

Sedimentanalyser fra 70 regnvandsbassiner – fokus på miljøfremmede stoffer

Marianne Grauert, Michael Larsen & Mikkel Møllerup
Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut, Guldalderen 12, 2640 Hedehusene, Danmark

Resume

Brug af vejinfrastrukturen medfører slid på vejenes overflade og på bilerne, samt tab af brændstofkomponenter. Det fører til forurening af miljøet nær vejene, bl.a. gennem bortledning af vejvand til søer og åer. De cirka 2000 danske regnvandsbassiner langs det danske statsvejnet fungerer som forsinkelsesbassiner for store pludselige vandmængder, og opsamler endvidere miljøfremmede stoffer, inden vandet ledes videre ud i åer og søer. Vejdirektoratet har undersøgt indholdet af miljøfremmede stoffer i sedimentet i 70 bassiner fordelt ud over landet. Der er analyseret for kulbrinter, PAH, tungmetaller og NaCl. Analyserne bliver brugt til at bestemme sedimentets forureningsgrad i forhold til Miljøstyrelsens kriterier. Resultaterne viser, at mindst 90% af bassinerne har sediment der er defineret som lettere forurenede, og mindst 61% af bassinerne har sediment der er forurenede. Disse høje værdier skyldes indholdet af kulbrinter. Den næsthøjeste forureningskilde er nikkel og koncentrationerne betyder, at 20% af bassinerne har nikkelforurenede sediment. De højeste koncentrationer af miljøfremmede stoffer findes omkring København og Odense, samt langs strækningen Kolding-Randers. Indholdet af PAH og tungmetaller er sammenlignet med analyser fra 38 naturlige danske søer. Analysen viser, at der ikke er en markant stor forskel mellem de målte forureningsniveauer i regnvandsbassinerne og naturlige søer. Kulbrinter er sammenlignet med to naturlige søer, og her er forskellen meget markant.

1. Introduktion

Regnvandsbassinerne langs vejene er konstruerede til at opsamle regnvand og forsinke større nedbørshændelser og til at forhindre olieprodukter og opløst stoffer i at løbe videre ud i recipienten. Motorvejsnettet bliver til stadighed udbygget, og det giver nogle meget konkrete problemstillinger i forhold til håndtering af bortgravet sediment og flytning af eksisterende regnvandsbassiner. Der er ca. 2000 regnvandsbassiner langs de danske statsveje og en tommelfingerregel er, at der anlægges et for hver anden kilometer. Det er for det meste lukkede systemer der sikrer, at det kun er vejvand, direkte regn og afløb fra bassinsiderne, der ender i bassinerne. Derfor er sedimentet i bassinerne et resultat af materiale tilført med vejvand, eller gennem sideerosion og atmosfæren. Når der køres på vejene, medfører det en forurening af vandet der ledes væk fra vejen, og af vejens omgivelser. Der sker slid og korrosion af bremses og dæk, slid på vejens belægning og tab af brændstof, samt tilførsel af salt. Alle disse affaldsprodukter vil enten hvirvles op med støv og føres bort af vinden, eller det vil føres med regnvandet ned i afvandingssystemet og dermed ende i regnvandsbassinerne.

Bassinerne fungerer som sedimentationsbassiner, hvilket betyder at vandet løber meget langsomt eller står stille i bassinet i tørvejr. Herved sedimenteres de partikler, der ikke er små nok til at forblive i suspension indtil vandet løber ud af udløbet. Mange miljøfremmede stoffer binder sig til større partikler (mineralske korn og organisk materiale), hvilket betyder, at de sedimenteres sammen med partiklerne og derved bliver i bassinet. De mest problematiske stoffer er ofte svært nedbrydelige, eller ikke nedbrydelige, og de akkumuleres derfor let i forskellige recipienter. Regnvandsbassinerne er derfor et vigtigt opsamlingssted for disse.

Der er valgt 70 bassiner spredt ud over det danske statsvejnet (Grauert et.al. 2011). I hvert bassin er der med russerbor udtaget sediment til at dække behovet til analyser. Der er analyseret for bly, cadmium, kobber, zink, nikkel, krom, PAH og kulbrinter, samt klorid og natrium. Koncentrationerne er vurderet i forhold til Miljøstyrelsens kriterier for lettere forurenede jord (jordkvalitetskriteriet) og forurenede jord (afskæringskriteriet) (Miljøstyrelsen 2010). Sedimentet fra regnvandsbassinerne er sammenlignet med sedimentet fra naturlige søer, således at man kan vurdere belastningen af regnvandsbassinerne, og vurdere den indflydelse de har på recipienterne. Det er kun udvalgte data om kulbrinter, cadmium og zink, der vil blive nærmere beskrevet i denne artikel.

2. Resultater af de kemiske analyser

Der er indsamlet sediment fra 70 regnvandsbassiner, og ved hvert bassin er der målt 10 kemiske og 9 fysiske parametre (f.eks. bassinets areal, afstand til vej, alder, årsdøgntrafik (ÅDT) og lign.). Hele datasættet er for omfattende at beskrive i denne artikel og der er derfor fokuseret på eksempler med zink, cadmium og kulbrinter.

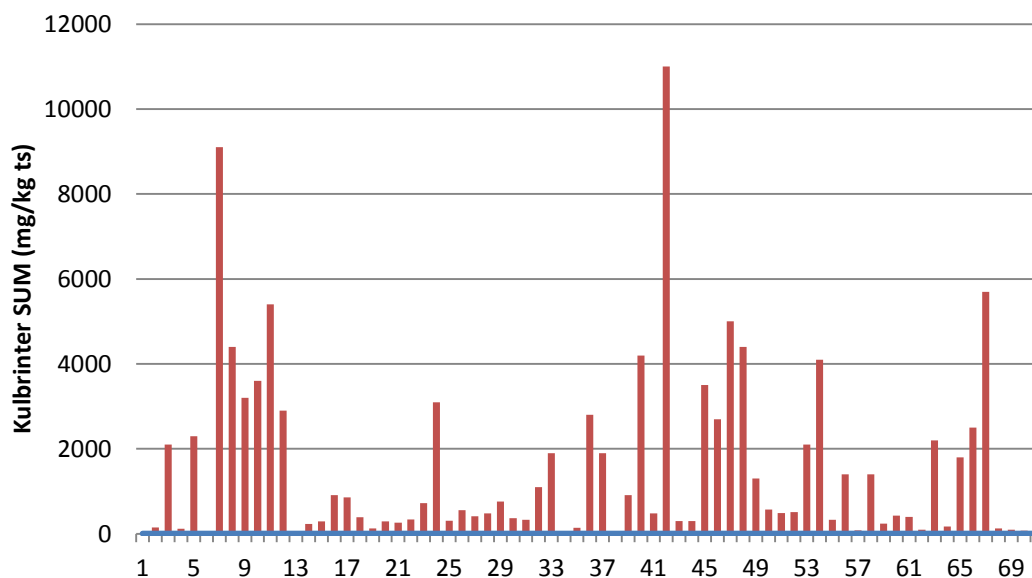
2.1 Sedimentets forureningsgrad

I Danmark er der fra statens side fastsat to grænseværdier, der adskiller ren jord fra lettere forurenede jord (jordkvalitetskriteriet) og lettere forurenede jord fra forurenede jord (afskæringskriteriet) (Miljøstyrelsen 2010). Disse grænseværdier er fastsat for en lang række miljøfremmede stoffer, og er afgørende for hvordan sedimentet i regnvandsbassinerne klassificeres, og efterfølgende skal behandles hvis det graves op. Koncentrationen af miljøfremmede stoffer i sedimentet kan også give en indikation af, hvor stort problemet er med miljøfremmede stoffer i vandfasen.

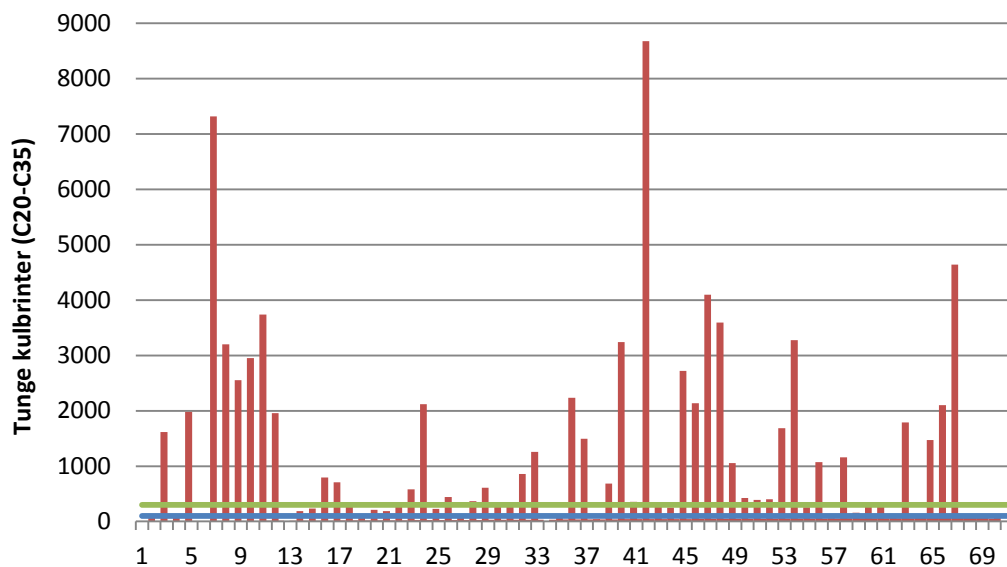
Tabel 1 er en oversigt over de analyserede parametre, og den forureningsgrad stofferne giver anledning til. Variationen i summen af kulbrinter er meget stor, og spænder fra under detektionsgrænsen på 0,1 mg/kg ts til 11000 mg/kg ts. Der er kun 7 bassiner der ikke kommer over jordkvalitetskriteriet på 100 mg/kg ts for summen af alle kulbrinter (Figur 1). Dvs. at 90% af bassinerne har sediment, der som minimum er lettere forurenede med kulbrinter. Der findes ikke noget afskæringskriterium for summen af alle kulbrinter, men kun for koncentrationen af tunge kulbrinter (C20-C35) (300 mg/kg ts). På Figur 2 er summen af tunge kulbrinter udregnet og koncentrationerne viser, at 43 bassiner har koncentrationer over afskæringskriteriet og mange af dem ligger langt over. Derved har mindst 61% af bassinerne sediment der er forurenede. 16 af bassinerne har koncentrationer over 2000 mg/kg ts. Det er mere end 6 gange afskæringskriteriet, og det må vurderes som en meget kraftig forurening af sedimentet.

De fleste zinkkoncentrationer i bassinerne er mellem 50 og 500 mg/kg ts (Figur 3). 24% af bassinerne har værdier for lettere forurenede sediment (>500 mg/kg ts) og 8,6% af bassinerne har sediment der er forurenede (>1000 mg/kg ts).

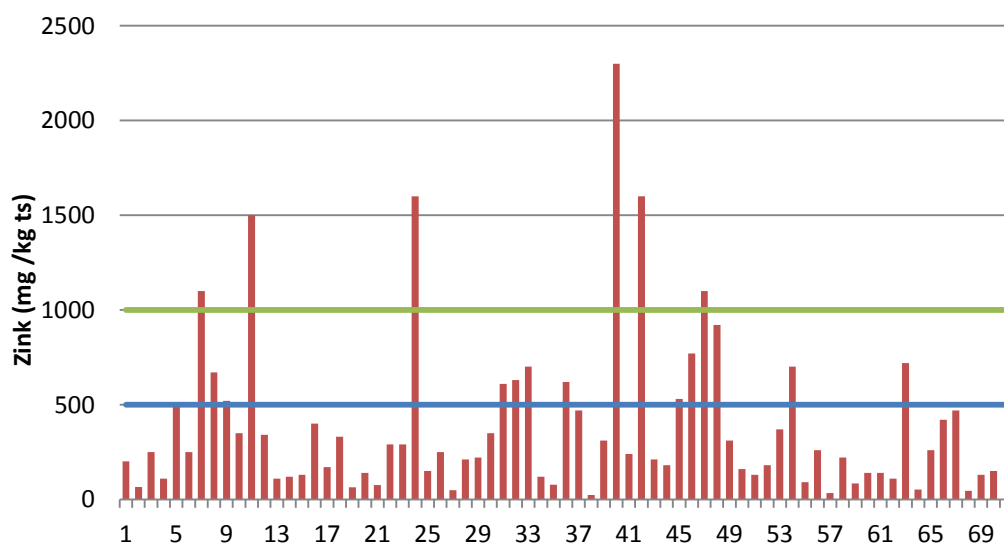
Nikkel og zink er de tungmetaller, der findes i højeste koncentrationer i forhold til afskæringskriteriet (Tabel 1). Kobber, krom, bly og cadmium findes alle i bassinerne, men ikke over afskæringskriteriet. PAH indholdet ligger lavt, og udgør derfor ikke nogen stor forureningsmæssig bekymring for bassinerne. Koncentrationen varierer meget mellem de analyserede parametre. Der skal dog kun være en af parametrene, der overskrider grænseværdierne, for at jorden skal behandles som lettere forurenede eller forurenede. Derfor er der mange bassiner der har forurenede sediment, da kulbrinterne udgør så stor en forureningskilde i forhold til de andre. Antallet af forurenede bassiner kan reduceres fra 61% til 20% (nikkel-niveau), hvis indholdet af kulbrinter reduceres til værdier under Miljøstyrelsens afskæringskriterium for forurenede jord.



Figur 1. Summen af kulbrinter i 70 regnvandsbassiner, fordelt over hele Danmarks statsvejnet. Grænsen for lettere forurenede sediment er 100 mg/kg tørstof (blå linie). For summen af alle kulbrinter findes der ikke noget afskæringskriterium for forurenede jord, men for tunge kulbrinter er grænsen 300 mg/kg tørstof.



Figur 2. Indholdet af tunge kulbrinter (C20-C35) i sediment fra regnvandsbassiner. Grænseværdien for lettere forurenede sediment er 100 mg/kg ts (blå linie) og for forurenede sediment 300 mg/kg ts (grøn linie). 61% af bassinerne har forurenede sediment.



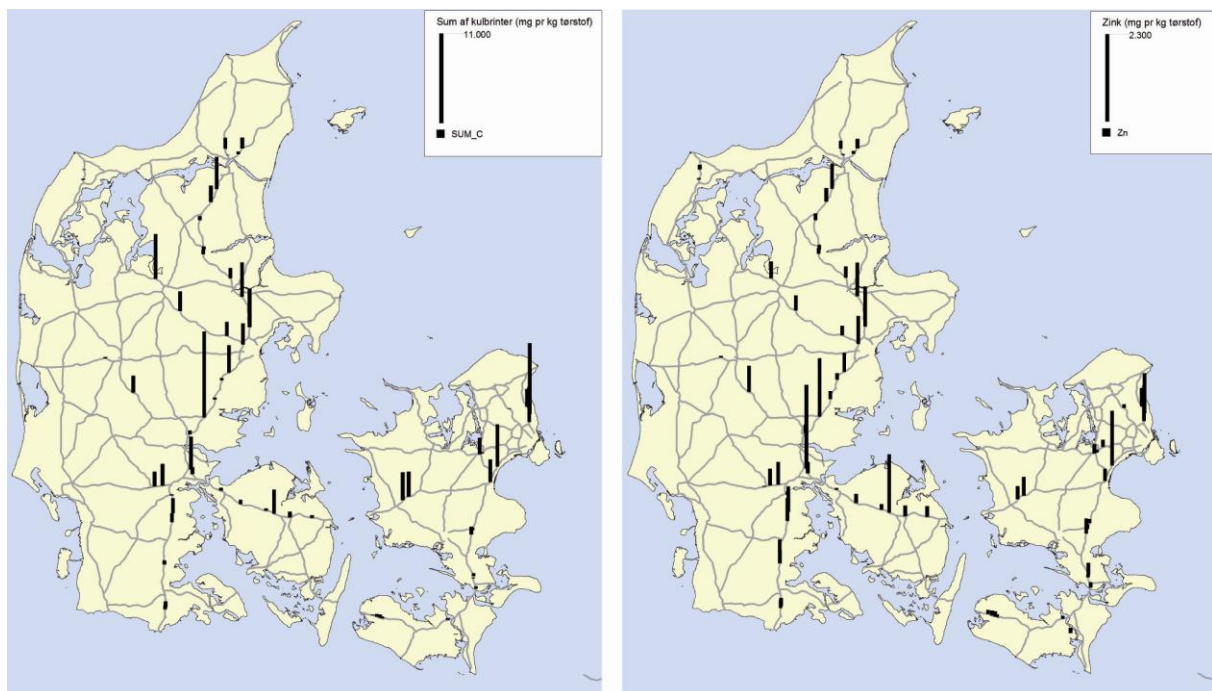
Figur 3. Koncentrationen af zink i 70 regnvandsbassiner fordelt over det danske statsvejnet. 24% af bassinerne har sediment der er lettere forurenede og 8,6% er forurenede. Den blå linie er jordkvalitetskriteriet på 500 mg/kg tørstof for lettere forurenede jord og den grønne linie er afskæringskriteriet på 1000 mg/kg tørstof for forurenede jord.

Tabel 1. Antallet af regnvandsbassiner i procent, der ligger over hhv. jordkvalitetskriteriet og afskæringskriteriet. Prøverne fra sedimentet i bunden af bassinerne er analyseret for kulbrinter, PAH og tungmetaller, og resultaterne viser, at mindst 90% af bassinerne har sediment der er lettere forurenet (baseret på summen af kulbrinter) og mindst 61% har sediment, der er forurenet (baseret på tunge kulbrinter, C20-C35). Det høje antal bassiner der er forurenet skyldes indholdet af kulbrinter. I 20% af regnvandsbassinerne er nikkel koncentrationerne så høje, at sedimentet klassificeres som forurenet.

Parameter	% over jordkvalitetskriteriet (lettere forurenet sediment)	% over afskæringskriteriet (forurenet sediment)
Bly	49	0
Cadmium	62	0
Krom	60	0
Nikkel	20	20
Kobber	1,4	0
Zink	24	8,6
Kulbrinter	90	61
PAH	17	0
Højeste værdi	90	61

2.2 Geografisk fordeling i Danmark

På Figur 4 er den geografiske fordeling vist for henholdsvis kulbrinter og zink, og de højeste koncentrationer findes ved Odense, København og strækningen mellem Kolding og Randers. Samme tendens finder man for resten af tungmetallerne og PAH. Tendensen på kortet er forsøgt korreleret mellem den totale mængde miljøfremmede stoffer og årsdøgntrafik (ÅDT), tykkelsen af sedimentet og bassinets alder, men uden at finde signifikante korrelationer.



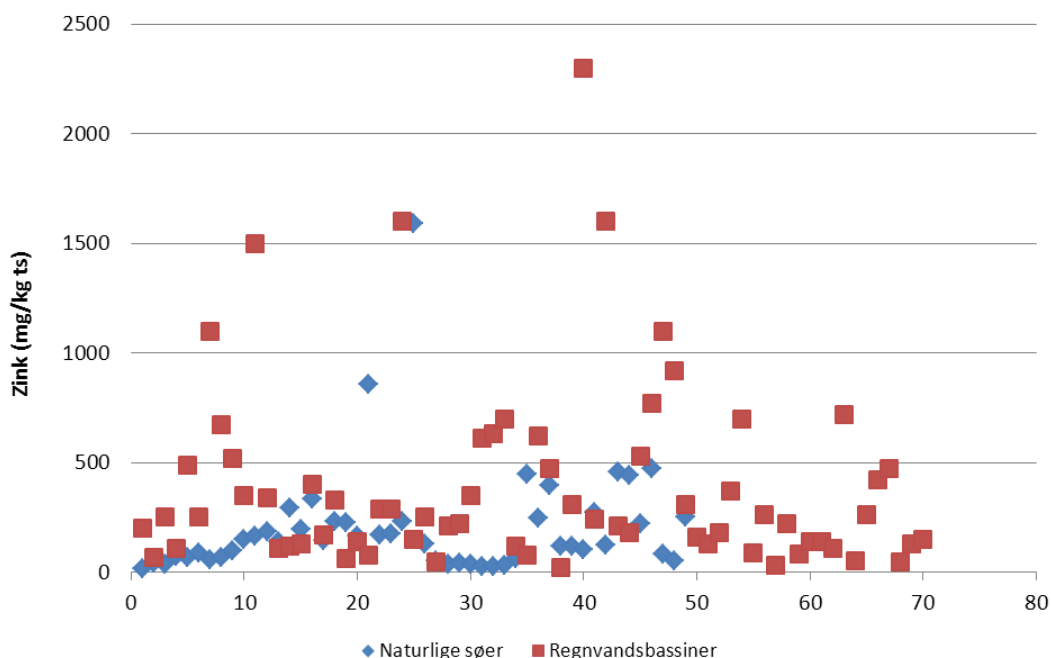
Figur 4. Koncentrationen af kulbrinter og zink i sedimentet, illustreret som søjler ved de enkelte bassiners geografiske placering i Danmark.

2.3 Sammenligning med naturlige danske søer, reference søer.

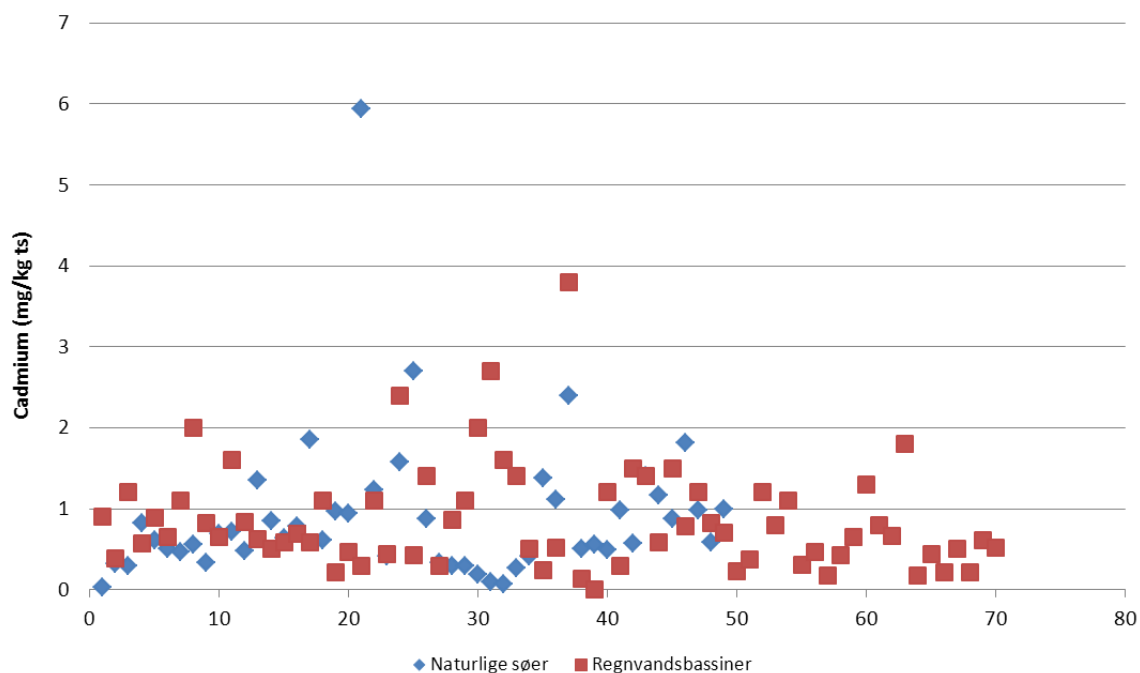
Regnvandsbassinernes forureningsgrad er sammenlignet med 38 naturlige søer (referencesøer). Data fra referencesøerne er indsamlet gennem litteraturstudie, som dækker 36 søer (DMU, 2010; Aarhus Amt, 2006), og gennem egen prøvetagning af to søer. Det er kun muligt at sammenligne regnvandsbassinernes kulbrintekoncentrationer med disse to søer, da de andre 36 søer ikke har kulbrintemålinger. De to søer har tilsammen ni analyser og de viser kun målbare koncentrationer i tre ud af ni prøver, og de har alle ganske lave værdier (50-80 mg/kg ts). Så vurderet på et spinkelt grundlag ser det ud til at der kun er ganske få kulbrinter i sediment fra naturlige søer, og det høje indhold af kulbrinter i regnvandsbassinerne må derfor skyldes vejens bidrag.

På nær to, ligger alle referencesøers indhold af zink under jordkvalitetskriteriet på 500 mg/kg ts. (Figur 5). Der findes enkelte toppe i koncentrationen af zink i regnvandsbassinerne, men generelt ligger niveauerne meget nær hinanden. Det er altså ikke meget tydeligt, at det er fra vejen at de lettere forhøjede zink-koncentrationer kommer, men det er nok det mest sandsynlige. En statistisk analyse viser, at søerne og bassinerne ikke har sammenfaldende middelværdier, og at regnvandsbassinernes middelværdier er højere (Tabel 2). I tabellen ses at sammenfaldet ikke er så klart som for blandt andet bly, nikkel og cadmium.

Referencesøernes cadmiumkoncentrationer (Figur 6) ligger i niveau eller lige over gennemsnittet for regnvandsbassinerne og den statistiske analyse viser, at gennemsnitskoncentrationerne er sammenfaldende (Tabel 2). En enkel referencesø er sågar over afskæringskriteriet. Det generelt høje niveau over 0,5 mg/kg ts viser, at mange regnvandsbassiner (62%) og referencesøer (84%) er lettere forurenede. Cadmiumkoncentrationen i de naturlige søer stammer formodentlig fra den tid, hvor der blev ledt urensset spildevand ud i vandmiljøet, og hvor det efterfølgende har bundet sig til organisk materiale og lerpartikler.



Figur 5. Sammenligning mellem regnvandsbassiners og naturlige søers indhold af zink i sedimentet. Visuelt ser niveauerne ud til at være rimeligt sammenfaldende, dog med lidt flere regnvandsbassiner med høje koncentrationer. Statistisk variansanalyse viser, at middelværdierne for søer og regnvandsbassiner ikke er sammenfaldende (Tabel 2).



Figur 6. Sammenligning mellem regnvandsbassiners og naturlige søers indhold af cadmium i sedimentet. Visuelt ser niveauerne ud til at være sammenfaldende og statistisk variansanalyse bekræfter dette (Tabel 2).

Tabel 2. 95%-konfidensintervaller for forskellen i middelværdi mellem målinger fra søer og regnvandsbassiner ($\mu_{Søer} - \mu_{Bassiner}$). Konfidensintervaller der ikke indeholder værdien 0, og hvor det må konkluderes at søernes og bassinernes gennemsnitskoncentrationer er forskellige, er markeret med rødt. Omvendt er konfidensintervaller der indeholder værdien 0 markeret med grønt, og her kan det ikke afvises, at der er samme gennemsnitskoncentrationer. Er intervallerne røde og negative, betyder det at regnvandsbassinernes middelværdi er højere end referencesøernes.

Stof	Interval
Cadmium (Cd)	-0,25 til 0,33
Krom (Cr)	-13,83 til -3,07
Kobber (Cu)	-102,70 til -40,89
Nikkel (Ni)	-8,70 til 6,29
Bly (Pb)	-31,35 til 9,85
Zink (Zn)	-320,93 til -51,43
Kulbrinter <C10	-32,89 til -5,49
Kulbrinter C10-C25	-764,78 til -36,79
Kulbrinter C25-35	-2181,13 til -97,41
Kulbrinter total	-2965,78 til -153,23
PAH - Fluoranthen	-0,17 til 0,25
PAH - Benz(b+j+k)fluoranthen	-0,08 til 0,37
PAH - Benzo(a)pyren	-0,07 til 0,12
PAH - Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,06 til 0,31
PAH - Dibenzo(a,h)anthracen	0,02 til 0,08
PAH total	-0,20 til 1,08
NaCl	-4049,84 til 142,26

3. Diskussion

3.1 Forureningens vej fra kilde til omgivelser

Tungmetaller, kulbrinter og PAH indgår som bestanddele i selve bilerne, deres dæk, brændstoffet, asfaltbelægningen, og vejens udstyr, og det er derfor næsten uundgåeligt at slid på veje, biler, dæk og bremses vil frigive miljøfremmede stoffer til omgivelserne. I tørre perioder vil bestanddelene lægge sig som støv på vejen og i rabatterne. Noget støv vil hvirvles op i luften og forblive i suspension, og derved spredes med vinden til de omgivende arealer. Ved nedbør skylles det ned i vejens dræn og til naturlige recipienter. Hollandske undersøgelser viser, at størstedelen af forureningen spredes via atmosfæren i form af bilernes sprøjt fra vejkanterne, og i den vanddamp der ligger over kørebanen. I tørre situationer ligger forureningen på vejen eller hvirvles op i luften og spredes til omgivelserne, hvor den depositionerer. (van Bohemen & Janssen van der Laak (2007). I Danmark har EU-projektet POLMIT undersøgt to motorvejsrabatter i Danmark og rabatjorden viste væsentlige koncentrationer af kulbrinter og salt, og lidt lavere mængder tungmetaller og PAH. De konkluderer, at der foregår en stor akkumulation af forurening i rabatjorden, da den ældste rabatjord indeholder de højeste koncentrationer (Lehmann et al. 2001). Sammenligninger mellem drænasfalt og traditionel asfalt i Holland har vist, at en stor del af sprøjtet kan reduceres ved brug af drænasfalt, da vejene er hurtigere tørre på overfladen. Drænasfalten tilbageholder også meget forurening i porerummene og begrænser derved den samlede stofudledning til omgivelserne (van Bohemen & Janssen van der laak 1993). Konsekvensen af dette må være, at det kun er en del af forureningen der rent faktisk ender i vandfasen og ledes til regnvandsbassinerne. I denne undersøgelse er det vist, at bassinsedimentets forureningsgrad svinger mellem lettere forurenede og forurenede, og at der altså stadig transporteres betydelige mængder miljøfremmede stoffer til bassinerne. Kulbrinterne udgør langt den største forureningskilde i forhold til Miljøstyrelsens grænseværdier, og zink og nikkel er de største bidragsydere blandt tungmetallerne. PAH viser kun i ganske få tilfælde værdier, der har betydning for sedimentets forureningsgrad. Det betyder, at en begrænsning i tilførslen af kulbrinter til afvandingssystemet kan reducere antallet af bassiner med høj forureningsniveau betydeligt.

3.2 Regnvandsbassinerne funktionalitet

Kantopsamling er den mest anvendte metode i Danmark til opsamling af regnvand fra kørebanen. Ved kantopsamlingsmetoden sikres det, at nedbøren, og derved også noget af forureningen, bliver ledt til et regnvandsbassin, hvor der sker en bundfældning inden vandet bliver ledt videre til en naturlig recipient. Hvor stor en procentdel af forureningen der aldrig når regnvandsbassinerne kunne være meget interessant at finde ud af. En undersøgelse fra Sverige har vist, at det ikke er meget af overfladevandet der ender i grøfternes afvandringsriste, men at størstedelen af nedbøren falder i så små mængder, at det når at nedsive i rabatten. Dette vand når altså aldrig ned i grøften og ned i dræningsrørene (Billberger 2011).

Bentzen (2008) har lavet et studie der viser at 80 % af det opslemmede materiale bliver tilbageholdt af bassinet, og at vind har en stor effekt. Jo mere læ bassiner har, jo bedre fungerer bundfældningen. Bassinerne fungerer altså i høj grad, og tilbageholder meget forurening. Bentzen (2008) mener, at man ved hjælp af få virkemidler, fx den rette udformning af bassinet, og læ for vinden, kan få bassinerne til at virke endnu bedre.

3.3 Sammenligning med naturlige søer

Regnvandsbassinerne har ikke markant højere niveau i tungmetaller og PAH end referencesøerne. Vi ved, at de naturlige søer igennem tiden har haft mange kilder til forurening, specielt gennem udledning af urensede spildevand og dambrug, og det forklarer mange af de høje værdier i de naturlige søer. De fleste af disse kilder er i dag fjernet, men de tungt opløselige miljøfremmede stoffer ligger stadig indlejret i sedimentet, blot i lidt dybere lag (Aarhus Amt 2009). Sammenligningen med referencesøerne underbygger, at tungmetaller og PAH ikke udgør det helt store problem for regnvandsbassinerne og at en indsats mod kulbrinteforureningen vil forbedre miljøet væsentligt. Sammenligningen viser imidlertid også, at sedimentet i bunden af mange danske søer er lettere forurenede, og at søernes baggrundsniveau ikke nødvendigvis er det rigtige at stole efter som mål for regnvandsbassinerne.

3.4 Ingen korrelation mellem forureningen og mængden af trafik

Kortene på figur 4 og 5 er eksempler på de ti kort der er produceret for de kemiske parametre. De viser den geografiske fordeling af stofkoncentrationerne i Danmark, og spredningsmønstrene virker identiske for alle stofferne. De højeste koncentrationer ligger omkring København, Odense og langs Kolding-Randers strækningen. Det er derfor nærliggende at tro, at der må være en direkte sammenhæng til mængden af biler på vejene (årsdøgntrafikken). Det kan dog ikke påvises, at der er en sammenhæng mellem f.eks det samlede indhold af forurenende stoffer og den trafik der kører på vejen ($R^2 = 0,0233$). Det er noget overraskende, da man

umiddelbart skulle tro, at jo flere biler der kører på vejen, jo mere forurening vil ende i bassinerne. Alle indsamlede parametre er testet statistisk og det har ikke været muligt at finde nogle parametre, der giver en signifikant korrelation. Det har heller ikke været muligt at finde en succesfuld korrelation i litteraturen. Det tyder på, at koncentrationerne af stoffer i regnvandsbassinet også er bestemt af mange andre faktorer. Blandt andet kan luftforureningen fra byerne have en stor indflydelse, og det vil også give sig udslag som forhøjede koncentrationer omkring større byer og industriområder.

4. Konklusion

Der er undersøgt 70 bassiner for en række kemiske stoffer, og indholdet er vurderet i forhold til grænserne for lettere forurenede og forurenede jord. Antallet af bassiner der overstiger grænseværdierne svinger meget mellem stofferne. Men da der kun skal være en parameter der overskrider grænseværdien, for at jorden skal behandles derefter, så ender det samlet med høje andele af lettere forurenede og forurenede sediment. Det skyldes, at kulbrinter udgør så stor en forureningskilde i forhold til de andre. Resultatet af undersøgelsen er, at mindst 90% af bassinerne indeholder lettere forurenede jord, og mindst 61% indeholder forurenede jord. Ud over kulbrinterne er nikkel og zink de eneste stoffer, der har koncentrationer over grænsen for forurenede jord. En sammenligning mellem referencesøerne og regnvandsbassinerne viser, at indholdet af PAH og tungmetaller ikke er markant forskelligt. Dette forhold gælder dog ikke for kulbrinter, der ved en sammenligning med kun to referencesøer, viser, at der er meget højere koncentrationer af kulbrinter i regnvandsbassinerne.

Referencer

- Bentzen**, T.R. 2008: Accumulation of pollutants in highway detention ponds, pp 60 Aalborg University Department of Civil Engineering, ISSN 1901-7294, DCE Thesis No. 13
- Billberger**, M. 2011. Tvådimensionell transport av salt, vatten och värme i vägkroppen. Publikation: 2010:100, Trafikverket, Borlänge
- Bjerring**, R. Johansson, L.S., Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Landkildehus, F., Sortkjær, L. & Wiindolf, J. 2010: Søer 2009. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 96s. – Faglig rapport fra DMU nr. 803. <http://www.dmu.dk/Pub/FR803.pdf>
- Grauert**, M, Larsen, M. & Møllerup, M. 2011. Sedimentanalyser fra 70 regnvandsbassiner – med fokus på indholdet af miljøfremmede stoffer. Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut, Rapport 191.
- Lehmann**, K.J.N, Holm, P.E., Christensen, L.B. & Pihl, K.A. 2001: Stofspredning fra veje til jord og vand. Vand & Jord, 8 årgang, nr. 3.
- Miljøstyrelsen 2010**, http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Jord/Nyheder_jord/kriterier-jord.htm
- Retzel**, A. 2006: Miljøfremmede stoffer i sedimentet fra søer i Gudenåsystemet, Århus Amt, Natur & miljø, 2006.
- van Bohemen**, H. D. og Janssen van de Laak, W. H. 2007: The influence of road infrastructure on traffic on soil, water and air quality. Environmental Management 31(1), pp 50-68. DOI: 10.1007/s00267-002-2802-8.