

GRUNDVANDSFORURENING SOM FØLGE AF  
UKRUDTSBEKÆMPELSE PÅ JERNBANETERRÆNER.

Civilingeniør Ulrik Winge  
Miljø og Fysisk Planlægning, DSB

Geolog John Frederiksen  
Geo- og miljøteknik, DSB Rådgivning

ATV MØDE  
Vintermøde om grundvandsforurening

VINGSTEDCENTRET  
7. - 8. MARTS 1995

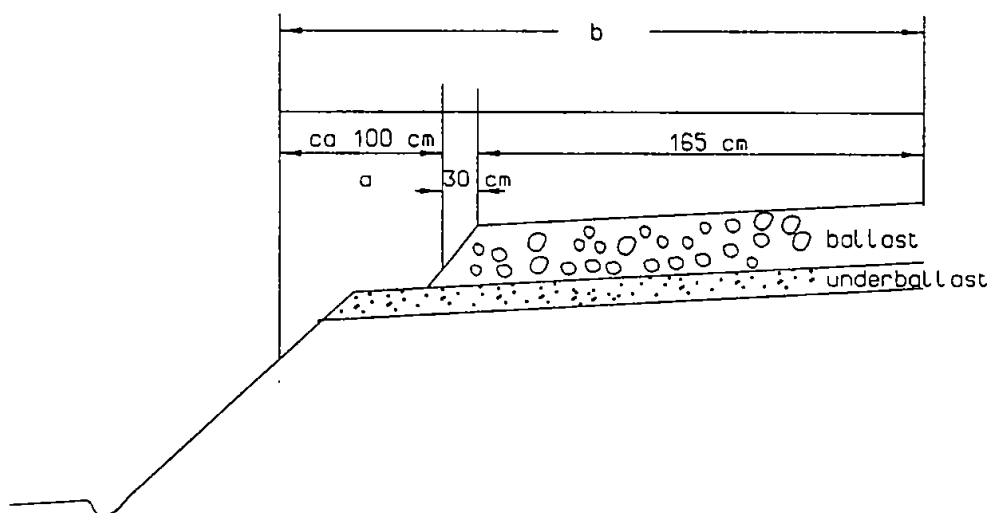
## 1. INDLEDNING

Forureningen af det danske grundvand kom for alvor i offentlighedens søgelys med fundet af sprøjtemiddelrester i drikkevandet i den jyske by Ejstrupholm, hvor forureningen umiddelbart blev kædet sammen med DSBs ukrudtsbekæmpelse på sporarealerne. I det følgende beskrives DSBs ukrudtsbekæmpelse mere detaljeret, og der gives en nærmere vurdering af udvaskningsrisikoen under jernbanearer samt en status for alternative ukrudtsbekæmpelsesmetoder.

## 2. DSBs BRUG AF BEKÆMPELSMIDLER

DSBs ukrudtsbekæmpelse sker af sikkerhedshensyn. Jernbanesporet skal ligge stabilt. En op-hobning af nedbrudte planterester (humus) vil hindre den nødvendige afdræning med følgende risiko for sætningsskader og i værste fald togafsporinger. Endvidere kan plantevækst på bane-terrænerne øge brandfaren i tørre perioder samt give sikkerhedsproblemer for det personale, der arbejder på især rangerterrænerne.

DSBs ukrudtsbekæmpelse har traditionelt bestået af en udbringning af et jordmiddel i det tidlige forår efterfulgt af en behovsorienteret pletvis efterbehandling i sidste del af vegetationsperioden med et systemisk middel. Det svarer nøje til de principper, der har været anvendt på alle europæiske jernbaner. Behandlingen har været begrænset til et minimum, dvs til et 1-1,3 meter bredt bælte udvendigt på skinnerne i begge sider udenfor stationerne samt pletvis i selve sporet efter behov (se figur 1). Dog er rangerpladser og øvrige sporterræner på stationerne samt enkelte jernbanestrækninger, hvor sporet ligger i grus, fladebehandlet til og med det sted, hvor den flade, sporet ligger i, begynder at skråne ned mod banegrøften. Sprøjtning udelukkende af kos-metiske hensyn finder ikke sted.

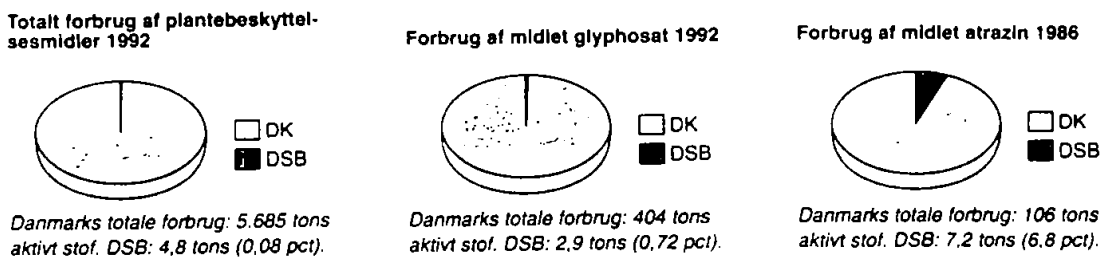


Figur 1 Sprøjtezoner på jernbaneterræner  
 a: normal sprøjtebredde på stenballastende strækninger  
 b: sprøjtebredde på grusballastende strækninger, ved overkørsler, underføring, perroner, mv.

DSB har registreret forbruget af bekæmpelsesmidler tilbage fra 1950'erne. Forbruget har varieret en smule mellem landsdelene, men tabel 1 giver et overblik over, hvilke midler DSB gennem tiden har anvendt. Nogle midler har været anvendt bredt på både strækninger og stationsarealer, mens andre kun har været anvendt pletvis eller kun på f.eks større stationer. Tabel 2 viser totalbelastningen de sidste ca 25 år. Alle disse oplysninger blev iøvrigt stillet til rådighed for amterne straks efter fundene i Ejstrupholm. Det skal bemærkes, at DSB stoppede med at bruge atrazin i 1986, da de første mistanker om stoffets overraskende høje mobilitet forelå. Først i 1991 blev midlet forbudt til andet end majsmarker. Samlet udgør DSBs forbrug af bekæmpelsesmidler knap 1 promille af det samlede danske forbrug (1992-tal), jvf figur 2.

Produkt	Aktivt stof	Dosering kg a.s/ha	Tidsperiode	Bemærkninger
Geigy	Simazin 50%	5	1958-61	Jordmiddel
Hyvar	Bromacil 80%	4,4	1962	Jordmiddel
Karmex DW	Diuron 80%	4-8	1960-90	Jordmiddel
Herbattox DT 450	2,4 D 30% 2,4,5 T 15%	2,5	1960-79	Partiel efterbeh.
Weedazol	Amitrol 50-90%	1,5-9,5	1960-72	Partiel efterbeh.
Dalapon mv	Dalapon 74%	3,7-7,4	1960-77	Partiel efterbeh.
Noran	Bromacil 25% Diuron 50%	3	1967-76	Jordmiddel
Herbattox M500	MCPA 50%	2,5-3	1961-67	Partiel efterbeh.
Pramitol	Atrazin 50%	5	1964-79	Jordmiddel
Pramitol AT 50F	Atrazin 43%	5	1980-86	Jordmiddel
Herbattox Combi 3	2,4 D 12% Dichlorprop 42% MCPA 10%	2,6	1982	Partiel efterbeh. Kun anvendt pletvis på enkelte større stationer
Fydolex G	Dichlobenil 7% Dalapon 15%	13,2-17,6	1977	Jordmiddel
Sinbar	Terbacil	1,6	1986-91	Jordmiddel
Velpar	Hexazinon 90%	4,5-7,2	1980-81	Jordmiddel
Casaron G Shell Prefix	Dichlobenil 6,8%	5,4-6,8	1978-93	Jordmiddel
Roundup	Glyphosat 36%	1,5-1,8	1980-94	

Tabel 1 Bekæmpelsesmidler anvendt til totalbekæmpelse af ukrudt på DSBs sporarealer. Tidsperioder angiver hvornår midlet først og sidst har været i anvendelse. Midlerne har ikke nødvendigvis været anvendt hvert år i perioden.



Figur 2 DSBs andel af det samlede bekæmpelsesmiddelforbrug i Danmark, glyphosatforbruget i 1992 og atrazinforbruget i 1986.

Aktivt stof	Belastning øst 1970-93 (kg)	Belastning vest 1967-93 (kg)
Atrazin	25.808	55.746
Diuron	-	29.970
2,4 D + 2,4,5 T	2.916	22.630
Dalapon	-	17.833
Dichlobenil	4.300	13.986
Glyphosat	9.520	7.096
Amitrol	5.287	6.746
Hexazinon	2.384	6.397
Bromacil	1.135	2.997
MCPA	2.652	2.550
Terbacil	540	-
Dichlorprop	268	60

Tabel 2 Den total aktivstofbelastning på DSBs sporarealer. Vest for Storebælt siden 1967 og øst for siden 1970. Som det fremgår af tabel 1 har nogle af midlerne (diuron, 2,4 D og 2,4,5 T, Dalapon og aminotriazol/ amitrol) også været anvendt tidligere, hvorfor den historiske belastning må antages at være højere.

Tilbage i 60'erne lagde man primært vægt på effektivitet og pris, når der blev valgt ukrudtsbekæmpelsesmidler. I 70'erne blev der yderligere sat fokus på arbejdsmiljøforholdene, mens udvaskningsrisikoen først blev en væsentlig faktor omkring 1980. I dag er både sundhedsforhold og miljøpåvirkning (udvaskningsrisiko og akvatisk toksicitet) meget væsentlige parametre ved valg af bekæmpelsesmidler til brug på sporterræner.

### 3. UDVASKNINGSRISIKO PÅ JERNBANEAREALER

De pesticider, DSB gennem tiden har anvendt, er også blevet anvendt i landbrug, skovbrug, gartnerier, plantager, planteskoler, haver, parker og på veje, industriarealer mv. DSBs opgørelse af pesticidforbruget dokumenterer klart, at DSB - også set i forhold til arealstørrelsen - ikke har været en specielt stor pesticidforbruger og dermed en særligt betydende kilde til grundvandsforureningen, med mindre, at der på grund af banearalernes særlige opbygning, er en særlig udvaskningsrisiko ved pesticidanvendelse på jernbaner. Udvasningsrisikoen afhænger især af de aktuelle jordarters gennemtrængelighed, indholdet af organisk stof samt nedbrydningsforholdene.

### 3.1 Jordarternes gennemtrængelighed

Både i forbindelse med det landsdækkede grundvandsovervågningsprogram, som blev igangsat i 1988, og ved de intensiverede undersøgelser i kølvandet på Ejstrupholmsagen er der fundet pesticider i en lang række drikkevands- og monitoringsboringer landet over. Både nær ved og fjernt fra jernbanerne.

Mere overordnet synes der at tegne sig et forskelligartet billede af grundvandets pesticidbelastning i østdanske lerområder og i vestdanske sandområder. Det synes ud fra de resultater, DSB har kendskab til, klart, at de fleste pesticidfund alt andet lige gøres der, hvor grundvandsmagasinerne har frit, højtliggende vandspejl i sandområder. Samtidig tegner der sig et billede, hvor det især er triazinene (atrazin, simazin), der træffes i de frie magasiner, hvor også nitratbelastningen ofte er betydelig. I de knap så hyppige tilfælde, hvor der træffes pesticider i lerbeskyttede magasiner, drejer det sig oftest om er phenoxysyrerne (MCPA, dichlorprop, mechlorprop). Også de foreløbige resultater af grundvandsovervågningsprogrammet peger ifølge oplysninger fra Brusch (1994) på disse tendenser i fordelingen.

At der er gjort overraskende mange fund i lerområderne kan forklares ved, at man hidtil har undervurderet sprækkernes betydning for grundvandsdannelsen og dermed for pesticidernes nedtrængen i lerområder. Således har Jørgensen og Spliid (1993) og Jørgensen og Spliid (1994) ved laboratorieforsøg opnået resultater, der peger imod, at pesticidernes bevæger sig lige så hurtigt nedad i områder med stærkt sprækket moræneler som i sandområder. Adsorptionen og nedbrydningshastigheden af det enkelte pesticid afhænger dog meget af de helt lokale forhold, og de må formodes at være meget forskellige i en lokal sprække i moræneler og i en velgennemluftet sandforekomst over grundvandsspejlet.

### 3.2 Jernbaneterræners opbygning og indhold af organisk stof

Der har igennem meget lang tid været faste regler for, hvordan sporkassen under en jernbane med persontrafik skal være opbygget. Nederst skal der ligge et sand/gruslag ("underballasten"). Denne skal være dækket af et lag af ballastskærver, hvori svellerne indbygges. Underballastlaget har igennem de seneste årtier altid skullet være 20-25 cm tykt, mens kravet til ballastskærvelagets tykkelse med små variationer har ligget omkring 55 cm. Resultater af geotekniske undersøgelser viser, at underballastlaget i tidligere tid ofte blev udlagt direkte på den naturlige råjord - eller i dæmninger på dæmningsfylden - mens man i de seneste årtier har valgt at afrømme mulden og give råjordsoverfladen under sporet en sidehældning før udlægningen af underballastlaget.

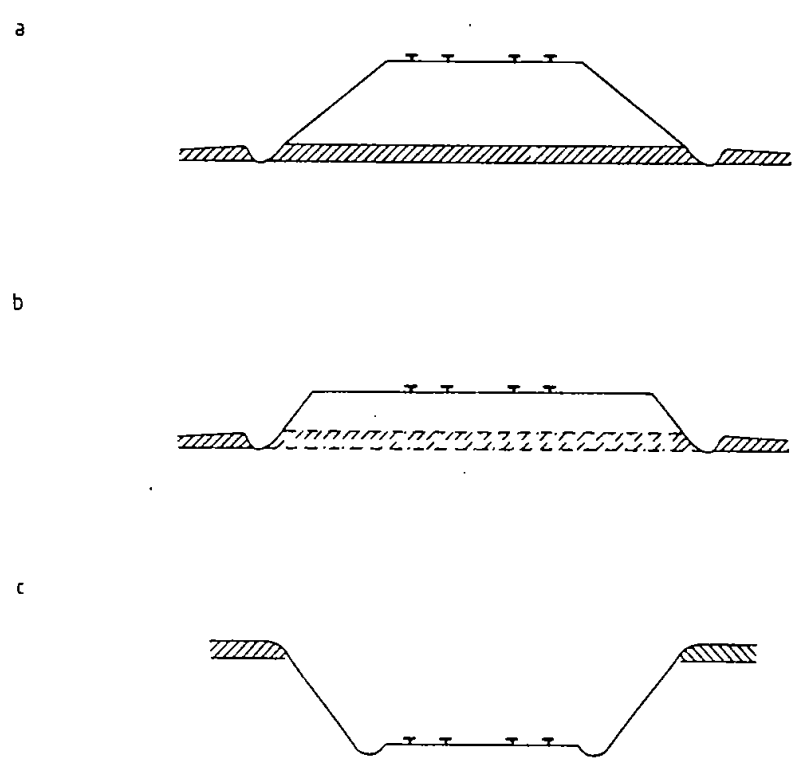
Af figur 1 fremgår det, at der ikke ligger ballast overalt under det areal, som normalt behandles med pesticider. Længst væk fra sporet tilføres pesticiderne direkte på underballast.

Underballastlaget er opbygget af rent uorganisk sand udvundet i grusgrave. Man foretrak oprindeligt en kornstørrelsessammensætning, som var et kompromis imellem let komprimerbarhed og god permeabilitet. Dette materiale vil i sammenligning med en stabilgrus have et lidt mindre finstofindhold. I dag foretrækker man at anvende et materiale i stil med DS 401's "stabilgrus, kvalitet 2", idet man afleder vandet på lagets overflade.

For langt de fleste pesticider er det indholdet af organisk stof (humus) i jorden, der bestemmer bindingskapaciteten. Helweg (1988) har således peget på muldlagets store betydning for adsorption af pesticider. Det betyder, at "områder, hvor jordoverfalden består af grus, sten og andre næsten rent uorganiske materialer vil udgøre en særlig risiko for nedsivning, hvis de behandles med pesticider" (Helweg, 1994). Helweg har indbefattet jernbanearealer i denne gruppe

og frygter, at det vand, som siver igennem banelegemet, kan trænge direkte imod grundvandet uden at møde humusholdige lag (Helweg 1994). Det er imidlertid som nævnt langt fra altid tilfældet. Kun i de seneste ca 30 år har man systematisk fjernet mulden, før man opbyggede sporskassen. Før den tid lod man mulden ligge, hvor det var muligt, og det er klart DSBs erfaring fra årtiers geo- og miljøtekniske undersøgelser, at mulden er bevaret, hvor den ikke på grund af terrænforholdene har måttet fjernes.

Jernbaner kan kun etableres med meget små stigninger, og der sker derfor ofte betydelige indgreb i terrænet i forbindelse med etableringen af en jernbane. Banen kan principielt ligge på tre forskellige måder som vist på figur 3. Når banen ligger på dæmning, vil muldlaget som nævnt oftest være bevaret under dæmningen, og der vil tilmed meget ofte indgå humusholdige materialer i dæmningen. Også når banen placeres på den naturlige terrænoverfladen vil muldlaget ofte være bevaret, men afvandingsgrøfterne vil her normalt være gravet igennem muldlaget. Når banen ligger i afgravning er muldlaget naturligvis fjernet. Man kan således ikke generelt sige, at pesticidernes bindingsforhold under jernbanearealer er markant dårligere end ved anden anvendelse, bortset fra de tilfælde hvor banen ligger i afgravning.

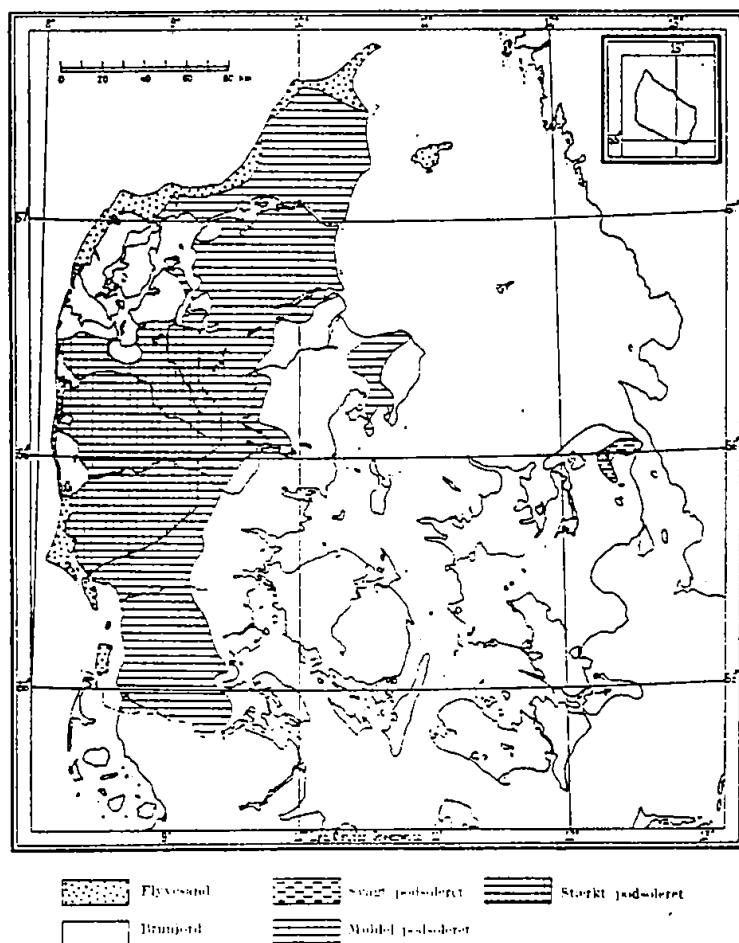


Figur 3 Jernbane beliggende i afgravning (a), på naturlig terrænoverflade (b) og på dæmning (c). Bemærk at mulden på ældre baner normalt kun vil være afkrømt i afgravningssituationen.

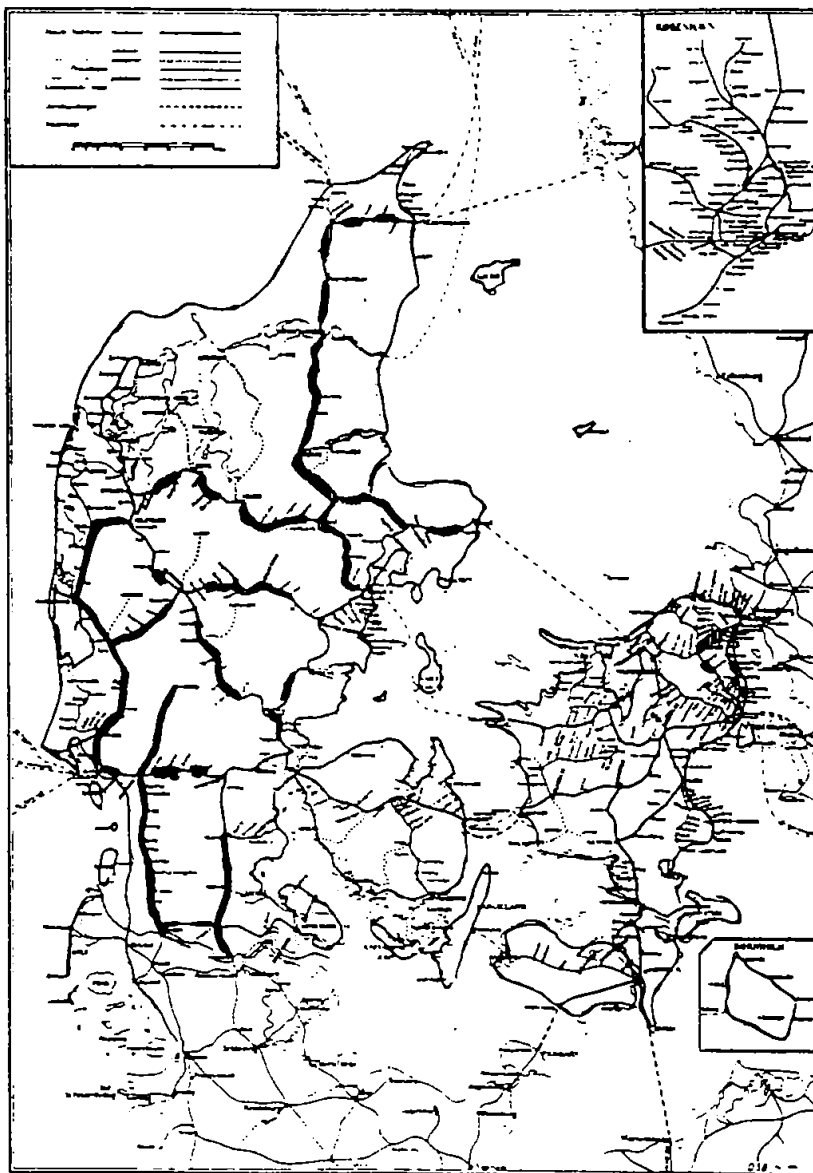
### 3.3 Nedbrydningsforhold

DSBs erfaringer med oliespild viser, at ballastlaget udgør et godt "biologisk rensningsanlæg". Kun når olie tilføres momentant i større mængder ved egentlige spilduheld, er det konstateret, at olie kan passere igennem skærvelaget. I alle andre tilfælde nedbrydes den undervejs. Der er tilsyneladende ofte både ilt og de nødvendige mikroorganismer til nedbrydningsprocesserne til stede i ballasten.

De tidligere beskrevne iagttagelser over fordelingen af pesticidfundene i grundvandsmagasinerne sammenholdt med geologien kan tolkes på den måde, at phenoxysyrerne nedbrydes hurtigt under iltende forhold, men at de ved sprækkenedsivning i lerområder hurtigt bringes ned under iltfattige eller iltfrie forhold, hvor de antagelig er temmelig stabile. Ved jernbaner på lerområder vil phenoxysyrerne derfor antagelig blive nedbrudt i det iltrige skærve/underballastlag. Derimod tyder vores iagttagelser på, at triazinerne er mindre nedbrydelige selv under disse iltrige forhold, end man tidligere har antaget. Da det samtidig er triazinerne, DSB har anvendt i de største mængder, er det ikke underligt, at det primært er atrazin og til dels simazin, der findes i grundvand nær jernbaneterræner.



Figur 4 Podsolområdernes udbredelse



Figur 5 Danske jernbaner 1975. Baner i sandområder fremhævet.

### 3.4 Udvaskningsrisiko

Risikoen for udvaskning af pesticider fra jernbanearealer, industriarealer mv er utvivlsomt større end almindelig muldrig landsbrugsjord. Men risikoen i forbindelse med jernbaner er formodentlig meget afhængig af de lokale forhold. Sammenholder man de overordnede geologiske forhold, jernbaneterrænernes opbygning og de anvendte ukrudtsbekæmpelsesmidlers nedbrydning kan man konkludere, at der primært bør fokuseres på baneterrænerne som en mulig kilde til pesticidforurening med triaziner i områder, hvor der både er

- frie grundvandsmagasiner med højtliggende vandspejl og
- en jernbane, som ligger på naturlig terrænoverflade eller i afgravning.

Figur 4 og 5 giver en ide om, hvor sådanne områder typisk findes i Danmark. Figur 4 viser de større podsolområdernes udbredelse i Danmark. En sammenligning med DGUs jordartskort viser, at podsolområderne som forventligt findes i områder, hvor den øverste jordart er sand. På figur 5 er vist et kort over DSBs jernbanenet i Danmark, og på dette kort er de større, sammenhængende strækninger fremhævet, som ud fra oplysningerne på figur 4 og i DSBs omfattende geotekniske



arkiver helt overvejende forløber på sand.

Af ovenstående fremgår det, at pesticider der tidligere er blevet anvendt på jernbanearealer sær-  
må frygtes at kunne give anledning til grundvandsforureninger, hvor banen ligger i afgravning  
på de fremhævede strækninger. Når denne forventning ikke fuldt ud bekræftes af de hidtil re-  
gistrerede atrazinforkomster i grundvandet, kan det skyldes, at de øvre grundvandsmagasiner i  
de angivne områder også er de mest sårbare overfor andre typer af forureninger, og at de derfor  
ofte for længst er opgivet til fordel for dybereliggende magasiner. Der er derfor kun undtagel-  
sesvis udført undersøgelser af pesticidindholdet i de pågældende højtliggende sandmagasiner. I  
de tilfælde hvor man har undersøgt boringer fra de dårligst beskyttede magasiner nær jernbaner,  
er der i flere, men langt fra alle, tilfælde fundet atrazin, som kan skyldes anvendelsen på  
jernbaneterrænet.

#### 4. ALTERNATIVE UKRUDTBEKÆMPELSESMETODER

Der har i en årrække været forsket i alternative ukrudtsbekæmpelsesmetoder. Der har særligt fo-  
regået undersøgelser i Schweiz, Tyskland og Sverige. DSB er i tæt og stadig kontakt med  
jernbanerne i disse lande for at høre om de seneste resultater. Desuden har DSB i en periode haft  
formandsskabet i en international arbejdsgruppe om emnet.

Status er desværre, at der i øjeblikket ikke findes egnede alternativer til kemisk behandling. Me-  
toderne er enten helt uegnede til de specielle forhold, der gælder på jernbaner eller så langsom-  
me, dyre og energikrævende, at de må anses for urealistiske.

Tabel 3 er en oversigt over de metoder, der har været eller er under afprøvning. Mest lovende  
synes forskellige former for mekanisk behandling at være, men disse metoder er så langsomme,  
at de i øjeblikket kun synes realistiske som supplement til den kemiske bekæmpelse. F.eks hvis  
der indføres særlige grundvandsbeskyttelseszoner, hvor al sprøjtning forbydes.

#### 5. FREMTIDENS UKRUDTSBEKÆMPELSE

Manglen på alternativer til den kemiske behandling betyder, at DSB også i de kommende år  
anvender ukrudtsbekæmpelsesmidler på sporarealerne. Disse udvælges fortsat med særlig vægt  
på udvaskningsrisikoen samt sundhedsforholdene for sprøjtepersonalet.

DSB har fået vurderet, hvilke midler der kan anvendes på jernbanearealerne uden udvasknings-  
risiko. Disse undersøgelser har vist, at glyphosat (Roundup) er et velegnet middel. Glyphosats  
binding til jord er uafhængig af indholdet af organisk stof og meget kraftig også i jernbaneun-  
derbygninger uden muldrag. Glyphosat nedbrydes biologisk, og dets vigtigste nedbrydnings-  
produkt AMPA (aminomethylphosphorsyre) bindes endnu stærkere i jorden. Glyphosat regnes  
derfor for stort set immobiliseret ved anvendelse på jernbaneterræner, hvilket også bekræftes af  
svenske undersøgelser (Helweg et al, 1994). Problemet med glyphosat har været, at det er akva-  
tisk toksisk, men nye produktformuleringer har fjernet denne uheldige egenskab.

Et andet problem ved glyphosat er, at det - delvis pga af den stærke binding - ikke har nogen  
virkning gennem jord, men udelukkende virker ved optagelse gennem planternes blade. Det vil  
sige, at det kun virker på allerede fremspiret ukrudt, hvilket betyder, at det samme areal skal  
sprøjtes flere gange årligt. Endelig er enkelte ukrudtsarter meget hårdføre overfor glyphosat.  
Tyske og svenske erfaringer viser, at ensidig satsning på et enkelt middel kan betyde udvikling  
af resistens overfor dette middel. DSB forsøger i øjeblikket at finde den rette (minimale) sprøj-  
tefrekvens og følger evt resistens udvikling nøje. Det kan således komme på tale at finde sup-

Metode	Erfaringer	Vurdering
Øget ballastrensning	Velafrøvet Væsentlig fordyrelse	Måske egnet
Mekanisk rensning	Afprøvet i Tyskland Relativt langsom Kræver specialudstyr Problemer med HKT og ATC anlæg	Måske egnet
Flammebehandling	Langsom Risiko for antændelse af tørt plantemateriale, træsveller mv	Uegnet
Damp/hedvand	Afprøvet i Tyskland Langsom Kræver behandling hver 4-5 uge	Uegnet
Varm luft	Afprøves pt i Sverige	
UV-stråling	UV-A og UV-B lys afprøvet UV-C måske mulig Meget energikrævende Uløste sikkerhedsproblemer	Måske egnet
Infrarød stråling	Afprøvet i Tyskland For dårlig effekt på rødder Meget energikrævende Kræver 6 behandlinger/år Langsom	Uegnet
Mikrobølger	Laboratorie undersøgelser i Sverige og Tyskland Meget langsom Stort energiforbrug Svært i praksis Forstyrrer tekniske anlæg	Uegnet
Direkte elektrisk kontakt (elefanthegn)	Afprøvet i Tyskland For ringe effekt Meget energikrævende Langsom	Uegnet
Flydende kvælstof	Afprøves i Tyskland Langsom Kræver månedlig behandling Meget energikrævende Ingen rodpåvirkning	Uegnet
Afdækning (f.eks med flydende plast)	Afprøves i Sverige	Måske egnet
Eddike	Afprøvet i Sverige Skader installationer	Uegnet

Tabel 3 Alternative ukrudtsbekæmpelsesmetoder på jernbaneterræner

plerende midler. Disse skal følgelig vurderes nøje mht til udvaskning. DSBs har i 1991-94 udelukkende anvendt glyphosat på de frie strækninger og i 1994 har det også været tilfældet for stations- og rangerarealer. Desværre synes iagttagelser at vise, at den ensidige behandling med glyphosat er utilstrækkelig til at forhindre plantevækst i sporet.

Det er et helt generelt krav i hele Europa, at der ikke må være plantevækst i sporet. DSB er som den første jernbane gået i gang med at undersøge om, der eventuelt kan indføres forskellige

grader af ukrudtsbekæmpelse, afhængigt af banens anvendelse. På de moderne højhastighedsbaner i Frankrig og Tyskland er det f.eks et ufravigeligt krav, at der ikke forekommer så meget som en plantespire i sporet. Men der mangler forsøg, der fastlægger et acceptabelt niveau på andre typer strækninger - f.eks sidebaner, der kun er lidt befærdet med lavere hastigheder.

## 6. LITTERATUR

Brüsch, W. 1994. Foredrag på HC Ørstedsinstituttet 05.09.1994

Helweg, A. 1988. Pesticider. I: Helweg, A. (red). Kemiske stoffer i Landjordsmiljøer. Teknisk forlag 1994, side 189-207.

Helweg, A. 1994. Mange kilder til grundvandsforurening med pesticider. Vandteknik nr 3, april 1994.

Helweg, A. 1994, Rubow, T., Christensen, S., Walter, M. & Rasmussen, J. 1994. Ukrudtsbekæmpelse på jernbanesporterræn. Statens Planteavlsvforsøg, Flakkebjerg.

Jørgensen, Peter og Spliid, Niels Henrik 1994. Pesticider og sprækket moræneler. Geologisk Nyt 4, 1994 s. 12-14

Jørgensen, Peter R og Spliid, Niels Henrik, 1993. Udvaskning af pesticider i moræneler. Vand & Miljø (4)., 1993, s. 101-105.