøprojekt nr. 480, 1999.
- ”Airsparging og jordventilering med vandrette boringer”, Miljøprojekt nr. 678, 2002.
- ”Airsparging og vakuumventilering på Drejøgade 3-5”, Teknologi-programmet for jord- og grundvandsforurening /A/.

#### *In-well stripning*

- ”Afprøvning af In-Well Aerator”, Miljøprojekt nr. 642, 2001.

#### *Etablering af vertikale barrierer*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.
- ”Reaktiv permeabel væg, Vapokon”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.
- ”Reaktiv permeabel væg, Hårdkrom, Kolding”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.
- ”Reaktiv permeabel væg, Godsbanegården”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.

#### *Frakturering*

- ”Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind”. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1998.
- ”Vurdering af stødvis ventilering og pneumatisk opsprækning”, Miljøprojekt nr. 491, 1999.
- ”Frakturering”, Miljøprojekt nr. 541, 2000.
- ”Hydraulisk frakturering udført ved vandret boret teknik - Design og anlæg”, Miljøprojekt nr. 699, 2002.
- ”Frakturering-dobbelt fase ekstraktion, Haslev”, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening /A/.

#### *Referencer:*

/A/ Miljøstyrelsen 2002: ”Projektkatalog”. Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening.