



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Forundersøgelse: Farlige stoffer i asfalt og spredning af disse ved anvendelse af opbrudt asfalt

Miljøprojekt nr. 1576, 2014

Titel:

Forundersøgelse: Farlige stoffer i asfalt
og spredning af disse ved anvendelse af
opbrudt asfalt

Redaktion:

Ole Hjelmar, Erik Aagaard Hansen, DHI
Thomas Hougaard, Golder Associates

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2014

ISBN nr.

978-87-93178-57-1

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

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

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord.....	5
Sammenfatning og konklusion	6
Summary and Conclusion	9
1. Indledning	13
1.1 Baggrund	13
1.2 Formål og tilgang	14
2. Oversigt over forekomst af potentielt forurenende stoffer i asfalt	16
2.1 Hovedbestanddelene i asfalt	16
2.1.1 Asfalt og bitumen	16
2.1.2 Bindemiddel	16
2.1.3 Tilslag	17
2.1.4 Filler.....	18
2.1.5 Slipmidler	18
2.1.6 Fibre.....	18
2.1.7 Polymerer	18
2.1.8 Klæbeforbedrende stoffer	19
2.2 Analysering og testning af indhold og udvaskning af stoffer	19
2.2.1 Generelt	19
2.2.2 Faststofanalyser	21
2.2.3 Kolonneudvaskningstest.....	22
2.2.4 Batchudvaskningstest	22
2.2.5 pH-afhængighedstest	23
2.2.6 Anvendelse og sammenligning af udvaskningstests.....	23
2.3 Stofindhold i og stofudvaskning fra opbrudt asfalt	24
2.3.1 Datagrundlag.....	24
2.3.2 Sammenligningsgrundlag	24
2.3.3 Forekomst af potentielt miljøskadelige stoffer i knust asfalt	25
3. Krav til anvendelse af opbrudt asfalt i andre lande	30
3.1 Indledning	30
3.2 Belgien.....	30
3.3 Frankrig.....	31
3.4 Holland.....	31
3.5 Norge	33
3.6 Sverige	34
3.7 Tyskland	35
3.8 Østrig.....	36
3.9 Grænseværdier for anvendelse af knust asfalt på ubunden form	37
4. Scenarier for anvendelse af opbrudt asfalt som erstatning for primære råstoffer ved vejbygning	45
4.1 Opstilling af anvendelsesscenarier.....	45
4.2 Indledende vurdering af scenarier	47

5. Scenarieberegninger til vurdering af risikoen for påvirkning af grundvand ved ubunden anvendelse af knust asfalt	49
5.1 Scenarier.....	49
5.2 Modelforudsætninger	50
5.3 Modelberegninger	51
5.4 Resultater af beregningerne	53
6. Vurderinger og anbefalinger vedrørende anvendelse af opbrudt asfalt	57
6.1 Bemærkninger til vurderinger og anbefalinger	57
6.2 Bundne anvendelser	57
6.3 Ubundne anvendelser	57
6.4 Yderligere anbefalinger	58
Referencer	59

Bilag 1: Data for stofindhold og udvaskning fra knust asfalt

Bilag 2: Forskellige landes krav til stofindhold og stofudvaskning ved anvendelse af knust asfalt på ubunden form

Forord

Miljøstyrelsen har fået gennemført et projekt med henblik på at tilvejebringe et tilstrækkeligt solidt fagligt grundlag til brug for fastlæggelse af fremtidige krav til anvendelse af opbrudt asfalt til vejbygningsformål som erstatning for primære råstoffer, uden særlig tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven. Projektet har imidlertid vist, at de eksisterende informationer om indhold af farlige stoffer i dansk asfalt og risikoen for udvaskning og dermed spredning af disse er meget sparsomme. Projektet efterlader dermed en række åbne spørgsmål om asfalts indhold af farlige stoffer og om spredning af disse ved anvendelse af knust asfalt, hvorfor Miljøstyrelsen betragter projektet som en forundersøgelse.

Projektet er udført af Golder Associates (Thomas Hougaard) og DHI (Ole Hjelmar og Erik Aagaard Hansen). Projektledelsen er varetaget af Ole Hjelmar, som også har kvalitetssikret projektet. Projektet har været finansieret af Miljøstyrelsen.

Projektet har haft en følgegruppe bestående af:

Lene Gravesen J&A, Miljøstyrelsen: Juni 2012 til oktober 2012 og oktober 2013 til april 2014

Ulla Højsholt J&A, Miljøstyrelsen: Oktober 2012 til april 2014

Anne-Sofie Nielsen J&A, Miljøstyrelsen: Juni 2012 til oktober 2013

Sammenfatning og konklusion

Der er foretaget en indsamling, vurdering og behandling af foreliggende relevante informationer om indhold i og udvaskning af potentielt miljøskadelige stoffer fra knust asfalt og blandinger af knust asfalt og beton, om risikoen for spredning af disse til jord og grundvand, når knust asfalt genbruges på bunden form i varm asfalt eller genanvendes på ubunden form til vejbygningsformål, og om andre landes krav til sådanne anvendelser. Det overordnede formål har været at tilvejebringe et tilstrækkeligt solidt fagligt grundlag til brug for Miljøstyrelsen til fastlæggelse af fremtidige krav til anvendelse af opbrudt asfalt til vejbygningsformål som erstatning for primære råstoffer.

Der er gennemført følgende aktiviteter:

- Opstilling af en oversigt over forekomst og udvaskning af forurenende stoffer i asfalt.
- Opstilling af en oversigt over andre landes miljømæssige krav – og baggrund herfor - til anvendelse af opbrudt asfalt og blandinger af opbrudt asfalt og beton som erstatning af primære råstoffer til vejbygningsformål.
- Udarbejdelse af forslag til prioritering af, hvilke stoffer der bør fokuseres på i fastlæggelse af krav til anvendelse opbrudt asfalt, som erstatning for primære råstoffer på grundlag af de indsamlede data.
- Opstilling af scenarier for anvendelse af opbrudt asfalt som erstatning for primære råstoffer til vejbygningsformål.
- Vurdering af de miljømæssige konsekvenser af anvendelse af opbrudt asfalt i forhold til spredning af farlige stoffer til jord og grundvand på grundlag af de opstillede scenarier og indsamlede data m.v.

Blandt undersøgelsens væsentligste resultater og konklusioner, som skal ses i lyset af de meget sparsomme informationer, som har været tilgængelige vedrørende indhold af farlige stoffer i dansk asfalt og risikoen for udvaskning af disse, er følgende:

Forekomst og udvaskning af potentielt forurenende stoffer i knust asfalt

Det anslås, at mængden af opbrudt asfalt i Danmark i 2013 udgjorde ca. 600.000 tons, hvoraf ca. 70% blev genanvendt til produktion af varm asfalt. Den resterende mængde blev nyttiggjort som aggregat på ubunden form, eventuelt i blandinger med knust beton, eller deponeret.

Asfalt består af et bindemiddel (op til ca. 5 %), som i dag udgøres af bitumen, der for 40 – 60 år siden erstattede kultjære, som i modsætning til bitumen har et højt indhold af polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre potentielt miljøskadelige stoffer (f.eks. rapporteres indhold af benz(a)pyren i bitumen på 0,1 til 27 mg/kg, mens det i stenkultjære kan være op til 5500 mg/kg). Hovedbestanddelen i asfalt er tilslag, som består af mineralske materialer, og som sammen med finere mineralsk materiale, filler, typisk udgør 94 – 97 % af asfalten. Restprodukter som stålslagger og kulflyveaske (i Holland også flyveaske fra affaldsforbrænding) kan ofte erstatte dele af de primære råstoffer, der anvendes som tilslag og filler. Hovedparten af indholdet af potentielt miljøskadelige uorganiske stoffer i asfalten skønnes at stamme fra tilslag og filler. Herudover kan asfalten indeholde små mængder af slipmidler, fibre, polymerer og klæbeforbedrende stoffer, som ikke skønnes at bidrage væsentligt til indhold, udvaskning og spredning af potentielt miljøskadelige stoffer fra knust asfalt, som produceres i dag.

Der foreligger kun meget få informationer om stofindhold i og stofudvaskning fra danske prøver af knust asfalt (2 – 8 prøver, afhængigt af stofgruppe), mens der fra Holland findes data for indhold af

organiske stoffer og udvaskning af uorganiske stoffer fra op til mere end 100 prøver af knust asfalt. Yderligere er der fundet et norsk datasæt med indhold af uorganiske stoffer, PCB og PAH i op til 63 prøver af asfalt fra veje i tre byer. Resultaterne viser, at indholdet af kulbrinter og PAH, herunder specielt benz(a)pyren og dibenz(a, h)anthracen i knust asfalt kan overskride jordkvalitetskriterierne og i nogle tilfælde også Miljøstyrelsens afskæringskriterier for jord. Jordkvalitetskriterierne angiver, for en række stoffer, herunder PAH-er og kulbrinter, om jorden i forhold til menneskers sundhed, frit kan anvendes, mens afskæringskriterierne angiver, om forureningen har en grad som gør, at der skal ske en afskæring fra jorden eller om jorden skal fjernes fra arealer med meget følsom anvendelse. PCB synes ikke at være til stede i noget væsentligt omfang (oftest under detektionsgrænsen). Indholdet af uorganiske stoffer, herunder sporelementer og tungmetaller, synes ikke at give anledning til væsentlige overskridelser af jordkvalitetskriterierne. Dette kan naturligvis ændre sig ved anvendelse af andre restprodukter som tilslag eller filler. Udvasningen af kulbrinter, PCB og PAH er kun målt på fire danske prøver, men ligger for kulbrinter på et niveau, som bør indgå i overvejelserne omkring fastsættelse af eventuelle grænseværdier. Udvasningen af PCB kan ikke måles, og udvasningen af PAH er lav og kan næppe forventes at udgøre et spredningsproblem.. For den ene danske prøve, som er testet for udvaskning af uorganiske stoffer, overskrider Kategori 1+2-kriterierne i Bekendtgørelse nr. 1662 af 21. december 2010 om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurenet bygge- og anlægsaffald (BEK 1662/2010) for Cr, Cu og Ni. Bekendtgørelsens kategori 1 og 2 angiver, hvilke koncentrationer af en række forskellige stoffer i affaldsforbrændingsslagge m.v. samt hvilken udvaskning af stoffer fra affaldsforbrændingsslagge m.v., der er miljømæssigt acceptabelt når slaggen m.v. anvendes i forskellige anlægsarbejder som erstatning for primære råstoffer. For det mere omfattende hollandske datasæt overskrider udvasningen for mere 90 % af prøverne de danske Kategori 1+2-kriterier for As, Hg og Pb, og mere end 50 % overskrider de tilsvarende kriterier for Ni, mens 10 % overskrider kriterierne for Cd. Det bemærkes, at det som nævnt er almindeligt at anvende flyveaske fra affaldsforbrænding som filler i asfalt i Holland. Endelig er der på en tysk prøve af knust asfalt målt en forholdsvis høj udvaskning af NH₄ og DOC (opløst organisk kulstof).

Andre landes krav til knust asfalt, som ønskes genbrugt eller genanvendt

Betingelserne for genbrug af knust asfalt til nye asfaltbelægnings er beskrevet for en række europæiske lande. Generelt fokuseres der på krav til den knuste asfalts indhold af PAH, og i nogle tilfælde også på indhold og udvaskning af andre stoffer.

I Belgien (Flandern), Frankrig, Holland, Sverige, Tyskland og Østrig er der grænseværdier for såvel stofindhold i som stofudvaskning fra knust asfalt, der ønskes anvendt på ubunden for til f.eks. vejbygningsformål. For Frankrigs, Sveriges og Østrigs vedkommende er dog tale om vejledende regler. For Frankrigs og Hollands vedkommende er kravene til faststofindhold begrænset til organiske stoffer, mens de for Belgiens, Sveriges, Tysklands og Østrigs vedkommende omfatter både organiske og uorganiske stoffer. Kravene til stofudvaskning er udelukkende fokuseret på uorganiske stoffer. Kravene til såvel faststofindhold som stofudvaskning varierer betydeligt fra land til land og afspejler forskelle mellem landene i anvendelsesbetingelser, beskyttelsesniveau, sårbarhed og miljøbeskyttelsespolitik. Det fremgår af en sammenligning, at de danske udvaskningskrav til Kategori 1+2-anvendelse af restprodukter og jord i BEK 1662/2010 (som vel at mærke ikke gælder for knust asfalt) er mere restriktive end værdierne for de øvrige lande for As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se og Zn.

Forslag til prioritering af stoffer

Ved direkte genbrug af knust asfalt som bestanddel i varm asfalt (d.v.s. på bundet form) vurderes det ikke at være nødvendigt at stille krav til indhold eller udvaskning af miljøskadelige stoffer, da situationen ikke afviger fra forholdene ved anvendelse af ny asfalt, og da tjæreholdig asfalt på nuværende tidspunkt må forventes stort set at være udfaset fra de danske veje.

Ved genanvendelse af knust asfalt til vejbygningsformål, hvor knust asfalt anvendes i stedet for sand, grus og sten (dvs. på ubunden form), foreslås det på grundlag af den gennemførte undersøgelse, at der for så vidt angår stofindhold fokuseres på kulbrinter og PAH, herunder specielt benz(a)pyren og benz(a,h)anthracen. Såfremt det vides, at der er anvendt restprodukter som tilslag eller filler, kan det også være nødvendigt at vurdere indhold af sporelementer/tungmetaller, f.eks. dem, for hvilke der er opstillet jordkvalitetskriterier. Det foreslås endvidere, at der med hensyn til stofudvaskning fokuseres specielt på kulbrinter og på Cr, Cu, Ni, Hg og Cd samt NH₄ og DOC. Det kan anbefales, at udvaskningen af alle de stoffer, for hvilke der i BEK 1662/2010 er etableret grænseværdier for stofudvaskning, vurderes i forbindelse med en undersøgelse som beskrevet nedenfor.

Det må understreges, at kendskabet til indhold i og udvaskning af stoffer fra dansk knust asfalt er yderst sparsomt, og det foreslås derfor, at der på et repræsentativt antal prøver af dansk knust asfalt (ikke under 20 prøver) gennemføres såvel faststofanalyser som udvaskningstests for de ovennævnte stoffer. I kombination med de nedenfor foreslåede scenarieberegninger kan denne undersøgelse formentlig ligge til grund for en ”typegodkendelse” med tilhørende anvendelsesbetingelser og medføre, at det ikke vil være nødvendigt at stille krav om generel analyse og testning af knust asfalt, som ønskes anvendt på ubunden form under nærmere specificerede forhold.

Anvendelsesscenarier

Med udgangspunkt i en opstilling og diskussion af en seks forskellige scenarier for bunden og ubunden anvendelse af knust asfalt med eller uden tæt dæklag og/eller geotekstil vurderes det, at de følgende to anvendelsesformer på nærmere specificerede betingelser vil være miljømæssigt acceptable:

- A) **Bunden genbrug i varm asfalt:** Anvendelse af knust asfalt som bestanddel i varm asfalt adskiller sig i miljømæssig henseende ikke fra udlægning af ny varm asfalt baseret på primære råstoffer. Som følge af den udfasning af tjærebaseret asfalt, som er foregået gennem de sidste 4-5 årtier, må PAH-indholdet i den opbrudte asfalt antages at have nået et niveau, som er acceptabelt i relation til risikoen for spredning via udvaskning. Udvasningen af andre miljøskadelige stoffer fra asfalt på bunden form kan forventes at være lav. Risikoen for spredning på partikelform vurderes at være begrænset.
- B) **Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer i vejklaser m.v. med tæt overliggende dæklag og brug af underliggende geotekstil til adskillelse af nedknust asfalt og underliggende jord:** Anvendelse af knust asfalt i vejklaser med tæt dæklag og underliggende geotekstil medfører en vis mulighed for udvaskning, men kan i betydeligt omfang begrænse risikoen for spredning af den nedknuste asfalt i omgivelserne og den underliggende jord ved senere fjernelse af vejen.

Vurdering af de miljømæssige påvirkninger af anvendelsesscenarier for knust asfalt

Med udgangspunkt i anvendelse af opbrudt asfalt som beskrevet i scenarie B ovenfor på ubunden form som bundsikringslag på henholdsvis 40 cm og 85 cm under asfaltbelægning ved en 12 m bred vej og med en antaget infiltration af nedbør på 60 mm/år er der som eksempel ved hjælp af en numerisk stoftransportmodel gennemført scenarieberegninger for udvaskning af en række stoffer med henblik på en vurdering af påvirkningen af grundvandet under og nedstrøms for vejen. Resultaterne og en sammenligning med de indsamlede udvaskningsdata for knust asfalt viser, at der ved denne anvendelsesform under disse forudsætninger ikke kan forventes at forekomme uacceptable påvirkninger af grundvandet under eller nedstrøms for vejen. Det skal dog understreges, at der bør gennemføres specifikke scenarievurderinger for det eller de anvendelsesscenarier og -betingelser, som man måtte fastlægge for anvendelse af knust asfalt på ubunden form, og at beregningsresultaterne bør vurderes på baggrund af resultaterne af den ovenfor foreslåede undersøgelse af stofindhold i og stofudvaskning fra dansk knust asfalt.

Summary and Conclusion

Available relevant information on the content and leachability of potentially environmentally harmful substances in crushed asphalt and mixtures of crushed asphalt and crushed concrete has been collected, processed and assessed. Information was also collected and assessed on the risk of spreading of such substances to soil and groundwater when crushed asphalt is re-used in hot asphalt mixes in bound form in road construction or is recycled as an aggregate in unbound form, also for road construction purposes. The overall objective has been to produce a base of knowledge that would be sufficient to support the Danish Environmental Protection Agency (DEPA) in establishing future criteria for the use of crushed asphalt in road construction as a substitute for primary raw materials.

The study has included the following activities:

- Establishment of an overview of the content and leachability of contaminating substances in asphalt.
- Establishment of an overview of the environmental protection measures and criteria associated with the use of crushed asphalt and mixtures of crushed asphalt and crushed concrete as a substitute for primary raw materials in road construction – and the rationale behind such measures and criteria.
- Preparation of a proposal for a prioritised list of substances which should be considered when setting criteria for the re-use or recycling of crushed asphalt in road construction, based on the data collected.
- Establishment of scenarios for the re-use and recycling of crushed asphalt as a substitute for primary raw materials in road construction.
- Assessment of the environmental consequences of the re-use and recycling of crushed asphalt in relation to spreading of harmful substances to soil and groundwater, based on the established scenarios and the data collected.

The main results and conclusions of the study, which should be seen in view of the very scarce information that was available regarding the content and leachability of potentially harmful substances in Danish asphalt, are listed in the following:

Content and leachability of potentially polluting substances in crushed asphalt

The amount of crushed asphalt produced in Denmark in 2013 is estimated at approximately 600,000 tonnes of which approximately 70 percent were re-used for the production of hot asphalt. The remainder was recycled as unbound aggregate, possibly mixed with crushed concrete, or landfilled.

Asphalt consists of a binder (up to 5 percent) that today consists of bitumen which 40 to 60 years ago replaced coal tar. In contrast to bitumen, coal tar has a high content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and other substances that are potentially harmful to the environment or human health (as an example, contents of benzo(a)pyrene between 0.1 and 27 mg/kg have been reported for bitumen whereas it can reach 5500 mg/kg in coal tar). The main ingredient in asphalt is aggregate which consists of mineral materials and which, together with finer mineral materials, filler, typically make up 94 to 97 percent of the asphalt. Residual waste materials such as steel slags and coal fly ash (in The Netherlands also fly ash from municipal solid waste incinerators) can often substitute part of the primary raw materials that are used as aggregates and fillers. The main part of

the potentially environmentally harmful inorganic substances is assumed to originate from the aggregates and fillers. In addition, the asphalt may contain small amounts of release agents, fibers, polymers and performance improving additives, which are not expected to contribute significantly to content, leaching and spreading of potentially harmful substances from crushed concrete produced today.

Very limited information exists on content and leachability of (harmful) substances in Danish samples of crushed asphalt (2 to 8 samples, depending on substance), while in The Netherlands data on the content of organic substances and the leachability of inorganic substances are available for more than 100 samples of crushed concrete (due to differences such as the use of municipal solid waste incinerator (MSWI) fly ash in Dutch asphalt these data are not completely applicable to Danish conditions). In addition, data on the content of inorganic substances, PCB and PAH in up to 63 samples of asphalt from roads in three Norwegian cities were found. The results show that the content of hydrocarbons and PAH, particularly benzo(a)pyrene and dibenzo(a,h)anthracene in crushed asphalt may exceed the Danish Soil Quality Criteria and in some cases also the Soil Contamination Cut-off Criteria established by DEPA. The Soil Quality Criteria indicate for a number of substances, including PAHs and hydrocarbons, whether the soil, based on human health considerations, can be used freely without restrictions. The Soil Contamination Cut-off Criteria indicate whether the contamination is severe enough to require isolation or if the soil must be removed from sensitive areas. No significant amounts of PCB appear to be present in asphalt (generally below the limit of detection). The content of inorganic substances, including trace elements and heavy metals, does not appear to exceed the Soil Quality Criteria to any significant degree. This could, of course, change if other residual waste products are used as aggregate or filler. The leaching of hydrocarbons, PCB and PAH has only been determined for four Danish samples of crushed asphalt and mixtures of crushed concrete and asphalt but the level of leaching of hydrocarbons appears to be high enough to warrant consideration if leachability criteria are to be set for crushed asphalt. The leaching of PCB cannot be measured, and the leaching of PAH is low and can hardly be expected to constitute a spreading problem. The one Danish sample of crushed asphalt for which the leachability has been tested exceeds the Category 1+2 leaching limit values in the Danish Statutory Order no. 1662 of 21 December 2010 on recycling of residual waste materials and soil for construction purposes and on recycling of sorted, unpolluted construction and demolition waste (BEK 1662/2010) for Cr, Cu and Ni (crushed asphalt is not covered by BEK 1662/2010). The Categories 1 and 2 in Statutory Order 1662 indicate which contents and leachabilities of a number of substances in e.g. MSWI bottom ash are environmentally acceptable when the bottom ash is used for various construction purposes as a substitute for primary raw materials. For the more comprehensive Dutch dataset, more than 90 percent of the samples exceed the Danish Category 1+2 leaching criteria for As, Hg and Pb and more than 50 percent exceed the corresponding criteria for Ni, while 10 percent exceed the limit values for Cd. A single German sample of crushed asphalt tested for leachability exhibited relatively high leachabilities of ammonia and dissolved organic carbon (DOC).

The requirements in other countries on crushed concrete to be re-used or recycled

The conditions on re-use of crushed asphalt for new asphalt covers have been described for a number of European countries. Generally, focus is on criteria for the content of PAH in the crushed asphalt, and in some cases also on content and leachability of other substances.

In Belgium (Flanders), France, The Netherlands, Sweden, Germany and Austria limit values exist for both content and leachability of certain substances from crushed asphalt to be used in unbound form as aggregates e.g. for road construction. However, in France, Sweden and Austria, the limit values are guiding, not regulatory. In France and The Netherlands, the limit values for content are limited to organic substances, whereas in Belgium, Sweden, Germany and Austria they also include inorganic substances. The requirements on leaching only include inorganic substances. The limit values for both content and leachability vary substantially from one country to another and reflect

differences in use conditions, environmental protection level, vulnerability and environmental protection policy. A comparison indicates that the Danish leaching criteria for recycling according to Category 1+2 in Statutory Order 1662/2010 (which as mentioned above does not apply to crushed asphalt) are more restrictive than the limit values in the other countries for As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se and Zn.

Proposal for prioritisation of substances

For direct re-use of crushed asphalt as part of hot asphalt mixtures (i.e. in bound form) it is not considered necessary to impose requirements or limits on content or leachability of environmentally harmful substances since the situation is the same as when new asphalt is used, and since tar-containing asphalt by now is expected to have been phased out from the Danish roads.

For recycling of crushed asphalt for road construction purposes where crushed concrete is replacing sand, gravel and stones (i.e. as aggregates in unbound form), it is proposed on the basis of the study to focus on hydrocarbons and PAH, in particular benzo(a) pyrene and dibenzo(a,h)anthracene as far as content is concerned. If it is known that residual waste materials have been used as aggregates or fillers, it may also be necessary to assess the content of trace elements/heavy metals, e.g. those for which Soil Quality Criteria exist. As far as leaching is concerned it is proposed to focus on hydrocarbons and Cr, Cu, Ni, Hg and Cd as well as NH₄ and DOC. It is recommended that the leachability of all the substances for which there are leaching limit values in Statutory Order 1662 be assessed in connection with a study as described below. It must be emphasised that the knowledge of content and leachability of substances in Danish crushed asphalt is very limited, and it is therefore proposed to determine both content and leachability of the above mentioned substances from not less than 20 samples that are representative of the asphalt in roads in Denmark. In combination with the scenario calculations proposed below such a study may possibly lead to a "type approval" with associated conditions of use. This could mean that it may not be necessary to require further analysis and testing of crushed asphalt to be used in unbound form under specified conditions.

Application scenarios

Based on establishment and discussion of six different scenarios for bound and unbound use of crushed asphalt with or without tight cover and/or geotextile it is considered that the following two applications on further specified conditions are likely to be environmentally acceptable:

- A. **Bound re-use in hot asphalt:** From an environmental perspective, the re-use of crushed asphalt in hot asphalt mixtures does not differ from the use of asphalt based only on new raw materials. Due to the out-phasing of tar-based asphalt that has taken place over the past 4 to 5 decades, the PAH content in the crushed asphalt can be expected to have reached a level which is acceptable in relation to the risk of spreading by leaching. The leaching of other environmentally harmful substances from asphalt in bound form can be expected to be low. The risk of spreading with particles is considered low.
- B. **Unbound use as a substitute for primary raw materials in roads etc. with a tight cover and use of underlying geotextile to separate the crushed concrete from the soil below:** Application of crushed concrete in roads with a tight cover and underlying geotextile may lead to (limited) leaching but will to a large extent limit the risk of spreading of crushed asphalt particles to the surroundings and the underlying soil when the material is eventually removed.

Assessment of the environmental impact of application scenarios for crushed concrete

Based on recycling of crushed asphalt as described above under scenario B in unbound form as subbase layers of 45 cm and 85 cm, respectively, under asphalt cover in a 12 m wide road and

assuming a rate of infiltration of precipitation of 60 mm/year, a numerical transport model has been used to carry out scenario calculations with leaching and release of a number of substances to assess the impact on the groundwater below and downstream of the road. The results and a comparison of the collected available data on asphalt leachability show that for this type of application with under conditions used, unacceptable impacts on the groundwater below and downstream of the road are not likely to occur. The calculations should be regarded as examples to illustrate the methodology, and specific calculations should be carried out for those scenarios and use conditions that may be selected for use of crushed concrete in unbound form. The results of such calculations should be assessed in relation to the results of the study of at least 20 representative samples of crushed Danish asphalt proposed above.

1. Indledning

1.1 Baggrund

I 2011 blev ca. 473.000 tons af den asfalt, som blev brudt op fra eksisterende veje i Danmark, genbrugt i nye varmblandede asfaltbelægninger (bunden form), mens yderligere godt 100.000 tons af den opbrudte asfalt anvendtes i på ubunden form (som aggregat på partikelform) i bærelag og som bundsikring, bl.a. i mindre befærdede veje (Asfaltindustrien, 2013; EAPA, 2012). Der findes ikke nogen præcis, tilgængelig opgørelse over den samlede produktion af opbrudt asfalt i Danmark i 2011, men i ISAG-systemet blev den i 2009 opgjort til ca. 960.000 tons (Miljøstyrelsen, 2013). Ifølge afløseren af ISAG, Affaldsdatasystemet (ADS), som fortsat delvis er under indkøring, blev der i 2011 genanvendt ca. 420.000 tons bitumenholdigt materiale (Miljøstyrelsen, 2013). Det må antages, at den mængde opbrudt asfalt, som ikke genbruges på bunden form eller anvendes på ubunden form, oplagres eller deponeres. For 2012 angiver Asfaltindustrien (2013), at mængden af opbrudt asfalt genbrugt som varmblandet asfalt var ca. 445.000 tons, mens det samme sted anføres, at den i 2009 kun var på ca. 168.000 tons. Asfaltindustrien oplyser i 2013, at ca. 70% af en mængde af opbrudt asfalt på mindst 600.000 tons anvendes i produktion af ny asfalt (Krog, 2013).

I Danmark benytter man p.t. udelukkende varmblandet asfalt (EAPA, 2013). RGS 90 A/S havde en kort overgang en afdeling for udlægning af koldblandet asfalt baseret på genbrug af nedknust asfalt. Afdelingen nåede at lægge nogle få dæklag, før den blev solgt til NCC Roads omkring 2007. NCC har siden lukket produktionen uden at have gennemført større udlægninger. Genbrug af opbrudt asfalt til kolblandet asfalt vil derfor ikke blive diskuteret yderligere.

Opbrudt asfalt skal i medfør af § 65, Stk. 2 i Affaldsbekendtgørelsen (Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1309 af 18/12/2012) udsorteres som en selvstændig affaldsfraktion, hvis mængden overstiger 1 ton.

Udgangspunktet for anvendelse af opbrudt asfalt som erstatning for primære råstoffer, i bygge- og anlægsarbejder, uden konkret tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven, er Miljøstyrelsens cirkulæreskrivelse af 15. juli 1985 om anvendelse af opbrudt asfalt til vejbygningsformål m.v., samt Miljøstyrelsens vejledning om tolkning af cirkulæreskrivelsen. Ifølge cirkulæreskrivelsen kan opbrudt asfalt anvendes uden en konkret tilladelse efter miljøbeskyttelseslovens § 11 (nu § 19) til vejbygningsformål m.v. forstået som bundsikring og befæstelse af veje, stier, pladser og lignende, uanset om disse forsynes med vandtæt bærelag/slidlag eller ikke.

Af Miljøstyrelsens fortolkning af cirkulæreskrivelsen i referatark dateret 25. november 1985 fremgår det, at "befæstelse" omfatter såvel etablering af egentlige vejanlæg som simpel udlægning af opbrudt asfalt med stabilisering af et areal for øje. Det fremgår videre, at hvis der er tale om et egentligt vejanlæg kan den nedknuste asfalt indgå i bundsikringen og/eller nedknust i stabilgruset. Den samlede tykkelse af konstruktionen kan være op til 1 meter. Er der tale om udlægning, der alene har stabiliseringsformål, må lagtykkelsen ikke være mere end 50 cm. Det understreges i fortolkningen, at befæstelsen skal have et formål, der rækker videre end deponering.

Siden 1985 er der imidlertid sket væsentlige ændringer i reguleringen på miljøområdet.

Efter den nugældende miljøbeskyttelseslovs § 19 er der krav om tilladelse, hvor stoffer, produkter og materialer, der kan forurene grundvand, jord og undergrund, nedgraves i jorden, udledes eller

oplægges på jorden eller afledes til undergrunden. På tidspunktet for cirkulæreskrivelsens udstedelse omfattede den dagældende § 11 alene en beskyttelse af grundvandet og altså ikke af jord og undergrund, som § 19 i dag også har som beskyttelsesområde.

Lov om forurennet jord blev vedtaget juni 1999 og trådte i kraft 1. januar 2000. Loven omfatter jord, der på grund af menneskelig påvirkning kan have skadelig virkning på grundvand, menneskers sundhed og miljøet i øvrigt. Det er Miljøstyrelsens vurdering, at placering af opbrudt asfalt i ubunden form og med direkte kontakt til jorden kan udgøre en risiko for jordforurening af det berørte areal i jordforureningslovens forstand.

I Slaggedommen (Højesteret, 2010), fandt retten, at et areal kan kortlægges som forurennet på baggrund af forekomst lovligt udlagt nedknust slagge.

Miljøstyrelsen specificerer d. 1. oktober 2010 (Miljøstyrelsen, 2010c) følgende om kortlægning af jord med nedknust asfalt:

"Uanset om en tidligere udbringning af asfalt er sket med henvisning til ovennævnte cirkulæreskrivelse fra 1985 kan kortlægning af asfalt komme på tale, når

- *genbrugsasfalten ikke er en del af asfaltlaget*
- *asfalten er udlagt i knust form*
- *der konstateres jord med indhold af asfaltklumper*
- *der enten konstateres eller er risiko for jordforurening under et tidligere asfaltudlæg (f.eks. vej)*
- *der påtræffes arealer hvor der er/har været ikke miljøgodkendte asfaltoplag.*
- *Kortlægning kan dog undlades ud fra konkret viden om det aktuelle materiale eller ud fra betragtninger om omfanget eller tilgængeligheden af forureningen."*

Hertil kommer, at den ældre cirkulæreskrivelse om genanvendelse af asfalt er utilstrækkelig i forhold til kravet i det gældende Affaldsdirektiv (2008/98/EC) om, at behandling, herunder anvendelse af affald, skal ske efter en konkret tilladelse eller generelle regler, der fastlægger krav til mængder m.v.

Regeringen har med affaldsstrategi 2010 (Regeringen, 2011), bl.a. ønsket at øge kvaliteten i genanvendelse af bygge- og anlægsaffald, og Miljøstyrelsen har på den baggrund igangsat nærværende arbejde.

1.2 Formål og tilgang

Det overordnede formål er at tilvejebringe et tilstrækkeligt solidt fagligt grundlag til brug for fastlæggelse af fremtidige krav til anvendelse af opbrudt asfalt til vejbygningsformål som erstatning for primære råstoffer, uden særlig tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven.

Dette er mere konkret sket ved gennemførelse af følgende aktiviteter:

- Opstilling af en oversigt over forekomst af forurenende stoffer i asfalt (koncentration og hyppighed). Dette emne er behandlet i Kapitel 2.
- Opstilling af en oversigt over udvaskning af forurenende stoffer i asfalt: (testtype, koncentration og hyppighed). Dette emne er behandlet i Kapitel 2.
- Opstilling af en oversigt over andre landes miljømæssige krav – og baggrund herfor - til anvendelse af opbrudt asfalt og blandinger af opbrudt asfalt og beton som erstatning af primære råstoffer til vejbygningsformål. Dette emne er behandlet i Kapitel 3.
- Udarbejdelse af forslag til prioritering af, hvilke stoffer der bør fokuseres på i fastlæggelse af krav til anvendelse opbrudt asfalt, som erstatning for primære råstoffer, uden særlig tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven på grundlag af de indsamlede data. Dette emne er behandlet i Kapitel 6 og i Sammendrag og Konklusion.

- Opstilling af scenarier for anvendelse af opbrudt asfalt som erstatning for primære råstoffer til vejbygningsformål. Dette emne er behandlet i Kapitlerne 4, 5 og 6.
- Vurdering af de miljømæssige konsekvenser af anvendelse af opbrudt asfalt i forhold til spredning af farlige stoffer til jord og grundvand på grundlag af de opstillede scenarier og indsamlede data m.v. Dette emne er behandlet i Kapitlerne 5 og 6.

2. Forekomst af potentielt forurenende stoffer i asfalt

2.1 Hovedbestanddelene i asfalt

2.1.1 Asfalt og bitumen

Ordet "asfalt" er oprindeligt det græske ord for jordbeg. Det blev brugt om naturligt forekommende råbitumen, dvs. en tyktflydende sort substans, som består af den rest, der efterlades, når råolie siver ud på jordoverfladen og med tiden mister sine lette komponenter via fordampning og udvaskning. I dag anvendes ordet næsten udelukkende om vejbelægninger bundet med bitumen.

Asfalt består i korte træk af en organisk binder og et eller flere mineralske tilslag. Hertil kommer en række andre stoffer, der iblandes for at forbedre asfaltens egenskaber. Binderen udgør normalt 3,5 – 5 % af asfalten mens tilslag og andre faste materialer udgør de resterende 94-97 % af asfalten.

2.1.2 Bindemiddel

Tilslaget holdes sammen af en organisk binder, der i dag består af bitumen.

Bitumen udvindes i dag fra råolie og udgøres af destillationsresten, efter raffinering af råolien med eller uden damp.

Bitumen består af komplekse højmolekylære kulbrinter med et kogepunkt på mere end 600 °C (Yen, & Chilingarian, 1994) og en gennemsnitlig molmasse på ca. 750 (500 – 1000) g/mol (Groenzin & Mullins, 2007). I nogle sammenhænge diskuteres det, om asfalt nærmere skal betegnes som en form for polymer (Yen, & Chilingarian, 2000)

Bitumen i ren form er et sortbrunt materiale, der ved stuetemperatur kan være alt fra en tyktflydende væske til et hårdt, glasagtigt og sejt materiale, der langsomt bliver blødere med stigende temperatur. Der er stor forskel på sammensætningen af bitumen alt efter hvilken råolie den stammer og hvilken destillationsproces og efterbehandling, der er anvendt (Wess et. al, 2005).

Tidligere anvendtes i et vist omfang stenkulstjære eller blandinger af bitumen og stenkulstjære, hvor stenkulstjæren blev tilsat som klæbeforbedrende middel (Falstrup og Pedersen, 2000), men det gik man af forskellige grunde væk fra i perioden fra ca. 1950 og godt en snes år frem. Den anvendte tjære var bl.a. karakteriseret ved et højt indhold af polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH'er), men efter at tjæren blev erstattet af bitumen i asfalten, er indholdet af PAH'er i asfalt faldet drastisk siden slutningen af 1960'erne, (Miljøstyrelsen, 2002). Bitumen indeholder desuden ifølge samme kilde meget mindre mængder af phenoler og NSO-forbindelser (heterocykliske kvælstof-, svovl- og iltforbindelser) end stenkulstjære. Indholdet af forskellige PAH'er i forskellige produkter, herunder bitumen og stenkulstjære, er vist i Tabel 2-

Ren stenkulstjære er primært blevet anvendt i den type belægninger, der kaldes macadam. et tjærebundet slidlag bestående af sammenknuste skærver (Glahn, 1952). Erfaringen fra RGS 90 A/S produktion af koldasfalt baseret på genanvendt nedknust asfalt er, at der meget sjældent blev konstateret indhold af stenkulstjære i den processerede asfalt. Tjæren kunne let konstateres på sin karakteristiske lugt, selv ved lave behandlingstemperaturer (Holm, 2013, Lindau-Skands, 2013). I

dag må derfor det antages, at den tjæreholdige asfalt stort set er forsvundet fra de danske veje p.g.a. den løbende udskiftning med bitumen.

TABEL 2-1 PAH-INDHOLD I OLIEPRODUKTER OG STENKULSTJÆRE (MILJØSTYRELSEN, 2002).

PAH		Benzin	Dieselolie	Bitumen	Stenkulstjære
Naphthalen	ppm	900–4.000	200–4.000	i.o.	7.000–99.000
Methylnaphthalen	ppm	i.o.	5.700–9.100	i.o.	4.200–19.600
Phenanthren	ppm	15–21	0–429	0,3–7,0	10.000–63.000
Fluoranthren	ppm	1,7–7,5	37	0,1–28	33.000
Pyren	ppm	1,6–12,8	0–41	0,08–35	21.000
Benz(a)anthracen	ppm	0,04–2,7	1,2	0,2–35	6.500
Benzo(a)pyren	ppm	0,09–8,3	0,6	0,1–27	5.500
> 3 ringede PAH	ppm	~ 100	<50.000	i.o.	300.000–650.000

i.o. ikke oplyst.

Som tommelfingerregel kan man i dag regne med, at nedknust asfalt indeholder 3,5 % bitumen (Pihl et al., 2004). Tidligere, omkring 1950, angiver (Glahn, 1952) et indhold af binder i pulverasfalt på 5-7 vægtprocent.

Der anvendes årligt ca. 180.000 ton bitumen til produktion af asfalt i Danmark, heraf er ca. 9.000 ton, svarende til 5 % er polymermodificeret (Helk, 2009).

2.1.3 Tilslag

Tilslag eller aggregater består af mineralske materialer og har til formål at bibringe fylde, mekanisk styrke og slidstyrke til den færdige blanding efter udlægning. Tilslag udgør som nævnt sammen med filler normalt ca. 94 - 97 % af asfalten.

I slidlag anvendes danske såkaldte bakkematerialer i sandfraktionen og knust granit i stenfraktionen. I bærelagene anvendes primært danske bakkematerialer. Eventuelt anvendes kalcineret (varmebehandlet) flint eller danopal, der fremstilles af sand, kalk og dolomit ved brænding, for at gøre asfalten lysere (Mertz, 1998).

Restprodukter kan i et vist omfang erstatte de naturlige stenmaterialer både som tilslag og som filler. Allerede i 30'erne lavede man pulverasfalt med slagge fra B&W skibsværft (Mertz, 1998) og i begyndelsen af halvtredserne beskriver Glahn (1952) brug af stålslagge i pulverasfalt.

Elektroovnsslagge fra Det Danske Stålvalseværk er siden 1984 blevet oparbejdet og anvendt som erstatning for granitskærver. Tarco Vej aftog i slutningen af halvfemserne hele Stålvalseværkets produktion af elektroslagge, svarende til omkring 60.000 tons årligt, og importerede desuden slagge fra Tyskland og Sverige. I 1992 anvendte tolv asfaltfabrikker elektroovnsslagge og to andre overvejede at benytte slaggen (Mertz, 1998). Anvendelsen stålslagge er dog stoppet i forbindelse med lukningen af Stålvalseværket, men blev slaggeholdig asfalt blev solgt frem til og med 2007 (Munck, 2007).

Brugte blæsemidler fra sandblæsning i form af kvartssand, kobberslagge og aluminiumssilikat-slagge, der er handelsnavnet for bundasken fra visse typer kulfyrede kraftværker, er også blevet anvendt i asfalt. Kobberslagge er et restprodukt fra fremstilling af kobber (Mertz, 1998).

Vejopfej har været forsøgt anvendt i mindre målestok i de sidste 10 – 15 år (Ludvigsen, 2001), men er stadig et materiale hvis brug er under udvikling. NCC modtog således Nordisk Vejteknisk Forenings Miljøpris i 2011 for udnyttelsen af fejesand i produktionen af asfalt (Sigh, 2011).

2.1.4 Filler

Filler er materialer med en kornstørrelse på maksimalt 0,075 mm. Filler tilsættes asfalten for at udfylde de mindste hulrum og for at stabilisere bindemidlet. Der anvendes flere typer af filler: egenfiller, som er det støv der udfældes ved rensning af røggassen på asfaltfabrikken, findelt kalk, hydratkalk, cement og kulflyveaske (Mertz, 1998). I Holland har man anvendt flyveaske fra affaldsforbrændingsanlæg som filler, hvilket kan være årsagen til den konstaterede udvaskning af nogle sporelementer (se Tabel B1-5 og B1-6 i Bilag 1). I 1992 anvendte 10 asfaltfabrikker i Danmark kulflyveaske med et samlet årligt forbrug af på omkring 35.000 tons (Miljøstyrelsen, 1996). Dette kunne være årsagen til udvaskningen af Cr og Ni i den enlige danske prøve, for hvilken der foreligger udvaskningsresultater på knust form (se Tabel B1-2 i Bilag 1).

2.1.5 Slipmidler

Slipmidler til optræksvogn og lastvogne har traditionelt været dieselolie, men i dag findes der række alternativer, som giver mindre afdampning af kulbrinter. For eksempel anvendes asfaltsæbe, der er sæbebaserede, emulgerede planteolier eller paraffinolie. Stenmel anvendes i et vist omfang som slipmiddel på vognlad (Mertz, 1998).

Slipmidler har kun været anvendt i meget begrænset omfang og vurderes at være uden praktisk betydning for genanvendelse af asfalt.

2.1.6 Fibre

Der har gennem tiderne været anvendt en række mineralske og organiske fibre som støttefiller i asfalt i koncentrationer på op til ca. 0,3 vægtprocent (Lavin, 2003).

Cellulosefibre anvendes som støttefiller i skærvemastiks, en asfalttype med store skærver og tykke bitumenhinder (Mertz, 1998). Cellulosefibre er den mest anvendte fiber i asfalt (Lavin, 2003), men også mineralske fibre og fibre af termoplastiske materialer som polypropylen anvendes (Grace, 2007)

Fibre anvendt i asfalt vil være meget tæt bundet i bitumen, og risikoen for frigivelse af fibre vurderes at være uden praktisk betydning for genanvendelse af asfalt.

2.1.7 Polymerer

Anvendelsen af polymerer i asfalt strækker sig mere end 60 år tilbage, til den tid da man begyndte at anvende blæst bitumen, d.v.s. bitumen, hvorigennem der i varm tilstand var blæst luft. Dette forårsagede en delvis iltning af bitumen, hvorved denne opnåede større sejhed efter udlægning, delvis på grund af øget polymerisering (McNally, 2011).

Bitumen kan være modificeret bl.a. gennem tilsætning af polymerer af typen ethylen-vinyl-acetat, EVA, og styren-butadien-styren, SBS, (Mertz, 1998), (Robinson, 2004), (McNally, 2011), og styren-butadien-copolymer (Munck Asfalt, 2011).

Polymermodificeret asfalt bruges typisk under krævende forhold med skiftende klima og store belastninger. Således er landingsbanerne på Gardermoen Lufthavn ved Oslo konstrueret med styren-butadien-styren-modificerede bindere (Blazejowski, 2011).

En anden polymermodifikation består i at tilsætte asfaltmassen findelt gummigranulat i en mængde på omkring 3 % i såkaldt "gummiasfalt". Det medfører en fleksibel asfalttype, som har til formål at hindre isdannelse på kørebanen og revnedannelse fra underlaget. "Gummiasfalt" er brugt i begrænset omfang på forsøgsveje (Mertz, 1998).

Der er således en gradvis overgang fra polymermodificeret asfalt til fiberforstærket asfalt.

På baggrund af polymerstofferne tætte binding i bitumenmatrixen og deres store molekyl størrelse er risikoen for frigivelse af stofferne til omgivelserne i forbindelse med genanvendelse meget lille.

Forekomst af polymerer vurderes derfor at være uden praktisk betydning for genanvendelse af asfalt.

2.1.8 Klæbeforbedrende stoffer

Klæbeforbedrende stoffer tilsættes for at forøge vedhæftningen mellem bitumen og tilslag. Som klæbeforbedrende stoffer bruges langkædede (C₁₂-C₁₈) alifatiske aminer. Aminerne har erstattet stenkulstjære som klæbeforbedrende stof (Mertz, 1998).

Rent kemisk omfatter gruppen af alifatiske aminer en meget lang række teknisk vigtige forbindelser, der alle består af et centralt kvælstofatom med 1-3 alifatiske radikaler. Alifatiske aminer reagerer basisk i vandig opløsning og danner let opløselige salte.

Alifatiske aminer optræder vidt udbredt i naturen, og en del fungerer som signalstoffer m.m. (Eller et al., 2005).

I fri tilstand som gasser eller opløst i vand, virker alifatiske aminer kraftigt irriterende på slimhinderne. Toksiciteten af fri alifatiske aminer er moderat med LD₅₀-værdier for mus og rotter mellem 200 og ca. 2000 mg/kg (Eller et al., 2005).

I et speciale fra Gøteborgs Universitet (Lindgren, 2011) fandtes der ikke nogen klare sammenhænge mellem koncentrationer af udvaskede alifatiske aminer fra asfalt og toksicitet overfor dafnier.

Alifatiske aminer anvendes som smagsstof i fødevarer (European Food Safety Authority (EFSA), 2012).

Der vides ikke meget om de alifatiske aminers persistens. De findes vidt udbredt, og et antal er bl.a. fundet i tyske floder i koncentrationer på 1-5 µg/l (Brust, 2001). Dette kan fortolkes som en indikation af, at de ikke umiddelbart omsættes. På baggrund af de alifatiske aminers tætte binding i bitumenmatrixen må risikoen for frigivelse af stofferne til omgivelserne i forbindelse med genanvendelse umiddelbart vurderes at være lille. Der foreligger ingen data om stofferne, men vurderingen kan begrundes med det forhold, at der er tale om forholdsvis langkædede alifatiske aminer, og biotilgængeligheden af alifatiske molekyler falder normalt med stigende kædelængde.

Forekomst af alifatiske aminer anvendt som klæbeforbedrende stof vurderes derfor at være uden praktisk betydning for de miljømæssige effekter af genanvendelse af asfalt.

2.2 Analysering og testning af indhold og udvaskning af stoffer

2.2.1 Generelt

I afsnit 2.1 er en række af de materialer og stoffer, som indgår eller kan indgå i den udlagte asfalt gennemgået. Da listen, som bygger på tilgængelige data, næppe er fuldstændig, og da indholdet af de forskellige materialer og stoffer kan variere fra sted til sted og med udlægningstidspunktet, vil det være hensigtsmæssigt at basere en vurdering af asfaltens miljømæssige egenskaber på resultater af analyser og tests af den knuste asfalt, snarere end på antagelser om de oprindelige indholdsstoffer. Informationerne fra afsnit 2.1 om mulige indholdsstoffer kan indgå i grundlaget for valget af stoffer, der skal analyseres og testes for. Den opbrudte og knuste asfalt, som er det produkt, der ønskes nyttiggjort, vil også kunne indeholde stoffer, som ikke er indgået i fremstillingen af asfalten, men som kan være tilført eller dannet under brugen af asfalten.

I dette afsnit (2.2) diskuteres anvendelsen af stofindhold og stofudvaskning i relation til risikoen for påvirkning af miljøet og menneskers sundhed, og forskellige analyse- og udvaskningsmetoder beskrives. I afsnit 2.3 beskrives dels det (sparsomme) eksisterende datamateriale vedrørende indhold af potentielt miljøskadelige stoffer i knust asfalt og udvaskningen af disse, dels de grænseværdier, som det foreslås at anvende i vurderingen af disse data.

Jordkvalitetskriteriet for et forureningsstof er beregnet ud fra stoffets toksicitet kombineret med en generaliseret eksponeringsvej fra jord til menneske, typisk hudkontakt, oral indtagelse eller indånding af dampe. Jordkvalitetskriteriet angiver et forureningsindhold i jorden, hvor ingen effekt kan forventes. Ved måling af sundhedsmæssig risiko på en lokalitet, måler man i praksis det totale indhold af forureningsstoffer i en jordprøve og sammenholder måleresultatet med jordkvalitetskriteriet for det pågældende stof.

Ved fastsættelsen af jordkvalitetskriterierne er der ikke taget hensyn til eksponeringsvejen fra jord til grundvand og overfladevand. Årsagen hertil er, at der ikke findes en direkte sammenhæng mellem indholdet af et stof i et materiale og udvaskningen af dette stof under forskellige omstændigheder (se for eksempel Miljøstyrelsen (2009a)). Dette skyldes, at mange stoffer indbygges i materialematricen og derfor ikke bliver fuldt ud tilgængelige for udvaskning, når materialet kommer i kontakt med vand, og at begrænsninger i opløseligheden forårsaget af ligevægt med mineraler og af sorption på partiklernes overflader medfører, at mange stoffer ikke udvaskes i mængder, der er proportionale med deres totale indhold i det pågældende materiale.

Vurderinger af den potentielle risiko for påvirkning af grundvand og overfladevand fra anvendelse af aggregater som for eksempel knust asfalt bør foretages på grundlag af resultater af udvaskningstests og ikke på grundlag af bestemmelser af (total)indholdet af et givet stof. Udvasningssegenskaberne kan bruges ved fastlæggelse af kildestyrken, dvs. den stofflux, som efter transport (og eventuel fortynding og sorption) via eksponeringsvejen resulterer i en påvirkning af receptoren (f.eks. grundvandskvaliteten nedstrøms for anvendelsen). Denne påvirkning kan så sammenlignes med relevante kvalitetskriterier for receptoren (grundvandet).

For knust asfalts vedkommende vil udvaskningen af uorganiske stoffer fra tilslagsmaterialerne yderligere være nedsat pga. bitumenfilmen på overfladen af disse. Den fraktion af totalindholdet af et givet stof, som er tilgængelig for udvaskning, kan derfor i mange tilfælde udgøre en relativt lille del af totalindholdet, selv under forholdsvis ekstreme forhold.

For stoffer, for hvilke der ikke findes nogen standardiserede udvaskningstests, eller for hvilke gennemførelse af en udvaskningstest ikke er mulig, kan vurderinger baseret på indhold dog i nogle tilfælde være nødvendige. Dette gælder specielt for organiske stoffer. Selvom stofindhold generelt er en dårlig indikator for den potentielle risiko for påvirkning af miljøet (jord, grundvand og overfladevand), så kan denne type resultater som nævnt ovenfor være mere anvendelige til vurdering af potentielle sundhedsskadelige påvirkninger forårsaget af kontakt, indtagelse eller inhalering.

Det har vist sig at være hensigtsmæssigt at beskrive udvaskning af uorganiske stoffer fra granulære (dvs. partikulære) materialer som for eksempel knust asfalt som funktion af væske/faststof-forholdet (liquid-to-solid ratio, L/S) og som funktion af pH under ligevægtslignende forhold (pH har stor indflydelse på opløseligheden og udvaskeligheden af mange uorganiske stoffer). For ensartede eller gennemsnitlige forhold over længere tid vil L/S være proportional med tiden, og ved modellering af udvasknings- og risikoscenarier vil det derfor være muligt at konvertere L/S-skalaen til en tidsskala for et givet fysisk scenarie (se for eksempel Hjelmar, 1990):

$$t = (L/S) \times d \times H/I$$

hvor t er tiden, der er gået siden fremkomsten af det første perkolat fra et givet anvendelsesprojekt (år), L er den samlede perkolatdannelse til tiden t (m^3), S er samlede masse af materiale i anvendelsesprojektet (tons tørvægt), d er den gennemsnitlige rumvægt af det anvendte materiale (tons tørvægt/ m^3), H er gennemsnitshøjden af det anvendte materiale (m), og I er den gennemsnitlige årlige infiltrationen af nedbør i og gennem materialet (m^3/m^2).

Tabel 2.2 viser for anvendelsesprojekter med lagtykkelser på 0,3 m og 1,0 m af knust materiale med en tørrumvægt på 2 tons/ m^3 det antal år, som det alt andet lige vil tage at nå udvaskningsgrader svarende til henholdsvis $L/S = 2$ l/kg og $L/S = 10$ l/kg ved infiltrationshastigheder for nedbør svarende til 75 mm/år og 350 mm/år. De fleste af de udvaskningstests, hvorfra der foreligger resultater for knust asfalt, udføres ved $L/S = 2$ l/kg eller $L/S = 10$ l/kg.

TABEL 2-2 EKSEMPLER PÅ SAMMENHÆNGEN MELLEM TIDEN OG L/S FOR ANVENDELSESPROJEKTER.

I, infiltration, mm/år	75	75	350	350
H, lagtykkelse, m	0,3	1,0	0,3	1,0
t, antal år til $L/S = 2$ l/kg	16	53	3,4	11
t, antal år til $L/S = 10$ l/kg	80	267	17	57

Andre forhold, som kan påvirke udvaskningen af stoffer, for eksempel redox-potentialet og tilstedeværelse af kompleksdannende stoffer, vil der om nødvendigt også kunne tages hensyn til.

I det følgende gives en kort beskrivelse af de mest relevante analyse- og testmetoder, som kan anvendes/bliver anvendt til at beskrive stofudvaskningen fra granulære materialer, herunder knust asfalt. Gennemgangen er baseret på metoder og standarder, som er udviklet af den europæiske standardiseringskomité CEN/TC 292: "Characterisation of waste", og som i stigende omfang indarbejdes i EU-direktiver og national lovgivning i EU-landene.

2.2.2 Faststofanalyser

Den mest anvendte metode til bestemmelse af indholdet af især sporelementer, herunder tungmetaller, i jord og affaldsmaterialer som knust asfalt består af oplukning (ekstraktion/destruktion) af fint nedknuste prøver i stærk syre som salpetersyre (HNO_3), saltsyre (HCl), svovlsyre (H_2SO_4) og flussyre (HF) eller blandinger af disse og efterfølgende analyse af indholdet af ekstraktet ved induktivt koblet plasmaemissionsspektrometri (ICP) eller atomabsorptionsspektrofotometri (AAS, som dog efterhånden er ved at være udfaset). Til de mest benyttede syreblandinger til oplukning hører kongevand (koncentreret $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ i volumenforholdet 1:3) og kongevand + HF i volumenforholdet 4:1. Sidstnævnte metode er specielt velegnet til at sikre, at matricer, som indeholder silikater oplukkes kvantitativt. Dette vil for eksempel ikke være tilfældet ved anvendelse af kongevand, HNO_3 , HCl eller H_2SO_4 .

I Danmark anvendes primært oplukning med 7 M HNO_3 ved 1 atmosfæres overtryk i henhold til DS 259, mens de fleste andre lande anvender oplukning med kongevand, som giver sammenlignelige resultater. Begge metoder benævnes ofte "partiell" oplukning, da sporelementer indbygget i silikatmatricer ikke nødvendigvis medtages kvantitativt, som de gør, når flussyre indgår i oplukningen.

Analysen for indhold af organiske stoffer foretages normalt ved ekstraktion af en nedknust prøve med et organisk opløsningsmiddel som for eksempel dichlormethan, pentan, petroleumsæter, acetone eller metanol og efterfølgende analyse ved gaskromatografi (GC), højtryksvæskeskromatografi (HPLC) med forskellige former for detektion baseret på for eksempel

electron capture (ECD), flammeionisering (FID), ultraviolet (UV) detektion eller massespektrometri (MS).

2.2.3 Kolonneudvaskningstest

Den mest relevante test til bestemmelse af udvaskningen af fortrinsvis uorganiske stoffer som funktion af L/S vil være CEN/TS 14405, som er en kolonneudvaskningstest udviklet af den europæiske standardiseringsorganisation CEN. Testen udføres på granulært eller nedknust materiale (95 % < 4 mm) under forhold, der nærmer sig lokal ligevægt (dvs. at der for et givet stof alle steder i kolonnen er ligevægt mellem stoffet i faststoffasen og væskefasen, dog kan ligevægten variere gennem kolonnen pga. fjernelse af stof fra faststoffasen). Ved testen pumpes der, efter mætning og 1-3 dages ækvilibrering til en starttilstand med samme ligevægt i hele kolonnen, demineraliseret vand nedefra og op gennem materialet, der er anbragt i en lodretstillet kolonne med en diameter på 5 eller 10 cm, og der opsamles 7 eluatfraktioner svarende til L/S = 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,5; 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-5,0 og 5,0-10 l/kg. Vandhastigheden i kolonnen er 15 cm/dag (beregnet for tom kolonne), og det tager typisk 20 – 35 dage at gennemføre testen, afhængigt af materialets massefylde.

Der måles pH, ledningsevne og redox-potentiale på de opsamlede fraktioner, som efterfølgende filtreres gennem et 0,45 µm filter og analyseres kemisk for indhold af uorganiske stoffer og DOC. Resultaterne angives som akkumuleret udvasket stofmængde (mg per kg materiale) som funktion af L/S. Kolonnetesten tilhører de såkaldte grundlæggende karakteriseringstests. CEN/TS 14405, er foreskrevet til grundlæggende karakteriseringstestning i den danske deponeringsbekendtgørelse (Bekendtgørelse nr. 1049 af 28. august 2013 om deponeringsanlæg, BEK 1049/2013).

2.2.4 Batchudvaskningstest

Udvaskningen af fortrinsvis uorganiske stoffer som funktion af L/S kan også bestemmes ved hjælp af batchudvaskningstests i ét eller to trin under ligevægtslignende forhold på granulært materiale (95 % < 4 mm). Til dette formål anvendes CEN-standarderne EN 12457-1 (ét-trin test ved L/S = 2 l/kg, 24 timers kontakttid), EN 12457-2 (ét-trin test ved L/S = 10 l/kg, 24 timers kontakttid) eller EN 12457-3 (to-trin test ved L/S = 2 l/kg og 8 l/kg, henholdsvis 6 og 18 timers kontakttid).

Materialet anbringes i en lukket beholder/flaske sammen med den nødvendige mængde demineraliseret vand, og beholderen bringes til at rotere omkring sin længdeakse med ca. 10 omdrejninger per minut i den foreskrevne kontakttid. Ved kontakttidens ophør måles der pH, ledningsevne og redox-potentiale på vandfraktionen, som efterfølgende filtreres gennem et 0,45 µm filter og analyseres kemisk for indhold af uorganiske stoffer og DOC.

Resultater angives som udvasket mængde (mg/kg) ved den pågældende værdi af L/S. Ved to-trin test tilsættes nyt vand og proceduren gentages. Mens man ved kolonneudvaskningstesten får 7 punkter på udvaskningskurven som funktion af L/S, får man ved batchtesten kun et enkelt punkt, ved EN 12457-3 dog to punkter. Batchtesten er derfor en såkaldt overensstemmelsestest, som er beregnet til på rutinebasis at konfirmere mere detaljerede resultater opnået ved en grundlæggende karakteriseringstestning, hvor kolonnetesten er anvendt.

I dansk lovgivning om anvendelse af restprodukter og jord (BEK 1662/2010) foreskrives anvendelse af EN 12457-1. I deponeringsbekendtgørelsen (BEK 1049/2013) foreskrives også anvendelse af 12457-2 til overensstemmelsestestning. Batchtesten er i nogle tilfælde, bl.a. i Miljøstyrelsen (2006) blevet anvendt til beskrivelse af udvaskningen af ikke-flygtige, organiske stoffer (f.eks. kulbrinter, PAH, PCB), hvor man i stedet for filtrering fraskiller eluatet alene ved centrifugering. Da der er risiko for at overvurdere stofudvaskningen ved denne metode, anbefales det i stedet at bruge den såkaldte ligevægtskolonnetest (se nedenfor).

Nogle lande, herunder Østrig og Tyskland, anvender eller tillader anvendelse af del 4 af batch-serien, EN 12457-4, som svarer til EN 12457-2, dog med den forskel, at man ikke behøver at

nedknuse partikler på op til 10 mm. Da fortolkningen af resultaterne fra batchtesten er baseret på en formodning om, at der er ligevægtslignende forhold under testen, er der en risiko for, at udvaskningen ved EN 12457-4 vil være kontrolleret af diffusion snarere end ligevægt (og derved ofte resultere i en mindre udvaskning end EN 12457-2), med mindre prøven på forhånd indeholder en stor fraktion af finere materiale.

I den ovenfor nævnte **ligevægtskolonnetest** recirkuleres demineraliseret vand over en periode på 7 dage mange gange gennem en kolonne indeholdende det materiale, som skal testes. Som navnet antyder, er det intentionen, at der for de undersøgte stoffer skal opstå ligevægt mellem koncentrationen i det testede materiale og koncentrationen i den vandige fase. Samtidig har systemet en selvfiltrerende virkning på eluatet. Testen, der normalt udføres ved en L/S-værdi på mellem 1 og 2 l/kg, og er udviklet af DTU og DHI i samarbejde, er blandt andet beskrevet i DHI (2003). Den kan anvendes på ikke-flygtige organiske forbindelser såsom (nogle) kulbrinter, PAH og PCB. Resultatet af ligevægtskolonnetesten svarer på mange måder til resultatet af en batchudvaskningstest, som dog ikke er så velegnet til organiske stoffer.

2.2.5 pH-afhængighedstest

Et vigtigt led i karakteriseringen af udvaskningen af uorganiske stoffer og DOC fra materialer, der skal anvendes eller deponeres, er kendskab til, hvorledes udvaskningen ændrer sig, hvis pH ændrer sig, f.eks. som følge af udefra kommende påvirkninger, eventuelt over længere tid. I denne sammenhæng anvendes den såkaldte pH-afhængighedsudvaskningstest, som på europæisk plan findes i to versioner, CEN/TS 14429 og CEN/TS 14997.

I begge tilfælde bestemmes udvaskningen ved fastholdt pH og L/S = 10 l/kg med omrøring over en periode på 48 timer på materialer nedknust til < 1 mm (for at minimere diffusionsmodstand) for typisk 8 pH-værdier i intervallet pH = 2 eller 4 til 12. Ved CEN/TS 14429 indstilles pH ved initial tilsætning af forud beregnede mængder af HNO₃ eller NaOH og en efterfølgende justering, mens pH ved CEN/TS 14997 fastholdes ved kontinuerlig måling af pH og computerstyret feed-back-tilsætning af HNO₃ eller NaOH. Ved kontakttidens ophør måles der pH og ledningsevne på væskefraktionen, som efterfølgende filtreres gennem et 0,45 µm filter og analyseres kemisk for indhold af uorganiske stoffer og DOC. Resultaterne angives som koncentration (mg/l) eller udvasket stofmængde (mg/kg) som funktion af pH.

2.2.6 Anvendelse og sammenligning af udvaskningstests

De fleste af de resultater af udvaskningstests, som er tilgængelige for knust asfalt, er udført i henhold til batchtestene EN 12457-1 (L/S = 2 l/kg) og EN 12457-2 eller EN 12457-4 (L/S = 10 l/kg), hvoraf den første anvendes i Danmark og den anden i de fleste andre lande. I Holland anvendes en kolonnetest NEN 7373/NEN 7383, hvor der kun analyseres én akkumuleret eluatfraktion, L/S = 0-10 l/kg.

Resultaterne fra den hollandske test ved L/S = 0-10 l/kg er sammenlignelige med tilsvarende resultater af CEN/TS 14405 og også med resultaterne af batchtesten EN 12457-2 (og EN 12457-3 ved L/S = 0-10 l/kg). Der foreligger ingen resultater af udvaskning af organiske stoffer fra knust asfalt i henhold til den danske ligevægtskolonnetest. Tilsvarende findes der ingen tilgængelige resultater af udvaskning fra knust asfalt med pH-afhængighedstestene CEN/TS 14229 og CEN/TS 14997, da hverken disse eller ligevægtskolonnetesten anvendes rutinemæssigt i denne sammenhæng.

De udenlandske udvaskningsresultater foreligger næsten altid ved L/S = 10 l/kg, mens de danske resultater og grænseværdier referer til L/S = 2 l/kg. Med henblik på at kunne sammenligne udenlandske resultater med de danske grænseværdier for stofudvaskning for f.eks. anvendelse af restprodukter og jord i henhold til BEK 1662/2010, er der ved hjælp af samme teoretiske, eksponentielt aftagende beskrivelse af udvaskningsforløbet som funktion af L/S og en stofs specifik

parameter, kappa, som blev anvendt ved fastsættelsen af grænseværdierne for stofudvaskning fra (inert) affald, som ønskes deponeret i henhold til BEK 1049/2013, foretaget en omregning af de danske grænseværdier fra L/S = 2 l/kg til L/S = 10 l/kg, hvor det er relevant (se afsnit 5.3).

2.3 Stofindhold i og stofudvaskning fra opbrudt asfalt

2.3.1 Datagrundlag

Der foreligger kun få informationer fra Danmark om indhold af potentielt miljøskadelige stoffer i nedknust asfalt og om udvaskningen af disse. I Baun og Hjelmar (2003), som beskriver det testarbejde, der er udført i forbindelse Miljøprojekt 1082 (Strufe et al., 2006) findes der kemiske analyser og udvaskningstests for 2 prøver af knust asfalt (fra to forskellige behandlingsanlæg) og for 2 prøver af blandinger af knust beton og asfalt (fra de samme to anlæg). Desuden findes der analyser af indholdet af PAH i opborede prøver fra to danske vejanlæg (Birgisdottir et al., 2007). De danske data vedrørende stofindhold i og stofudvaskning fra knust asfalt er samlet i Bilag 1.

Med Holland som en markant undtagelse findes der heller ikke i udlandet ret mange relevante informationer om stofindhold i og stofudvaskning fra knust asfalt (se dog bemærkningen om tilsætning af flyveaske fra affaldsforbrænding i afsnit 2.3.3). Nogle undersøgelser har været fokuseret specifikt på tjæreholdig asfalt og er derfor ikke så interessante i denne sammenhæng. Det gælder for eksempel data fra Larsson et al. (2000). En medvirkende årsag til det begrænsede datagrundlag er måske, at det på grund af asfaltens ofte ”klistrede” konsistens i nogle tilfælde kan være ganske vanskeligt og arbejdskrævende at forbehandle, analysere og teste asfaltprøver.

De hollandske data, som er samlet af De Wijs og Cleven (2008), omfatter kemiske analyser af knap 200 prøver af opbrudt asfalt for indhold af organiske stoffer, herunder PAH'er, og resultater af udvaskningstests for uorganiske stoffer for op til ca. 100 prøver af opbrudt asfalt fra perioden 2003 til 2006. Dataene stammer fra kontroltestning af nedknust asfalt, som har været ønsket anvendt i henhold til det hollandske Building Materials Decree (BMD, 1995), som i 2008 blev afløst af Soil Quality Decree (SQD, 2008), se også afsnit 3.4.

Jartun og Jørgensen (2006) har analyseret 63 prøver af asfalt (borekerner) fra veje i Oslo, Kristiansand og Bergen for indhold af uorganiske stoffer, herunder sporelementer/tungmetaller, samt for indhold af PCB-7. 20 af prøverne blev også analyseret for indhold af PAH 16. Legret et al. (2005) rapporterer om indhold af uorganiske stoffer og PAH'er i prøver af genanvendt asfalt og ny asfalt fra en fransk hovedvej. I forbindelse med et europæisk valideringsprojekt for en kolonneudvaskningstest til aggregater (Hjelmar et al., 2013), har universitetet i Tübingen undersøgt udvaskningen af en lang række specifikke organiske stoffer fra knust genbrugsasfalt fra Tyskland. Resultaterne er vist i Tabel 7. Data fra den hollandske, den norske, den franske og den tyske undersøgelse er vist i Bilag 1.

2.3.2 Sammenligningsgrundlag

I afsnit 2.3.3 er stofindholdet i knust asfalt i det omfang, det er muligt, sammenlignet med Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier og afskæringskriterier i Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenet jord og kvalitetskriterier for drikkevand (Miljøstyrelsen, 2010a), mens udvaskningen af uorganiske stoffer i en del tilfælde er sammenholdt med udvaskningskriterierne i Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 1662 om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurenet bygge- og anlægsaffald (BEK 1662/2010).

Jordkvalitetskriteriet for et stof er en værdi, der skal sikre, at den fri og mest følsomme anvendelse af jorden er sundhedsmæssigt forsvarlig. Den fri og mest følsomme anvendelse er f.eks. i forbindelse med private haver, børnehaver og legepladser. Her tages især hensyn til den direkte eksponering af småbørn. Ud over at jorden skal efterleve jordkvalitetskriterierne, må jorden ved inspektion ikke afgive lugt som følge af forureningen.

Afskæringskriteriet for et stof angiver det niveau, hvorover arealer med meget følsom arealanvendelse (dvs. til boliger og børneinstitutioner) skal foretages fuldstændig afskæring fra jorden, så befolkningen ikke udsættes for den forurenede jord. Intervallet mellem jordkvalitetskriteriet og afskæringskriteriet benævnes *rådgivningsintervallet*, og jordforurening i dette interval svarer til lettere forurenede jord. Er forureningen inden for rådgivningsintervallet på et areal med meget følsom anvendelse, skal de lokale myndigheder rådgive ejere og brugere om forholdsregler, der kan nedsætte belastningen fra forureningen, så det sædvanlige beskyttelsesniveau opretholdes. Afskæringsværdier er kun fastlagt for visse immobile og forholdsvis persistente kemikalier (metaller og PAH'er samt tunge kulbrinter).

Det er relevant at sammenligne stofindhold i knust asfalt, som ønskes genanvendt på ubunden form (dvs. som aggregater, eksempelvis som erstatning for stabilt grus i bundsikringslag og lignende), med jordkvalitets- og afskæringskriterierne, da overskridelser som minimum bør give anledning til overvejelser omkring hvor og hvordan, den knuste asfalt i givet fald må anvendes.

Jordkvalitetskriterierne for en række sporelementer/tungmetaller indgår endvidere i BEK 1662/2010, hvor de sammen med kriterier for stofudvaskning afgør, om et restprodukt uden restriktioner kan anvendes til en række bygge og anlægsformål (Kategori 1).

BEK 1662/2010 omfatter ikke knust asfalt, men de risikobaserede udvaskningskriterier i bekendtgørelsen er sådan set lige så relevante for knust asfalt, som ønskes anvendt til bygge- og anlægsformål, som for andre restprodukter. Som nævnt ovenfor indgår jordkvalitetskriterierne sammen med nogle forholdsvis restriktive udvaskningskriterier i definitionen af kategori 1, som betegner restprodukter (aggregater), som må anvendes til nærmere definerede bygge- og anlægsformål uden restriktioner, mens de samme udvaskningskriterier, hvis jordkvalitetskriterierne ikke er overholdt, definerer anvendelseskategori 2, som betegner restprodukter, som må anvendes til de samme bygge- og anlægsformål som restprodukter tilhørende kategori 1, men med en række restriktioner mht. mængder, dimensioner og vandgennemstrømning. Bekendtgørelsen definerer også en kategori 3, som er underlagt endnu mere stringente betingelser, men den er ikke taget i betragtning her. Risikovurderingerne, der ligger til grund for grænseværdierne for stofudvaskning i BEK 1662/2010, blev fastlagt i slutningen af 1990'erne og indregnede ikke stoftilbageholdelse i jord, kun fortynding. I senere risikovurderinger, der danner grundlag for danske grænseværdier for udvaskning i relation til deponering af affald og anvendelse af lettere forurenede jord, er stoftilbageholdelse i jord, som jo er en reel faktor, indregnet, hvilket normalt fører til noget mindre restriktive grænseværdier. De i Kapitel 5 gennemførte scenarieberegninger medregner stoftilbageholdelse i jord.

2.3.3 Forekomst af potentielt miljøskadelige stoffer i knust asfalt

Kulbrinter

Bitumen, og dermed de kulbrinter bitumen består af, regnes normalt for at være stort set immobile, uopløselige i vand og forholdsvis ugiftige og uskadelige for miljøet. Det er således karakteristisk, at selv en grundlæggende lærebog i asfaltarbejde (Lærebog for Vejasfaltarbejde B, 2004) ikke med et ord beskæftiger sig med hvilke virkninger, bitumen har på kroppen.

Bitumen indeholder kulbrinter med meget varierende molekyl størrelse, der kan betragtes som værende opløst i hinanden. Hovedparten er meget tunge kulbrinter med kogepunkter over 450 - 600 °C (Glahn, 1941), (Yen, & Chilingarian, 1994), og molekyl størrelser på ca. 26 kulstofatomer og opefter. (Groenzin & Mullins, 2007) angiver en gennemsnitlig molmasse på ca. 750 g/mol, svarende til ca. 45 - 55 C-atomer, afhængigt af indholdet af brint og andre grundstoffer. Så tunge kulbrinter er næsten uopløselige i vand, med opløseligheder under 1 µg/liter (Kjeldsen og Christensen, 1996), og er derfor i praksis meget lidt mobile i jord.

Der findes kun få, om nogen, data for de virkninger kulbrinterne i bitumen har på mennesker og miljø, når først asfalten er lagt og afkølet. WHO anfører, at der ikke er data til at evaluere hvordan bitumenbunden asfalt påvirker miljøet (Wess et al., 2005). Det Internationale Kræftforskningsinstitut, IARC, anfører i deres gennemgang af bitumen (IARC, 1987), at der ikke er grundlag, for at klassificere bitumen som kræftfremkaldende. Når man samtidig tager den vidtstrakte anvendelse af bitumenbaserede asfaltbelægninger i betragtning, er det overvejende sandsynligt, at de næppe har betydende indflydelse på mennesker eller miljø.

Indholdet af kulbrinter i de fire danske prøver af knust asfalt og asfalt/beton er forholdsvis højt (340 – 980 mg/kg for C₁₀-C₂₅ og 1300 – 4200 mg/kg for C₂₅ – C₃₅), hvilket langt overstiger jordkvalitetskriterierne og afskæringskriterierne, herunder jordkvalitetskriteriet for C₆-C₃₅, som er 100 mg/kg og afskæringskriteriet for C₂₀-C₃₅, som er 300 mg/kg (se Tabel B1-1 i Bilag 1). Indholdet 10 hollandske prøver er noget lavere, nemlig 71 – 96 mg/kg, så de overholder det danske jordkvalitetskriterium for C₆-C₃₅. For de danske prøver er også udvaskningen ved L/S = 2 l/kg testet, og der udvaskes mellem 0,053 og 0,76 mg/kg, målt som C₆-C₃₅ (Tabel B1-2 i Bilag 1). Det er nærliggende at antage, at de forholdsvis høje indhold af kulbrinter i intervallet C₁₀ til C₃₅ ikke direkte stammer fra asfaltens bitumenindhold, som primært består af højmolekylære kulbrinter, men i stedet stammer fra spild af olie og benzin på asfalten eller er dannet ved nedbrydning af de mere højmolekylære kulbrinter.

Samlet vurdering af kulbrinter: Samlet må det, på trods af det noget mangelfulde videnskabelige datagrundlag, konkluderes, at kulbrinter fra bitumen i asfalt næppe udgør noget stort sundheds- eller miljøproblem ved genbrug som varm asfalt, ikke mindst på grund af den lave vandopløselighed og den betydelige retention i jord (effekten vil jo være den samme som fra ”ny” asfalt). Det må dog betragtes som potentielt problematisk i forhold til ubundne anvendelser af knust asfalt, at indholdet af kulbrinter tilsyneladende langt overstiger såvel jordkvalitetskriterierne som afskæringskriteriet. Såfremt knust asfalt ønskes anvendt på ubunden form, bør datamaterialet udvides og vurderes nøjere i relation til indhold af kulbrinter.

Polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

Indholdet af PAH'er i bitumen er som nævnt langt lavere end i stenkulstjære (se Tabel 2-1), og efterhånden som asfalten på de danske veje er blevet udskiftet, er også PAH-indholdet i den knuste asfalt, som produceres i dag, faldet til et forholdsvis lavt niveau, sammenlignet med tidligere. Af Tabel B1-1 i Bilag 1 fremgår det dog, at indholdet af benz(a)pyren i 5 ud af de 8 danske prøver af asfalt overskrider jordkvalitetskriteriet med op til en faktor 11, mens jordkvalitetskriteriet for dibenz(a,h)anthracen overskrides af 3 af prøverne. To af de danske prøver (dvs. 25 %) overskrider også afskæringskriteriet for indhold af benz(a)pyren.

Af de 166 hollandske prøver fra 2003 og 2004 overskrider mere end 90 % jordkvalitetskriteriet for indhold af benz(a)pyren (der er ikke målt indhold af dibenz(a,h)anthracen), mens alle 16 prøver fra 2006 overskrider jordkvalitetskravet for indhold af benz(a)pyren (Tabel B1-3 og B1-4 i Bilag 1). Mere end 90 % af de hollandske prøver fra 2003/2004 og alle prøverne fra 2006 overholder de danske afskæringskriterier. De to franske prøver (Tabel B1-8 i Bilag 1) overholdt de danske jordkvalitetskriterier til PAH'er. For de 20 norske prøver, der blev analyseret for PAH'er, overskred 10 det danske jordkvalitetskriterium for benz(a)pyren, mens kun 3 prøver overskred jordkvalitetskriteriet for dibenz(a,h)anthracen (Jartun og Jørgensen, 2006).

Der foreligger udvaskningsdata for PAH for de 4 danske prøver af knust asfalt og asfalt/beton fra 2003 (Tabel B1-2 i Bilag 1). De udvaskede mængder (0,0073 – 0,022 mg/kg for 16 PAH (US EPA) ved L/S = 2 l/kg), som blev fundet ved batchtests, er af samme størrelsesorden, som Larsson et al. (2000) fandt ved en kolonneudvaskningstest foretaget på materiale fra et asfaltlager, som indeholdt både af tjære- og bitumenbaseret asfalt. En sammenligning af de udvaskede mængder af benz(a)pyren (0,000038 – 0,0032 mg/kg) og dibenz(a,h)anthracen (< 0,00002 – 0,00052 mg/kg)

fra de danske prøver med resultatet af en kolonneudvaskningstest (in triplo) af en tysk prøve af knust asfalt fra 2012 (se Tabel B1-7 i Bilag 1) viser også, at disse er af samme størrelsesorden.

Samlet vurdering af PAH: Selv om resterne af tjæreholdig asfalt i den eksisterende asfaltmasse på de danske veje efterhånden er reduceret til et minimum, må det forventes, at indholdet af PAH, herunder specielt benz(a)pyren og dibenz(a,h)anthracen, i knust asfalt vil overskride jordkvalitetskriterierne for disse, ligesom det må forventes, at indholdet, i hvert fald af benz(a)pyren, vil kunne overskride afskæringskriteriet. Hvis man ønsker at anvende knust asfalt på ubunden form, bør indholdet af PAH kendes og/eller der bør gennem fastsættelsen af betingelserne for anvendelse tages hensyn til risikoen for kontakt med asfalten. Udvasningen af PAH'er synes umiddelbart at være lav, men en egentlig vurdering af miljørisikoen herved kan kun vurderes på grundlag af scenarieberegninger (se afsnit 5). Indhold af PAH i dansk asfalt vil næppe kunne udgøre noget væsentligt miljøproblem i forbindelse med varm genbrug af denne.

PCB

Bitumen indeholder ikke PCB, og ny asfalt indeholder derfor ikke PCB. Der er dog alligevel gennemført en række undersøgelser, da det vides, at PCB har været anvendt som tilsætningsstof til asfalt og asfaltrelaterede arbejder (Schadstoffberatung Tübingen, 2006).

Det vides at PCB har været anvendt i vejmalning. I Norge er der fundet op til 99 mg PCB i markeringsmalning på Fornebu Lufthavn (Hjellnes Consult, 2010), men der er ikke yderligere oplysninger om udbredelsen.

I den tidligere omtalte norske undersøgelse (Jartun og Jørgensen, 2006) blev indholdet af PCB i asfalt på almindelige veje undersøgt. Med en enkelt undtagelse (0,082 mg/kg for PCB-7¹) blev der fundet meget lave niveauer. Undersøgelsen konkluderer, at PCB ikke udgør noget problem i forbindelse med nyere asfalt fra større amts- og statsveje.

Kun i én af 4 danske prøver, der er analyseret for PCB, blev der fundet et indhold over detektionsgrænsen for målemetoden, nemlig 0,0085 mg/kg for PCB-7, hvilket omregnet til totalindhold af PCB svarer til 0,043 mg/kg – stadig en meget lav værdi (Tabel B1-1 i Bilag 1). I de hollandske prøver (Tabel B1-3 og Tabel B1-4 i Bilag 1) ligger middelværdien for 80 prøver fra 2003/2004 på et indhold af PCB på 2,1 mg/kg og medianværdien på 0,43 mg/kg, mens PCB-indholdet i mere end 90 % af de 16 prøver fra 2006 er højere end 0,82 mg/kg. De hollandske prøver har, uanset om der er tale om PCB-7 eller totalindhold af PCB (ikke angivet), et generelt højt indhold af PCB, som ikke synes at være typisk for knust asfalt fra Danmark eller Norge.

De 4 danske prøver af knust asfalt fra 2003 er testet for udvaskning af PCB, men der er ikke fundet resultater, som overstiger detektionsgrænsen for målemetoden (0,00002 mg/kg for specifikke kongenere).

Samlet vurdering af PCB: På det foreliggende grundlag må det antages at være usandsynligt, at indhold eller udvaskning af PCB vil udgøre et væsentligt miljø- eller helbredsmæssigt problem i forbindelse med genbrug og genanvendelse af knust asfalt på bunden eller ubunden form.

Uorganiske stoffer, herunder specielt sporelementer/tungmetaller

De fleste af de uorganiske stoffer, herunder sporelementer/tungmetaller, som findes i asfalt, må antages at stamme fra tilslagsmaterialer, herunder også genanvendte materialer som slagger, flyveaske, granulerede dæk, mv. i det omfang, disse har været anvendt. Der findes ikke så mange

¹ Hvor andet ikke er anført, angives indholdet af PCB som PCB-7, dvs. summen af syv PCB-kongenere: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 og PCB 180. Danske grænseværdier (og grænseværdier i EU) angives som totalindhold af PCB og estimeres som 5 x PCB-7. I litteraturen er det ikke altid angivet, om opgivelser af PCB-indhold er baseret på totalindhold eller PCB-7 (nogle gange også PCB-6).

nyere data for indhold af uorganiske stoffer i asfalt, bl.a. fordi man for disse stoffer ofte fokuserer mere på udvaskning end på totalindhold (dette gælder blandt andet for det ellers store hollandske datasæt, som ikke omfatter faststofanalyser af uorganiske stoffer).

De danske data i Bilag 1 (Tabel B1-1) omfatter analyse af indhold af As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb og Zn i én prøve af knust asfalt og én prøve af knust asfalt/beton. Kun indholdet af Cd i prøven af knust asfalt overskrider jordkvalitetskriteriet på 0,5 mg/kg. Den angivne værdi, 16 mg/kg, er så høj, at den nok bør betragtes med en vis skepsis (der kunne være tale om en atypisk prøve eller en analysefejl). For det norske datasæt på 63 prøver af asfalt ses det af Tabel B1-9 i Bilag 1, at medianværdierne af indholdene af de samme sporelementer undtagen Hg, som ikke blev målt, alle er lavere end de danske jordkvalitetskriterier (Jartun og Jørgensen, 2006). Det skal dog nævnes, at 8 af prøverne overskred jordkvalitetskravet for Cd (maksimalværdi 3,5 mg/kg), og 6 af prøverne overskred jordkvalitetskriteriet for Ni (maksimalværdi 58 mg/kg). De to franske prøver overholder de danske jordkvalitetskriterier for de stoffer, der er analyseret for: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb og Zn (Tabel B1-8 i Bilag 1).

Den danske prøve af knust asfalt og beton, for hvilken der foreligger data for udvaskning af uorganiske stoffer (Tabel B1-2 i Bilag 1), overskrider for Cr, Cu og Ni de danske udvaskningskriterier for anvendelse af restprodukter som Kategori 1 og 2 i henhold til BEK 1662/2010. Mere end 90 % af de 54 hollandske prøver af knust asfalt fra 2003/2004 og de 7 prøver fra 2005 overskrider de danske Kategori 1 og 2-udvaskningskriterier for As, Hg og Pb. Desuden overskrider mere end 50 % af prøverne fra 2003/2004 Kategori 1 og 2-kriteriet for Ni, mens mere end 10 % overskrider kriteriet for Cd (Tabel 1-5 og Tabel 1-6 i Bilag 1). Det skal bemærkes, at det gennem mange år har været tilladt at anvende 25 % flyveaske fra affaldsforbrændingsanlæg som filler i hollandsk asfalt – dette kan være årsagen til nogle af lidt høje udvaskningstal for sporelementer. Det skal endvidere bemærkes, at udvaskningsresultaterne fra den tyske prøve af knust asfalt (Tabel B1-7 i Bilag 1) viser forholdsvis høje udvaskede mængder af ammonium (NH₄) og DOC, som der pt. ikke findes kriterier for i BEK 1662/2010.

Samlet vurdering af uorganiske stoffer: Med udgangspunkt i det begrænsede datamateriale synes indholdet af uorganiske stoffer i knust asfalt ikke umiddelbart at ville give anledning til væsentlige problemer med overskridelser af de danske jordkvalitetskriterier de nordiske lande – dette kunne dog tænkes at blive ændret ved øget anvendelse af forskellige restprodukter som tilslagsmidler. Det lidt mere omfattende materiale vedrørende stofudvaskning fra knust asfalt viser at en del af de undersøgte prøver med større eller mindre hyppighed overskrider de danske udvaskningskriterier for Kategori 1 og 2-anvendelse i henhold til BEK 1662/2010 for As, Cd, Cr, Cu, Hg og Ni, formentlig afhængigt af de anvendte tilslagsmaterialer. Det vurderes derfor, at indhold og udvaskning af uorganiske stoffer næppe kan være problematisk i relation til genanvendelse af knust asfalt i varm asfalt, mens det for anvendelse af knust asfalt på ubunden form (som aggregat), både ”rent” og i blandinger med knust beton, afhængigt af anvendelsesbetingelserne, kan være nødvendigt at sikre eller begrænse de miljømæssige konsekvenser af udvaskning af en række sporelementer/tungmetaller. Det kan derfor anbefales, at det for anvendelser svarende til de i BEK 1662/2010 beskrevne for restprodukter af Kategori 1 og 2, sikres, at udvaskningskriterierne i denne bekendtgørelse overholdes. Alternativt kan der, som det er gjort i afsnit 5, gennemføre specifikke scenariebaserede beregninger af udvaskningsgrænseværdier for en række uorganiske stoffer, herunder dem, der indgår i BEK 1662/2010. Der findes kun én måling af udvaskningen af ammonium, men det lidt høje resultat kunne give anledning til en nøjere vurdering af, om dette kan være problematisk.

Afslutningsvis må det konstateres, at de eksisterende informationer om stofindhold i og stofudvaskning fra knust asfalt, herunder specielt knust asfalt fra Danmark, er meget sparsomme, og det anbefales, at der tilvejebringes et mere dækkende datamateriale. Det bør endvidere bemærkes, at analyse- og testresultater fra andre lande ikke altid er dækkende for danske forhold, bl.a. fordi der i nogle lande anvendes materialer, som ikke anvendes i Danmark. Et eksempel er

Holland, som har det bedste datagrundlag af alle lande, men hvor man har tilsat betydelige mængder flyveaske fra affaldsforbrænding, som har et stort indhold af skadelige sporelementer/tungmetaller, og som er klassificeret som farligt affald. Det har man ikke gjort i Danmark.

3. Krav til anvendelse af opbrudt asfalt i andre lande

3.1 Indledning

Asfalt er en affaldsfraktion der i stort omfang **genbruges**, dvs. anvendes på bunden form som kold eller varm asfalt til samme formål som ny asfalt. Det høje genbrug skyldes i et vist omfang, at den sidste snes års udvikling i procesteknologi har medført, at gammel asfalt relativt let kan oparbejdes til materialer, der kan konkurrere med ny materialer. En anden årsag skal findes i de stigende udgifter. Omkostninger til materialer, herunder i særlig grad bitumen, til transport af både ny og gamle materialer og til deponering er steget kraftigt. Knust asfalt **genanvendes** også, dog i aftagende omfang (EAPA, 2011), som aggregater på ubunden form og ofte blandet med knust beton, f.eks. som bundsikringslag.

Reglerne for anvendelse af asfalt varierer meget. I de lande, hvor genbrug af gammel asfalt er reguleret, fokuseres der oftest på indholdet af PAH fra stenkulstjære, og for Tysklands vedkommende for udvaskning af phenoler. Der synes ikke generelt at være fokus på indholdet af kulbrinter fra bitumen i asfalten. I en række lande er genanvendelse af knust asfalt som aggregater på ubunden form underkastet de samme krav til stofindhold og stofudvaskning som andre restprodukter, herunder andre fraktioner af bygge- og anlægsaffald.

I afsnit 3.2 til afsnit 3.8 er reglerne for genbrug og især genanvendelse af asfalt gennemgået for en række europæiske lande. Kun lande, i hvilke der er fundet væsentlig informationer om betingelserne for genbrug og genanvendelse af opbrudt asfalt, er medtaget. På grund af begrænsede informationer eller informationer af begrænset værdi, er forholdene i eksempelvis Italien, Schweiz, Spanien og Tjekkiet vurderet, men ikke omtalt i det følgende. I afsnit 3.9 og Bilag 2 er kravene til stofindhold og stofudvaskning for knust asfalt, som ønskes anvendt som aggregater på ubunden form, beskrevet for en række lande og grænseværdierne for stofudvaskning er sammenlignet med de danske grænseværdier for stofudvaskning for restprodukter og jord, som ønskes anvendt til bygge- og anlægsformål (BEK 1662/2010).

3.2 Belgien

I Belgien ligger ansvaret for regulering af anvendelse af bygge- og anlægsaffald, og herunder opbrudt asfalt, hos de enkelte regioner, dvs. Flandern, Vallonien og Bruxelles (Böhmer et al., 2008). I den flamske region af Belgien er der fastsat lovmæssige kriterier for såvel faststofindhold, stofudvaskning og anvendelsesform for affaldsprodukter, der ønskes anvendt som konstruktionsmaterialer (Böhmer et al., 2008; De Schoenmakere, 2007; VLAREA, 1998). Kravene til faststofindhold er vist i Tabel B2-1 i Bilag 2, mens kravene til stofudvaskning er vist i Tabel B2-3 i Bilag 2. De sidstnævnte yderligere vist i Figur 3-3 til Figur 3-7, hvor de er sammenlignet med kravene til stofudvaskning fra andre lande samt de danske udvaskningskrav i BEK 1662/2010. Stofudvaskningskravene er beregnet efter samme scenarie- og risikobaserede principper som blev anvendt i det tidligere gældende hollandske Building Materials Decree (BMD, 1995), dog er der anvendt en umættet zone på 0,7 m i beregningerne. På regionalt plan kan bl.a. knust ikke-tjæreholdig asphalt certificeres til genbrug/genanvendelse under den såkaldte COPRO-ordning (Böhmer et al., 2008).

3.3 Frankrig

I Frankrig anvendtes omkring 45 % af den tilgængelige opbrudte asfalmængde på 7.080.000 tons i 2011 direkte til varm asfalt. I 2011 udkom der som resultat af et samarbejde mellem myndigheder og industri en vejledning i anvendelse af alternative materialer (herunder knust asfalt) til vejbygning (Sétra, 2011). For det, franskmændene betegner som den grundlæggende karakterisering af materialerne, anvises en niveaudelt fremgangsmåde. Indledningsvis skal alle alternative materialer, som ønskes anvendt i denne sammenhæng, overholde nogle krav til faststofindhold af TOC (80 % af prøverne have TOC-indhold, der er mindre end 3 % (w/w), og 100 % skal være mindre end 6 % (w/w)) og de samme organiske stoffer og krav, som skal overholdes af affald, som ønskes modtaget på et deponeringsanlæg for inert affald i EU (CEC, 2003), se Tabel B2-1. Det må dog antages, at der for asfalt kan gives dispensation for overskridelse af kravet til TOC.

For anvendelse på niveau 1 skal resultaterne af udvaskningstests udført ved L/S = 10 l/kg (EN 12457-2 eller EN 12457-4) for 80 %, 95 % og 100 % af prøvernes vedkommende overholde kriterier, som svarer til henholdsvis 1 gange, 2 gange og 3 gange EU's udvaskningsgrænseværdier for modtagelse af affald på deponeringsanlæg for inert affald (se Tabel B2-3). Hvis disse kriterier ikke kan overholdes, kan materialet på niveau 2 testes med en kolonneudvaskningstest (CEN/TC 14405), og hvis det overholder de specifikke scenariebaserede kriterier for niveau 2 vist i Tabel B2-3, kan materialet anvendes i selve vejen eller i vejrabatten, såfremt det er overdækket. Hvis materialet hverken overholder kravene til anvendelse på niveau 1 eller niveau 2, kan der på niveau 3 foretages en stedspecifik risikovurdering baseret på udvaskningsdata efter samme principper, som blev anvendt til fastlæggelse af EU's udvaskningskriterier for modtagelse af affald på deponeringsanlæg (se f.eks. Miljøstyrelsen (2009a)). Det er en absolut showstopper i de franske anvisninger, hvis udvaskningsresultater opnået ved L/S = 10 l/kg (EN 12457-2 eller EN 12457-4) overskrider EU's grænseværdier for modtagelse af affald på deponeringsanlæg for ikke-farligt affald, som modtager stabilt, ikke-reaktivt farligt affald (CEC, 2003). Som det fremgår, er de franske grænseværdier således baseret på scenarier, som er meget forskellige fra den måde, som materialerne vil blive anvendt på i vejbygning, og de kan ikke siges at være relateret til den potentielle risiko for en uacceptabel miljømæssig påvirkning. Af Figur 3-3 til Figur 3-7 fremgår det, at de franske udvaskningskriterier generelt ligger en del højere end kriterierne i de øvrige lande.

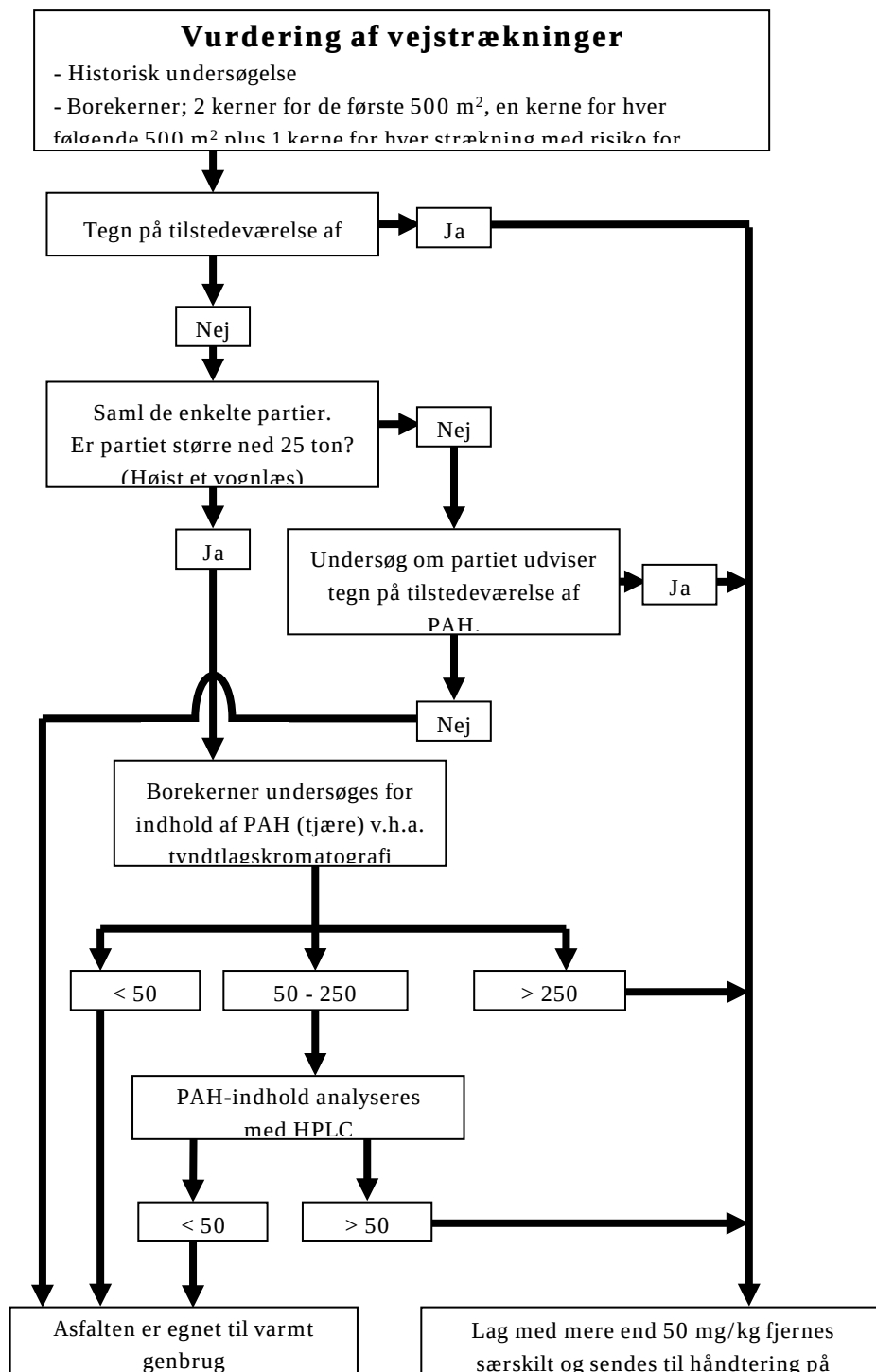
3.4 Holland

I Holland har genbrug af gammel asfalt været reguleret gennem en årrække, og der findes en fast procedure for godkendelse af asfalt til genbrug, se Figur 3-1. Lovgivningen har til hensigt at udsortere og fjerne tjæreholdig asfalt fra genanvendelseskredsløbet. Tjæreholdig asfalt må ikke genanvendes, men skal håndteres på godkendte anlæg (Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit, 2012).

Anvendelse af ubunden nedknust bitumenasfalt betegnes som "uønsket", uden der dog er noget egentligt forbud. Når ubunden anvendelse er uønsket, begrundes det med, at ubunden anvendelse medfører en forøget risiko for, at materialerne på længere sigt forsvinder ud af genanvendelseskredsløbet (Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit, 2012).

Hvis knust asfalt ønskes anvendt på ubunden form, skal kriterierne i det såkaldte Soil Quality Decree (SQD, 2007) opfyldes. Det erstattede i 2008 Building Materials Decree (BMD, 1995), og sætter indholds- og udvaskningsbaserede kriterier for anvendelse af materialer til bygge- og anlægsvirksomhed. Det skelner ikke mellem byggevarer, som er produkter, og affaldsbaserede materialer som for eksempel nedknust asfalt (dette løser for eksempel en række potentielle problemer i forbindelse med eventuel opnåelse af End-of-Waste-status for affaldsbaserede materialer).

Kravene i SQD til faststofindhold, som alene omfatter organiske stoffer, er vist i Tabel B2-1 i Bilag 2. Der findes to sæt udvaskningskriterier i SQD (se Tabel B2-4 i Bilag 2), ét for materialer, der anvendes under omstændigheder, hvor gennemstrømningen af nedbør ikke overstiger 6 mm om året, og ét, hvor gennemstrømningen af nedbør ikke overstiger 300 mm om året. Udvasningskriterierne, som alene omfatter uorganiske stoffer, er risikobaserede og beregnet efter samme principper, som ligger til grund for udviklingen af EU's udvaskningsgrænseværdier for modtagelse af affald til deponering. Det er interessant at bemærke, at det hollandske Soil Quality Decree faktisk indeholder en bestemmelse om, at et materiale, som er blevet anvendt i henhold til denne, skal fjernes igen, når det ikke mere udfylder den oprindelige funktion.

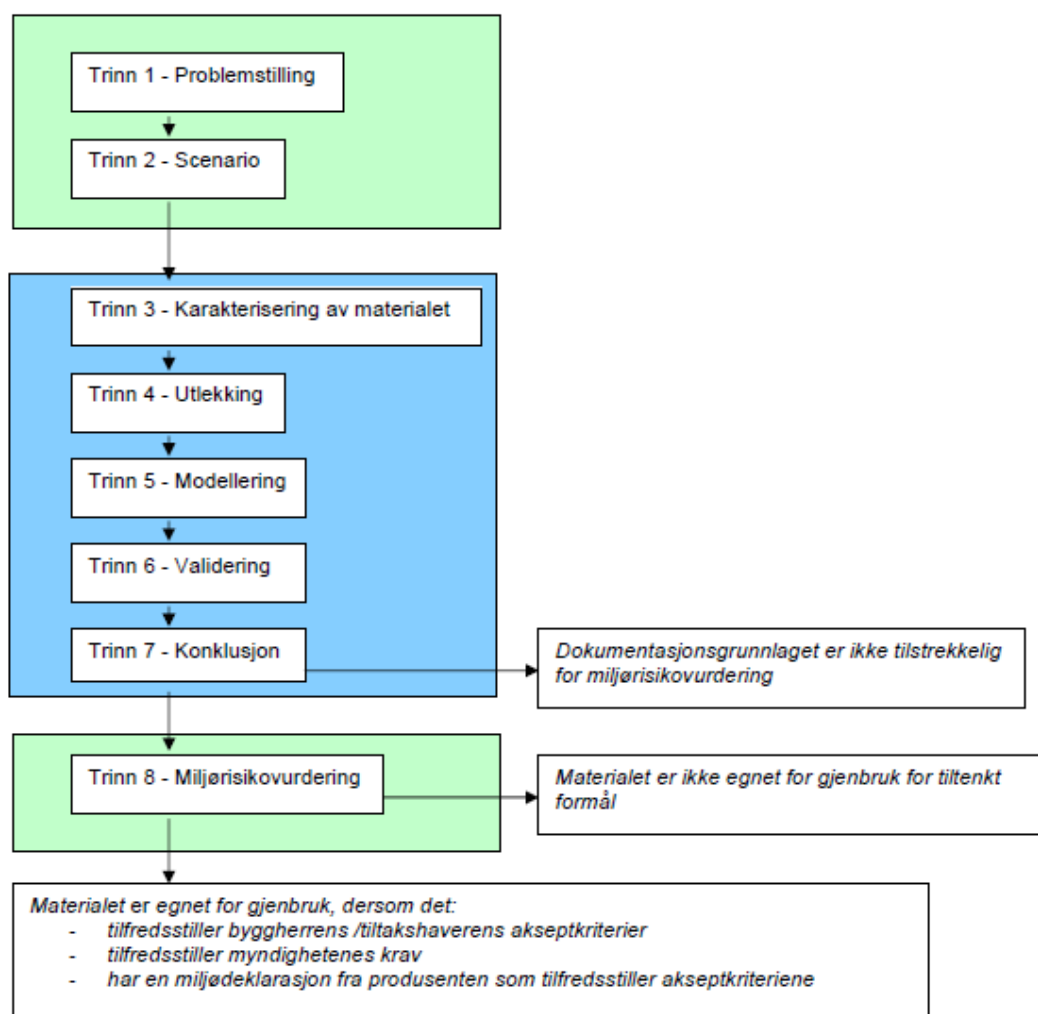


FIGUR 3-1 ACCEPTPROCEDURE FOR KNUST ASFALT I HOLLAND. TILRETTET EFTER ANON (2001).

3.5 Norge

Der foregår en udbredt genanvendelse af asfalt i Norge, herunder også af ubunden knust asfalt, der både anvendes som bære- og slidlag. Forbruget af ubunden knust asfalt blev opgjort til 449.327 tons i 2009 (Aksnes, 2012).

Genanvendelsen af asfalt som erstatning for primære råstoffer følger en fast miljømæssigt begrundet procedure. I hvert enkelt tilfælde, hvor man ønsker at genanvende asfalt, skal der foretages en stedspecifik miljørisikovurdering i forhold til grund- og overfladevand (Aksnes, 2012), se Figur 3-2. Der er således ikke faste grænseværdier for indholdsstoffer i genbrugsasfalt i Norge.



FIGUR 3-2 ACCEPTPROCEDURE FOR GENBRUG AF ASFALT I NORGE. EFTER (ANON, 2006)

Norge har opprettet en frivillig kontrollordning for leverandører av asfalt, Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning, forkortet KFA, der har til oppgave at kontrollere oplag av opbrudt asfalt for indhold af tjærestoffer og fremmedlegemer og for registrering af både asfaltoplag og udlagt asfalt i en database til brug ved senere renovering og opbrydning af asfalten.

Registrering af udlagt asfalt finder sted efter en certificeret procedure under Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner, der også varetager certificering af andre byggematerialer.

Videre information kan findes på KFA's hjemmeside www.asfaltgjenvinning.no

3.6 Sverige

Ved genanvendelse af asfalt i Sverige, er der i miljømæssig sammenhæng udelukkende krav til indholdet af PAH, målt som PAH₁₆² (se dog nedenfor). Til dokumentation af asfaltens indhold af PAH, opdeles vejbanen i ensartede stykker med en størrelse på ca. 20.000 m². Hvert område opdeles i tre sektioner, fra hver af hvilke der udtages fire 100 – 150 mm borekerner. Hvis vejbanen har mange reparationer eller andre forhold indikerer, at en øget prøvehyppighed er nødvendig, udtages et passende antal ekstra prøver.

Prøverne testes for indhold af PAH ved hjælp af en opløsningsmiddelbaseret hvid maling og en ultraviolet (UV) lampe:

1. Først sprayer asfaltprøven med hvid maling. Opløsningsmidlet i malingen opløser overfladen af asfalten, herunder eventuelle PAH'er.
2. Umiddelbart efter belyses prøven på et mørkt sted med en UV-lampe. Hvis der er PAH i asfalten i koncentrationer på over 5 – 100 mg PAH₁₆/kg, lyser de opløste PAH-forbindelser gult mod malingens hvide pigment.

En anden mulighed for test i felten er ved at varme asfaltprøven op til ca. 60 °C og derefter lugte til den. Er der tjæreasfalt i prøven, vil det tydeligt fremgå af lugten.

En ikke nærmere fastsat del af de udtagne prøver sendes til laboratorieanalyse ved hjælp af GC-MS for indhold af PAH (Vägverket, 2004b).

Asfalt til genbrug deles op i to klasser afhængigt af indholdet af PAH (Vägverket, 2004b).

1. Asfalt med mindre end 70 mg PAH₁₆/kg regnes for frit for stenkulstjære og kan anvendes frit som både bære- og slidlag.
2. Asfalt med et indhold på mere end 70 mg PAH₁₆/kg regnes for tjæreholdigt og brugen er underlagt en række restriktioner:
 - 2.1. Materialerne genanvendes primært på samme sted, hvor de stammer fra.
 - 2.2. Materialerne kan anvendes som både bundne og ubundne bærelag.
 - 2.3. Materialerne kan genanvendes ved brug af både kold og halvvarm udlægning.
 - 2.4. Bærelag dækkes med et tæt slidlag.
 - 2.5. Materialerne kan anvendes i f.eks. støjvolde under forudsætning af at der anvendes membran eller anden vandtæt dæklag.
 - 2.6. Materialerne udlægges oven over grundvandsspejlet.

Herudover gælder følgende for genanvendelse af asfalt med et indhold på mellem 300 og 1000 mg PAH₁₆/kg:

- 2.7. Genanvendelse må ikke finde sted i beskyttede områder.

Endelig gælder det for materialer med mere end 1000 mg PAH₁₆/kg at:

- 2.8. Der skal gennemføres en vurdering af hvordan materialerne skal håndteres.

Generelt findes genanvendelse af alle former for asfalt, også de tjæreholdige, for at være at foretrække frem for deponering.

Vägverket skriver således i sin publikation ” Hantering av tjärhaltiga beläggningar”:

² PAH₁₆: Benzo[a]anthracen, Naphtalen, Chrysen, Acenafylen, Benzo[b]fluoranthren, Acenafthen, Benzo[k]fluoranten Fluoren Benzo[a]pyren Fenanthren, Indeno[1,2,3-cd]pyren, Anthracen, Dibenzof[a,h]anthracen Fluoranthren, Pyren, Benzo[g,h,i]perylene

"Med kallblandning och som obundna material finns det goda möjligheter att återvinnavägbeläggningar med lager som innehåller stenkulstjärre. Man anser att det är ett bra sätt att hantera materialet, eftersom ämnet då innesluts och det anses t o m som ett miljömässigt bättre alternativ än deponering".

Videre i samme publikation uddybes synspunktet:

"Asfalthanteringen betraktas som godartad gentemot den yttre miljön, med eller utan returafalt som komponent. Varken ny asfalt eller tidigare trafikerad asfaltbeläggning uppvisar utlakade eller luftburna ämnen av organiskt eller oorganiskt ursprung i sådana koncentrationer eller mängder att de kan betraktas som miljöfarliga" (Vägverket, 2004a).

Naturvårdsverket i Sverige har dog i 2010 udgivet en håndbog med vejledende grænseværdier for anvendelse af affaldsmaterialer til bygge- og anlægsformål, både for faststofindhold og for stofudvaskning (Naturvårdsverket, 2010), som også må antages at gælde for nedknust asfalt, der anvendes som aggregat til ubundne formål. Grænseværdierne, der er udviklet under hensyntagen til en række forskellige eksponeringsveje, falder i to kategorier, nemlig fri anvendelse og anvendelse som tildækningsmateriale på deponeringsanlæg. Kravene til faststofindhold og stofudvaskning (ved L/S = 10 l/kg) er vist i Tabel B2-2 henholdsvis Tabel B2-4i Bilag 2.

3.7 Tyskland

Tyskland har et meget omfattende regelsæt for genanvendelse af byggematerialer, herunder også asfalt. Følgende gennemgang er en kort opsummering.

Regelsættet omfatter en meget lang række parametre, primært af byggeteknisk art men også og krav til indhold af PAH og udvaskning af phenol, det såkaldte phenolindeks.

Asfalten inddeles i en række klasser afhængigt af det anvendte bindemiddel. Der skelnes mellem bitumen, brunkulstjære og stenkulstjære.

TABEL 3-1 ANVENDELSESKLASSE FOR GENBRUGSMATERIALER I HENHOLD TIL RUVA-STB 01, AUSGABE 2001, FASSUNG 2005. OVERSAT EFTER (TL AG-STB 09, 2009).

Genanvendelses- klasse	Type af genanvendelsesmaterialer		Samlet indhold af PAH(16) [mg/kg]	Phenolindeks i eluat [mg/l]
A	Genbrugsasfalt		≤ 25*)	≤ 0,1*)
B	Genbrugsmaterialer med tjære- eller beglignende bestanddele	Overvejende med indhold af stenkulstjære	> 25	≤ 0,1
C	Genbrugsmaterialer med tjære- eller beglignende bestanddele	Overvejende med indhold af brunkulstjære	Værdien skal angives	> 0,1

*) Dokumentation kan udelades, hvis det i det enkelte tilfælde, er hævet over enhver tvivl, at der udelukkende har været anvendt bitumen som bindemiddel.

Materialer i Genanvendelsesklasse A:

- med indhold på ≤ 25 mg PAH/kg og et phenolindeks på ≤ 0,1 mg/l kan anvendes i varmblandede udlægninger, i ubundne bærelag med vandtæt dæklag og i koldblandede udlægninger med bindemiddel.

- med indhold på ≤ 15 mg PAH(16)/kg og et Phenolindeks på $\leq 0,05$ mg/l, kan, under iagttagelse af regelsæt "Z 1.2 LAGA M 20 TR Boden", ved gunstige hydrologiske forhold, også anvendes i ubundne bærelag med vandgennemtrængeligt dæklag.
- med indhold på ≤ 10 mg PAH(16)/kg og et Phenolindeks på $\leq 0,01$ mg/l, kan, under iagttagelse af regelsæt "Z 1.1 LAGA M 20 TR Boden", også anvendes i ubundne bærelag med vandgennemtrængeligt dæklag.

Materialer i Genanvendelsesklasse B:

- med indhold på > 25 mg PAH(16)/kg, et Phenolindeks på $> 0,1$ mg/l hhv. $0,1$ mg/kg, kan anvendes i koldblandede udlægninger med bindemiddel.

Materialer i Genanvendelsesklasse C:

- med indhold på < 100 mg PAH(16)/kg og et Phenolindeks på $< 0,1$ mg/l, kan anvendes i koldblandede udlægninger med bindemiddel under tæt dæklag.

Efter: (Bituminös gebundene Straßenauflage, u.ä)

Ubunden anvendelse af nedknust asfalt er generelt kun tilladt i særligt tilfælde (RuVA-StB 01, 2005). Begrundelsen herfor er, at alt nedknust asfalt som udgangspunkt kan genanvendes i bundne anvendelser.

Situationen vedrørende anvendelse af knust asfalt på ubunden form i Tyskland er pt. ikke let overskuelig. Der foreligger et forslag til nye retningslinjer for anvendelse af affaldsprodukter og byggevarer til bygge- og anlægsformål, herunder også knust asfalt, som med hensyn til udvaskningskriterier er både materiale- og scenariospecifikt, og som derfor er meget omfattende. Det bygger endvidere på testning med en tysk standard-kolonneudvaskningstest (DIN 19528), som ikke opfylder kravet om opnåelse af (lokal) ligevægtslignende forhold, idet den tillader meget store partikelstørrelser (op til eller over 32 mm) og en meget hurtig gennemstrømning. Så vidt vides er de nye tyske regler, som også er problematiske med hensyn til fastsættelsen af udvaskningskriterierne, der er baseret på koncentrationsniveau og ikke på udvasket stofmængde, endnu ikke officielt vedtaget.

I Tabellerne B2-1 og B2-4 i Bilag 2 er de "gamle" grænseværdier for henholdsvis faststofindhold og stofudvaskning for anvendelse af restprodukter under forskellige forhold, som er udviklet af de tyske delstater (LAGA, 2004) derfor anført. Klasserne Z0, Z1 og Z2 refererer til henholdsvis fri anvendelse, anvendelse under vandgennemtrængeligt dække og anvendelse under dæklag, som ikke er vandgennemtrængeligt, mens yderligere undergrupper refererer til gunstige/ikke gunstige hydrogeologiske forhold på anvendelsesstedet.

3.8 Østrig

I Østrig er der krav om sortering af affald fra opbrydning af veje, herunder asfalt, hvis mængden overstiger 5 tons. Sorteringen skal finde sted on-site eller på et behandlingsanlæg (Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, 1991). Hensigten er at øge mængden og kvaliteten af nyttiggjort bygge- og anlægsaffald (Böhmer et al., 2008).

Nedknust asfalt kan i Østrig anvendes både i bunden og ubunden form og med og uden tæt dæklag i vejbyggeri og i infrastruktur inden for landbruget (Rosenberger og Car, 2006). Uanset klassifikation, er det ikke tilladt at anvende nedknuste byggematerialer i beskyttede vådområder og de må ikke kunne komme i kontakt med grundvandet (Grech et al., 2002).

Bygge- og anlægsaffald, herunder opbrudt asfalt, f.eks. i blandinger med knust beton, kan anvendes som aggregater i henhold til kriterier opstillet i en ikke-bindende vejledning udgivet af Austrian Construction Materials Recycling Association (2007), som opdeler B&A-affald, der ønskes anvendt til bygge- og anlægsformål, i tre kvalitetsklasser, A+, A og B, baseret på anvendelsesform og sårbarheden af hydrogeologien på anvendelsesstedet (se Tabel 3-2). Til hver af de tre kvalitetsklasser er der knyttet krav til faststofindhold (se Tabel B2-2) og stofudvaskning ved L/S = 10 l/kg (Tabel B2-5). Udvaskningskriterierne er næsten ens for de tre klasser og stærkt inspireret af modtagekriterierne for affald på deponeringsanlæg for inert affald (CEC, 2003).

TABEL 3-2 ANVENDELSESMULIGHEDER FOR FORSKELLIGE KVALITETSKLASSE AF B&A-AFFALD (FRA BÖHMER ET AL., 2008).

Anvendelsesform	Mindre sårbar hydrogeologi	Mere sårbar hydrogeologi
Bunden eller ubunden anvendelse med dæklag	Klasse B	Klasse A
Ubunden anvendelse uden dæklag	Klasse A	Klasse A+
Bunden form som aggregat	Klasse B	Klasse B

3.9 Grænseværdier for anvendelse af knust asfalt på ubunden form

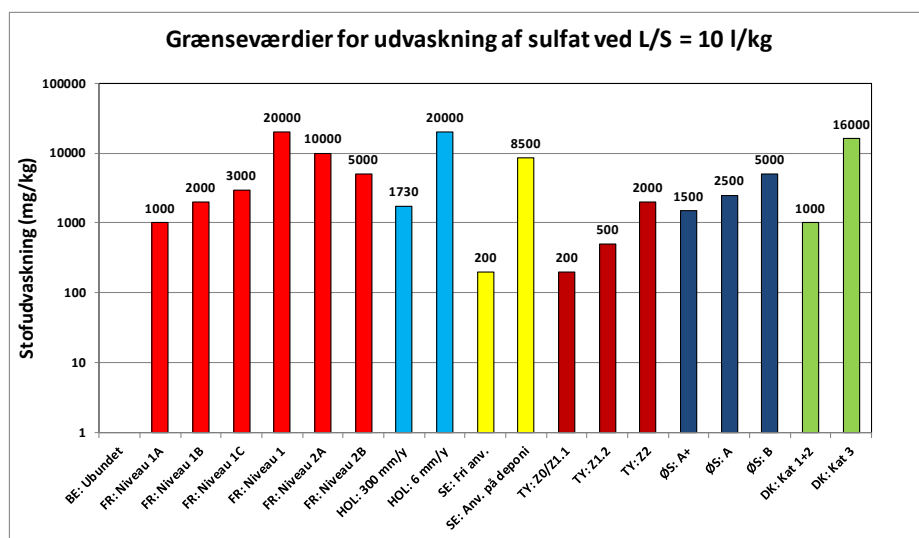
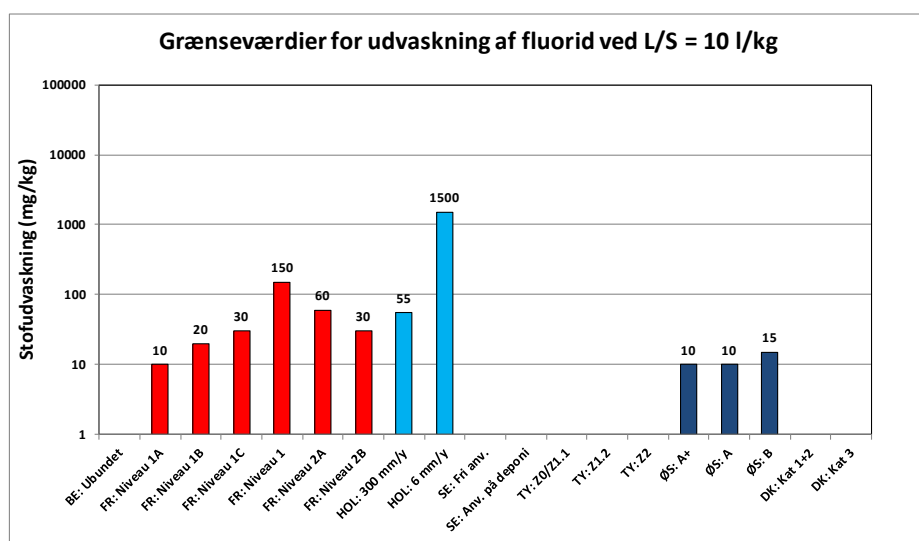
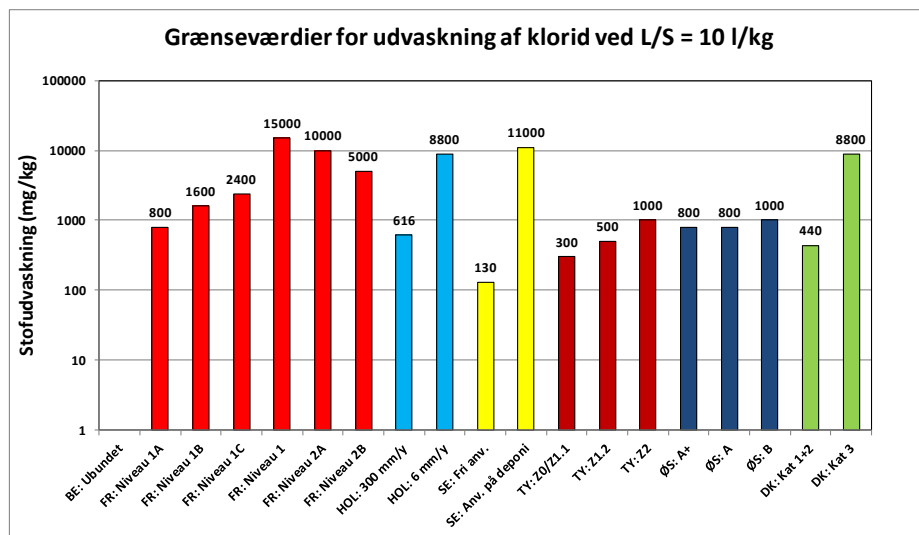
I en række af de ovennævnte lande, hvor anvendelse af knust asfalt på ubunden form er mulig, findes der som anført kvalitetskriterier i form af krav til indhold og udvaskning af potentielt miljøskadelige stoffer, som den knuste asfalt eller produkter indeholdende knust asfalt skal overholde, hvis de ønskes anvendt på denne måde.

I de tilfælde, hvor der er stillet kvalitetskrav til knust asfalt, som genbruges i varm eller kold asfalt, er disse krav som beskrevet ovenfor specifikke for asfalt, mens kvalitetskravene til knust asfalt, som ønskes anvendt på ubunden form i stort set alle tilfælde er de samme som kravene til andre typer bygge- og anlægsaffald, som anvendes på ubunden form som aggregater. I Holland gælder kravene som nævnt også for ”nye” aggregater, som skal anvendes på ubunden form.

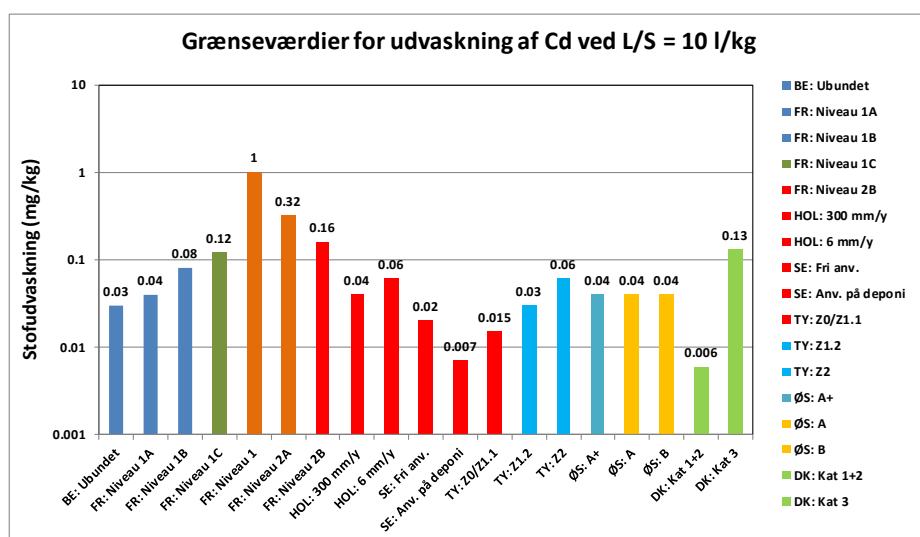
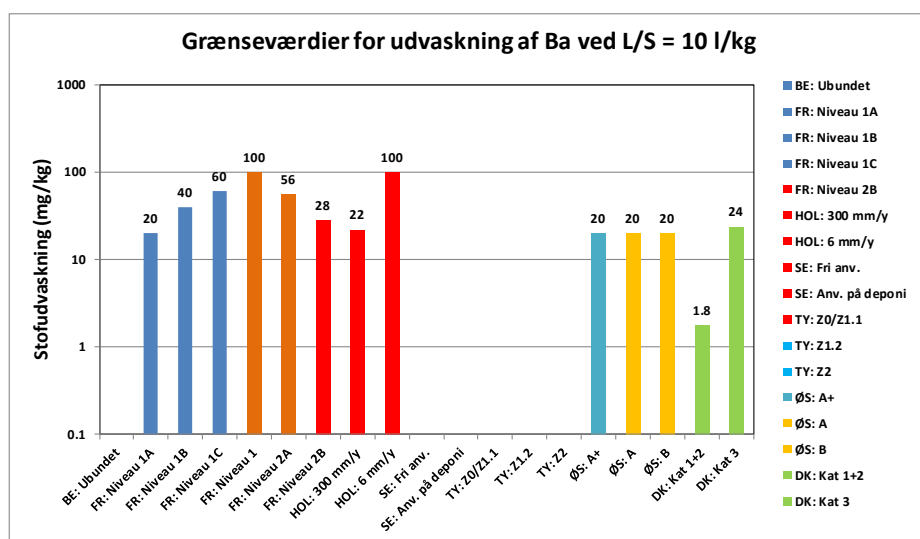
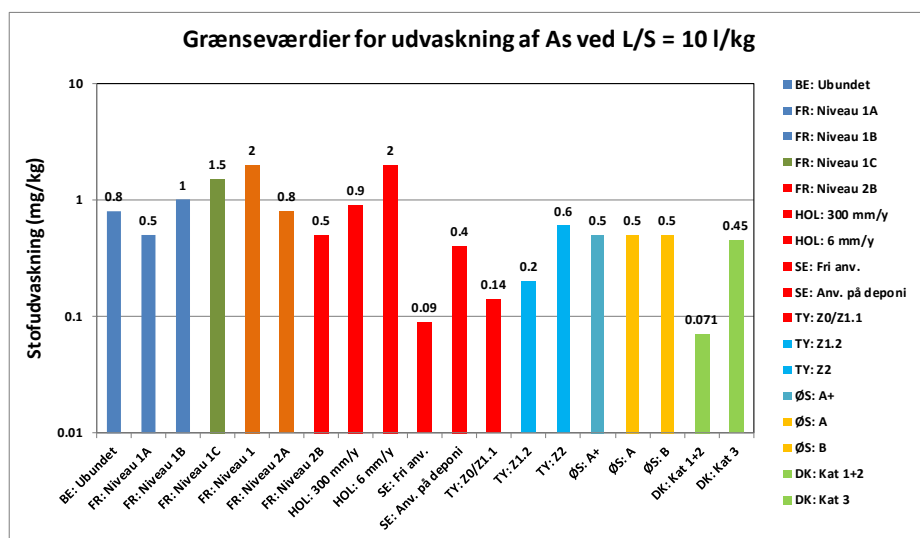
I Tabel 3-3 ses en oversigt over kvalitetsbaserede regler i en række lande for anvendelse af bygge- og anlægsaffald, herunder knust asfalt, på ubunden form. I Tabel B2-1 og B2-2 i Bilag 2 er kravene til stofindhold i de seks lande, som indgår i Tabel 3-3, beskrevet. De danske jordkvalitetskrav, som for en stor dels vedkommende også svarer i indholdskravene for restprodukter og jord af Kategori 1 i BEK 1662/2010 (som pt. dog ikke omfatter asfalt), er angivet til sammenligning. I Figur 3-3 til Figur 3-7 er udvaskningskravene i de i Tabel 3-3 angivne lande beskrevet for hvert stof. Til sammenligning er desuden anført de danske udvaskningsgrænseværdier for Kategori 1+2 og Kategori 3 for restprodukter, som ønskes anvendt i henhold til BEK 1662/2010 (som pt. ikke gælder for knust asfalt). Grænseværdierne for de seks lande findes også i Tabel B2-1 til Tabel B2-3 i Bilag 2.

TABEL 3-3 OVERSIGT OVER KVALITETSBASEREDE REGLER I EN RÆKKE LANDE FOR ANVENDELSE AF BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, PÅ UBUNDEN FORM.

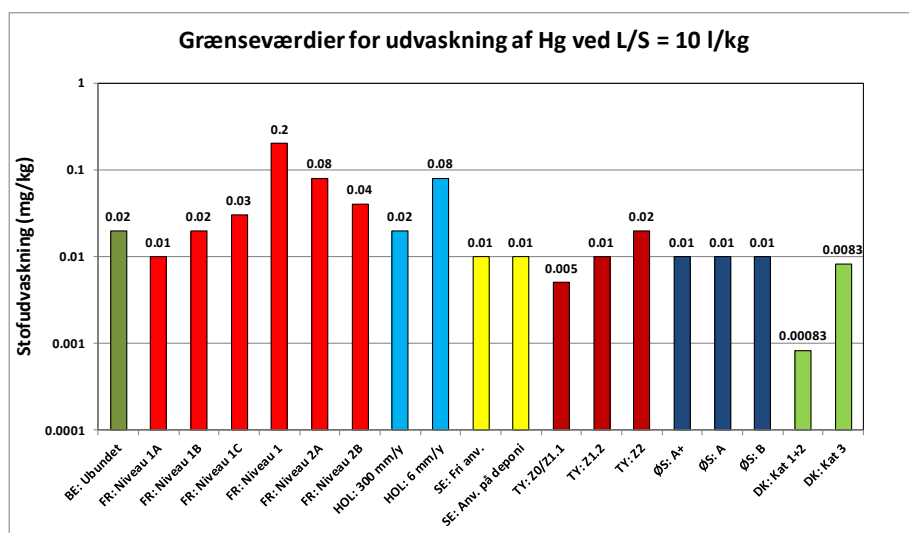
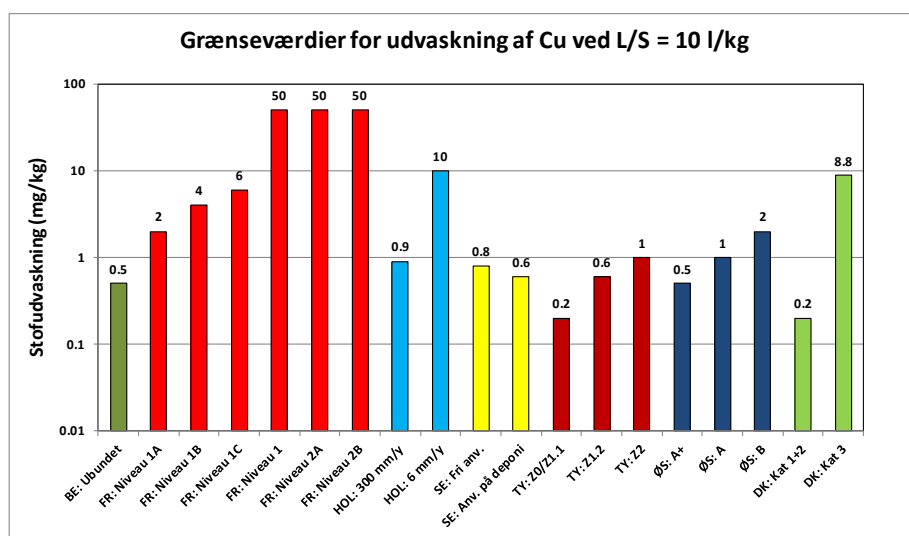
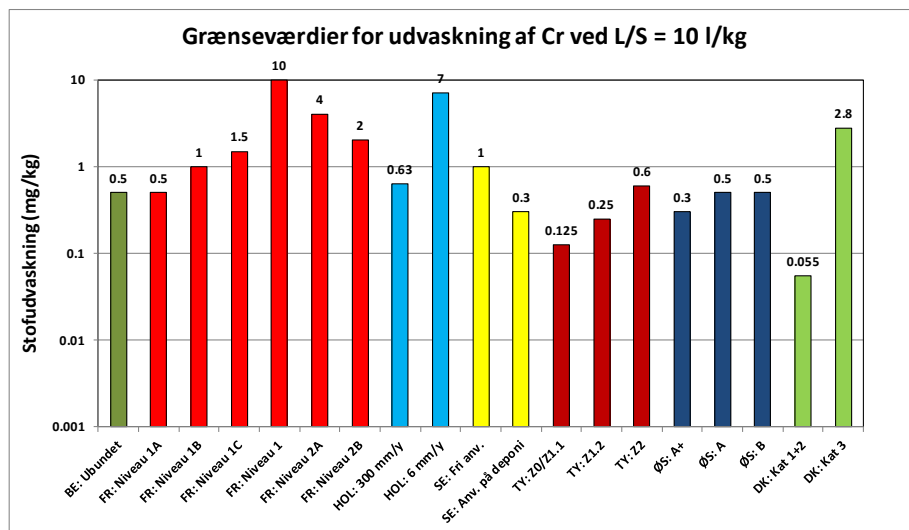
Land	Status for regler	Kriterier for indhold?	Kriterier for udvaskning?	Type af udvaskningstest foreskrevet
Belgien (Flandern)	Lov	Ja	Ja	CEN 14405 (L/S = 10 l/kg)
Frankrig	Vejledning	Ja	Ja	EN 12457-2 and 4
Holland	Lov	Ja	Ja	CEN/TS 14405 (L/S=10 l/kg)
Sverige	Vejledning	Ja	Ja	CEN/TS 14405
Tyskland	Delstatslove*	Ja	Ja	EN 12457-2 and DIN 19528 (nye regler)
Østrig	Vejledning	Ja	Ja	EN 12457-4 (L/S = 10 l/kg)
*: Nye regler for hele Tyskland er under forberedelse				



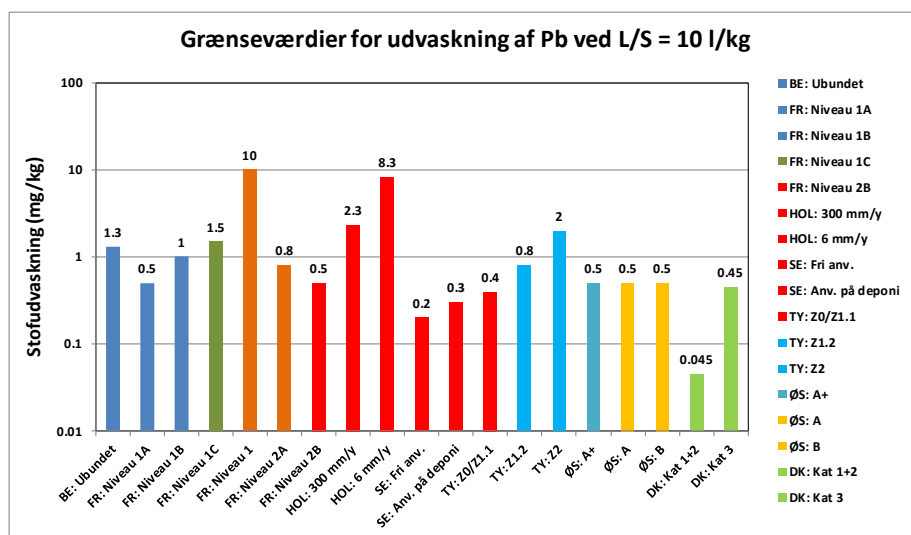
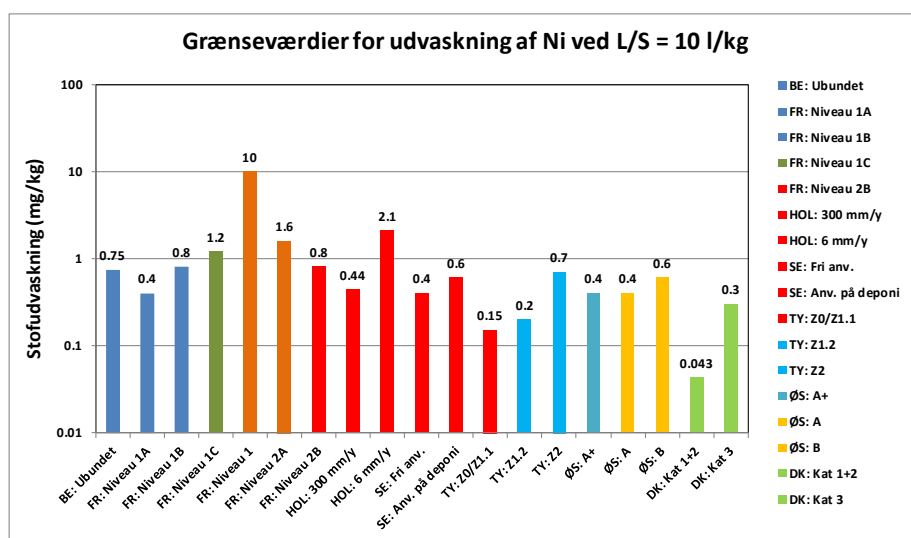
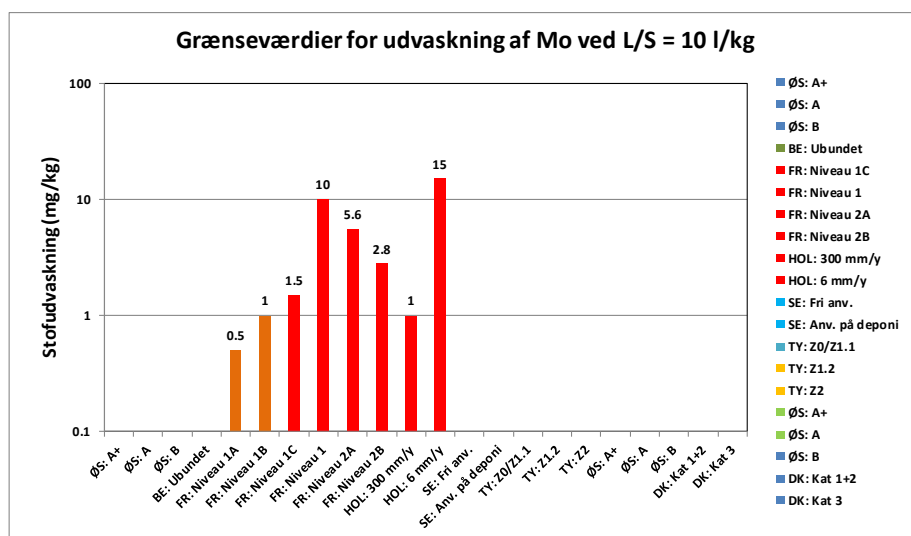
FIGUR 3-3 GRÆNSEVÆRDIER FOR STOFUDVASKNING FOR ANVENDELSE AF BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, I EN RÆKKE EUROPÆISKE LANDE. TIL SAMMENLIGNING ER VIST DANSKE UDVASKNINGSGRÆNSEVÆRDIER FOR ANVENDELSE AF RESTPRODUKTER AF KATEGORI 1+2 OG 3 I HENHOLD TIL BEK 1662/2010 (MILJØSTYRELSEN, 2010D), OMREGNET TIL L/S = 10 L/KG



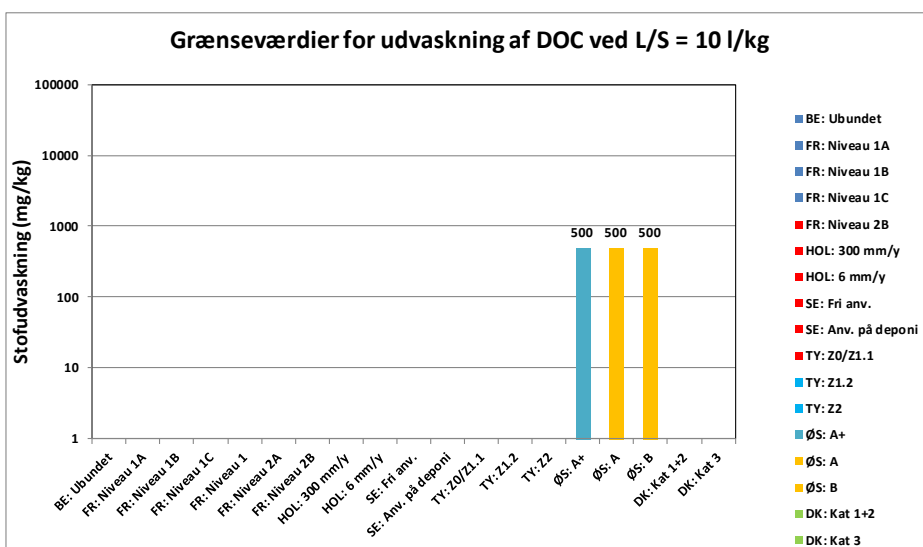
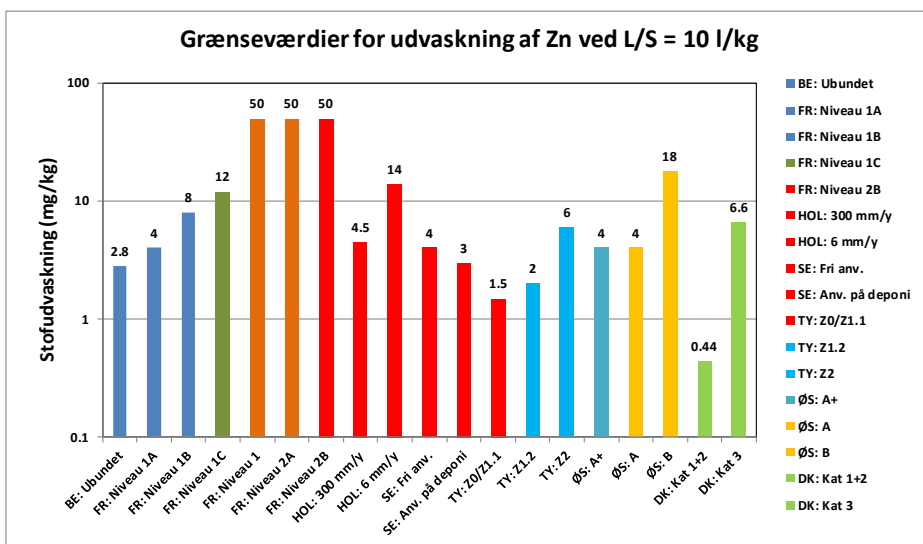
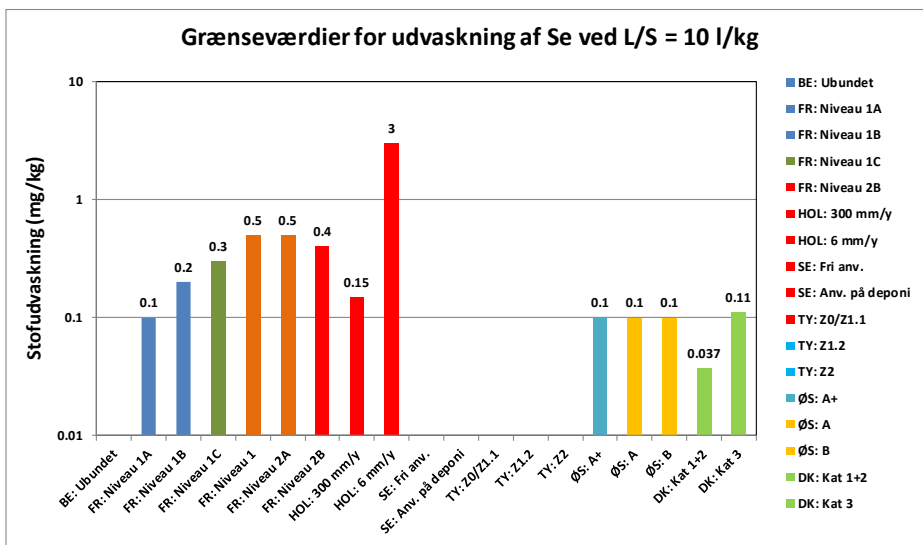
FIGUR 3-4 GRÆNSEVÆRDIER FOR STOFUDVASKNING FOR ANVENDELSE AF BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, I EN RÆKKE EUROPÆISKE LANDE. TIL SAMMENLIGNING ER VIST DANSKE UDVASKNINGSGRÆNSEVÆRDIER FOR ANVENDELSE AF RESTPRODUKTER AF KATEGORI 1+2 OG 3 I HENHOLD TIL BEK 1662/2010 (MILJØSTYRELSEN, 2010D), OMREGNET TIL L/S = 10 L/KG.



FIGUR 3-5 GRÆNSEVÆRDIER FOR STOFUDVASKNING FOR ANVENDELSE AF BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, I EN RÆKKE EUROPÆISKE LANDE. TIL SAMMENLIGNING ER VIST DANSKE UDVASKNINGSGRÆNSEVÆRDIER FOR ANVENDELSE AF RESTPRODUKTER AF KATEGORI 1+2 OG 3 I HENHOLD TIL BEK 1662/2010 (MILJØSTYRELSEN, 2010D), OMREGNET TIL L/S = 10 L/KG.



FIGUR 3-6 GRÆNSEVÆRDIER FOR STOFUDVASKNING FOR ANVENDELSE AF BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, I EN RÆKKE EUROPÆISKE LANDE. TIL SAMMENLIGNING ER VIST DANSKE UDVASKNINGSGRÆNSEVÆRDIER FOR ANVENDELSE AF RESTPRODUKTER AF KATEGORI 1+2 OG 3 I HENHOLD TIL BEK 1662/2010 (MILJØSTYRELSEN, 2010D), OMREGNET TIL L/S = 10 L/KG



FIGUR 3-7 GRÆNSEVÆRDIER FOR STOFUDVASKNING FOR ANVENDELSE AF BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, I EN RÆKKE EUROPÆISKE LANDE. TIL SAMMENLIGNING ER VIST DANSKE UDVASKNINGSGRÆNSEVÆRDIER FOR ANVENDELSE AF RESTPRODUKTER AF KATEGORI 1+2 OG 3 I HENHOLD TIL BEK 1662/2010 (MILJØSTYRELSEN, 2010D), OMREGNET TIL L/S = 10 L/KG.

Det fremgår af Tabel B2-1 og Tabel B2-2 i Bilag 2, at kravene til faststofindhold af de stoffer, som er reguleret, varierer betydeligt fra land til land. Det samme gælder udvaskningskravene i Figur 3-3 til Figur 3-7. Disse forskelle afspejler dels forskelle i anvendelsesbetingelser, dels forskelle i beskyttelsesniveauer og sårbarhed samt miljøbeskyttelsespolitik mellem landene. Det ses blandt andet, at de danske udvaskningskrav til Kategori 1-anvendelse af restprodukter og jord (BEK 1662/2010) er de mest restriktive af de viste værdier for As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se og Zn.

4. Scenarier for anvendelse af opbrudt asfalt som erstatning for primære råstoffer ved vejbygning

4.1 Opstilling af anvendelsesscenarier

Til illustration af de miljømæssige risici, der kan være forbundet med genbrug og genanvendelse af knust asfalt, kan der eksempelvis opstilles seks scenarier, der kunne være relevante for vejbygning i Danmark. Ved diskussionen af scenarierne tages der ikke hensyn til eventuelle arbejdsmiljømæssige forhold. Det antages i alle tilfælde, at den genbrugte eller genanvendte asfalt placeres over højeste grundvandsniveau og således, at den alene gennemstrømmes af den nedbør, som falder på overfladen, og som ikke bortledes som overfladeafstrømning.

Der opereres i en del af scenarierne med brug af geotekstil til at adskille nedknust ubunden asfalt fra den underliggende jord. Formålet hermed er at sikre, at der ikke sker en opblanding af asfalt og underliggende jord, hvorved der dannes en blandingsfraktion, der er vanskelig at udskille og genanvende. Uden brug af geotekstil er det uundgåeligt, at ubunden nedknust asfalt og jord blandes, både under udlægning og ved fjernelsen af vejen, når det kommer på tale.

Scenarie 1: Bunden genbrug i varm asfalt

Anvendelse af knust asfalt som bestanddel i varm asfalt adskiller sig i miljømæssig henseende ikke fra udlægning af ny varm asfalt baseret på primære råstoffer. Som følge af den udfasning af tjærebaseret asfalt, som er foregået gennem de sidste 4 -5 årtier (Miljøstyrelsen, 2002), må niveauet af PAH-indholdet i den opbrudte asfalt antages at have nået et niveau, som er acceptabelt i relation til risikoen for spredning via stofudvaskning. Udvaskningen af miljøskadelige stoffer fra asfalt, herunder PAH (Birgisdottir et al. (2007)) på bunden form kan derfor forventes at være lav. Endvidere står genanvendelse af asfalt i varm asfalt højere end de øvrige former for nyttiggørelse i affaldshierarket, da der derved spares ressourcer og energi til fremstilling af ny asfalt. Risikoen for spredning af miljøskadelige stoffer på partikelform skønnes at være lille.

Scenarie 2: Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer i vejkasser m.v. med tæt³ overliggende dæklag

Anvendelse af knust asfalt alene eller blandet med knust beton i vejkasser med tæt dæklag medfører en vis mulighed for stofudvaskning og en væsentlig risiko for spredning af den nedknuste asfalt i omgivelserne og den underliggende jord ved senere fjernelse af vejen.

³ Tæt dæklag defineres her på samme måde som i BEK 1662/2010, Bilag 3 og 4, dvs. som en tæt belægning, der reducerer den gennemsnitlige vandmængde til højst 10 % af nedbøren.

Scenarie 3: Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer i vejkasser m.v. med tæt overliggende dæklag og brug af underliggende geotekstil til adskillelse af nedknust asfalt og underliggende jord

Anvendelse af knust asfalt alene eller blandet med knust beton i vejkasser med tæt dæklag og underliggende geotekstil medfører en vis mulighed for udvaskning, men kan i betydeligt omfang begrænse risikoen for spredning af den nedknuste asfalt i omgivelserne og den underliggende jord ved senere fjernelse af vejen.

Scenarie 4: Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer i rabatten langs asfalterede veje

Anvendelse af knust asfalt alene eller blandet med knust beton som dæklag i rabatten langs vejbanen medfører en risiko for kontakt med materialet og for udvaskning til de underliggende jordlag samt en høj risiko for spredning af den nedknuste asfalt i omgivelserne ved brug og ved senere fjernelse af vejen.

Scenarie 5: Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer på mindre veje, stier og pladser

Anvendelse af knust asfalt alene eller blandet med knust beton som ubundne bærelag på veje og stier medfører en risiko for kontakt med materialet, og for udvaskning til de underliggende jordlag og en høj risiko for spredning af den nedknuste asfalt i omgivelserne ved brug og ved senere fjernelse af vejen eller stien.

Scenarie 6: Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer på mindre veje, stier og pladser med brug af underliggende geotekstil til adskillelse af nedknust asfalt og underliggende jord

Anvendelse af knust asfalt alene eller blandet med knust beton som ubundne bærelag på veje og stier udlagt på underliggende geotekstil til adskillelse af nedknust asfalt og underliggende jord medfører en risiko for kontakt med materialet, og for udvaskning til de underliggende jordlag og en høj risiko for spredning af den nedknuste asfalt i omgivelserne ved brug. Risikoen for spredning til omgivelser og underliggende jord ved senere fjernelse af vejen reduceres ved anvendelse af geotekstil.

4.2 Indledende vurdering af scenarier

I Tabel 4-1 er der på grundlag af beskrivelserne i afsnit 4.1 på oversigtsform foretaget en begrundet vurdering af, om de enkelte anvendelsesscenarier for opbrudt asfalt kan anbefales, og hvis de kan, på hvilke overordnede betingelse, dette bør ske.

TABEL 4-1 INDLEDENDE VURDERING AF ANVENDELSESSCENARIERNE FOR OPBRUDT ASFALT.

Scenario	Vurdering	Begrundelse/betingelser
1 Bunden genbrug i varm asfalt	Miljømæssigt Acceptabel	Ingen væsentlige risici for miljøet, ingen krav om analyse eller testning, med mindre der foreligger oplysninger om, at asfalten indeholder kultjære
2 Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer i vej-kasser mv. med tæt overliggende dæklag	Ikke miljømæssigt acceptabel	Der vil være risiko for spredning af asfaltpartikler i den under- og omkringliggende jord, og disse kan eventuelt have indhold af kulbrinter og PAH, som overskrider såvel jordkvalitetskriterie som afskæringskriterier
3 Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer i vej-kasser mv. med tæt overliggende dæklag og brug af underliggende geotekstil	Betinget miljømæssigt acceptabel	Partikelspredning forhindres af geotekstil, og miljøpåvirkningen fra stofudvaskning vurderes vha. scenarieberegninger (se kapitel 5)
4 Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer i rabatten langs veje	Ikke miljømæssigt acceptabel	Der vil være risiko for spredning af asfaltpartikler i den under- og omkringliggende jord, og disse kan eventuelt have indhold af kulbrinter og PAH, som overskrider såvel jordkvalitetskriterie som afskæringskriterier
5 Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer på mindre veje, stier og pladser	Ikke miljømæssigt acceptabel	Der vil være risiko for spredning af asfaltpartikler i den under- og omkringliggende jord, og disse kan eventuelt have indhold af kulbrinter og PAH, som overskrider såvel jordkvalitetskriterie som afskæringskriterier
6 Ubunden anvendelse som erstatning for primære råstoffer på mindre veje, stier og pladser med brug af underliggende geotekstil	Ikke miljømæssigt acceptabel	Partikelspredning kan reduceres af geotekstil, men der kan være en vis risiko for direkte kontakt med (og dermed også spredning af) det anvendte materiale. Miljøpåvirkningen fra stofudvaskning kan i givet fald vurderes vha. scenarieberegninger (se kapitel 5) – det bemærkes at infiltrationen af nedbør kan være betydelig.

Som det fremgår, kan genbrug af opbrudt asfalt i varm asfalt (**scenarie 1**) umiddelbart anbefales. Derimod frarådes det at anvende knust asfalt og blandinger indeholdende knust asfalt på ubunden form uden underliggende geotekstil til at forhindre partikelspredning (**scenarie 2, scenarie 4 og scenarie 5**), mens anvendelse i vej-kasser mv. med tæt overliggende dæklag og brug af underliggende geotekstil (**scenarie 3**) kan anbefales på betingelse af, at stofudvaskningen ikke giver anledning til uacceptabel påvirkning af grundvand og overfladevand. Anvendelse på mindre

veje, stier og pladser, selv med brug af underliggende geotekstil (**scenarie 6**), frarådes på grund af risikoen for kontakt, og fordi mindre anvendelser må forventes at være vanskeligere at kontrollere end større anvendelser.

Informationerne om udvaskning af dansk knust asfalt er meget begrænsede, men der er for udenlandsk asfalt fundet så høje værdier af udvaskede sporelementer (og i et enkelt tilfælde ammonium), at det ikke på forhånd kan afvises, at det under de beskrevne forhold kan blive problematisk. Såfremt knust asfalt ønskes anvendt under disse forhold (**scenarie 3**), bør der tilvejebringes et mere omfattende datamateriale vedrørende dansk asfalt, og på dette grundlag gennemføres scenariebaserede vurderinger af risikoen for forurening af grundvand og/eller overfladevand som følge af stofudvaskning fra asfalten. Eksempler på sådanne scenarieberegninger er vist i kapitel 5.

5. Scenarieberegninger til vurdering af risikoen for påvirkning af grundvand ved ubunden anvendelse af knust asfalt

5.1 Scenarier

Risikoen for en uacceptabel påvirkning af grundvandet nedstrøms for en vej, hvori der er der er anvendt knust asfalt på ubunden form, som følge af stofudvaskning fra den knuste asfalt, kan for eksempel vurderes på grundlag af scenariebaserede beregninger i en trinvis procedure som beskrevet i Tabel 5-1.

TABEL 5-1 GENEREL BESKRIVELSE AF DEN ANVENDTE SCENARIEBASEREDE VURDERING.

Trinvis procedure	Kommentarer til de enkelte trin
Trin 1: Valg og beskrivelse af anvendelsesformen og de relevante betingelser og restriktioner	Det konkrete anvendelsesscenarie og de valgte betingelser og restriktioner (se listen) og deres effekt beskrives
Trin 2: Beskrivelse af den eller de relevante receptorer og de primære vandkvalitetskriterier	Receptoren (grundvand eller overfladevand) vælges, og de vandkvalitetskriterier, som skal overholdes i en vis afstand nedstrøms for anvendelsesprojektet (point of compliance, POC) vælges. For grundvand foreslås grundvandskvalitetskriterierne (GVK).
Trin 3: Beskrivelse og modellering af kildestyrken	Modellering af stoffluxen som funktion af tiden, baseret på den valgte anvendelse, de valgte betingelser, og antagelser vedrørende de klimatiske forhold, herunder infiltrationen gennem toplaget og materialet.
Trin 4: Beskrivelse og modellering af transporten af stoffer fra kilden til POC (se trin 2) i receptoren.	Modellering af transporten af stoffer fra kilden til POC, hvor den modererende indflydelse af de valgte betingelser og attenuering/fortynding i jord, grundvand og eventuelt overfladevand indgår i beregningerne. Det skal overvejes, hvor langt et tidsrum modelberegningerne skal dække.
Trin 5: Vurdering af påvirkningen af receptoren ved POC og tilpasning af kildestyrken til de primære vandkvalitetskriterier ved revers modellering eller iteration	Maksimumskoncentrationerne (GVmax) af stofferne i grundvandet ved POC beregnes, og forholdet mellem GVmax og startkoncentrationen ved kilden etableres for hvert stof ved revers modellering eller iteration. Kildestyrkekoncentrationen svarende til GVmax erstattet af GVK beregnes.
Trin 6: Transformation af kildestyrkekriterierne til specifikke værdier for udvaskningstests	Den resulterende initiale kildestyrkekoncentration (C_0) svarende til GVK ved POC kan omregnes til modsvarende udvaskningsværdier ved $L/S = 2 \text{ l/kg}$ og/eller $L/S = 10 \text{ l/kg}$ under antagelse af en eksponentielt aftagende koncentration som funktion af L/S .
Trin 7: Evaluering af resultaterne og eventuel gentagelse af den trinvis procedure	Resultaterne sammenlignes med informationer om knust asfalts udvaskningsegenskaber. Hvis de beregnede værdier vurderes at være for restriktive, kan proceduren gentages med yderligere eller mere effektive anvendelsesbetingelser. Når udvaskningsværdierne er beregnet, vil det være hensigtsmæssigt at inddrage en vurdering af en række andre faktorer, herunder specielle forhold i det pågældende scenarie, konsistens med eksisterende lovgivning, og eventuelt modificere de beregnede værdier.

Med dette formål er der gennemført scenarieberegninger for to varianter af scenarie 3 i afsnit 4, hvor knust asfalt er anvendt på ubunden form som bundsikring under en 12 m bred vej i lag på henholdsvis 40 cm og 85 cm. Der regnes med en infiltration af nedbør gennem toplaget på 60 mm/år og en generel infiltration i området på 350 mm/år. Afstanden fra bunden af vejen til grundvandsspejlet er sat til 2 m, og tykkelsen af det grundvandsførende lag antages at være 6 m. Grundvandet strømmer vinkelret på vejen med en hastighed af ca. 100 m/år, og der er mulighed for at placere POC (point of compliance, dvs. det sted i grundvandet, hvor grundvandskvalitetskravet skal overholdes) ved kanten af vejen (0 m) og i afstande på 10m, 30m og 100 m nedstrøms for denne.

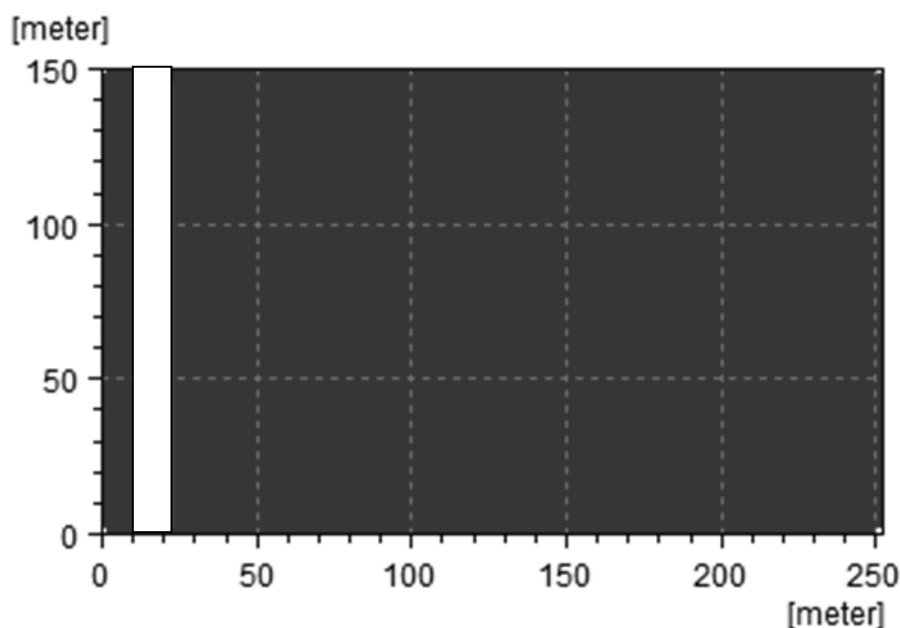
Modelberegningerne er gennemført ved hjælp af MIKE-SHE 3D-modellen efter de principper, som er skitseret i Tabel 5-1 og beskrevet mere detaljeret i MST (2009a og 2009b).

5.2 Modelforudsætninger

Ved modelkørslerne er der anvendt samme generelle modelopsætning for grundvandsmagasinet som ved implementeringen af deponeringsdirektivet (se MST (2009a)), det vil sige:

- Modeludstrækningen er horisontalt 250 meter x 300 meter. Da spejlingsprincippet udnyttes, spejles modellen i centerlinjen. Dermed kan selve SHE-modellen reduceres til 250 meter x 150 meter. Dette kunstgreb sparer 50 % af CPU-tiden til simuleringerne.
- Grundvandsmagasinet er i middel ca. 6 meter tykt
- Grundvandshastigheden er ca. 100 meter per år (porehastighed). Gradienten på grundvandsspejlet er i middel 4 o/oo. Dispersiviteten er 1 meter i strømningsretningen og 0,02 meter vinkelret herpå.
- Modelteknisk er den mættede zone opdelt i et 2 meter horisontalt net. I dybden er der opdelt i 3 lag hvor de 2 øverste lag er 1½ meter tykke, og det nederste lag er 3 meter tykt.
- Den umættede zone er opdelt i lag af 0,05-0,2 meters tykkelse. Dispersiviteten er 0,05. t Richards ligning er anvendt til strømningsbeskrivelsen, men dette er ret uvæsentligt, da der regnes med stationære forhold.

Forudsætningerne er yderligere specificeret i Figur 5-1, Tabel 5-2 Tabel 5-2 Pog Tabel 5-3.



FIGUR 5-1 HORISONTALT MODELOMRÅDE MED ANGIVELSE AF PLACERING AF VEJEN. GRUNDVANDSSTRØMINGEN ER FRA VENSTRE MOD HØJRE.

TABEL 5-2 PARAMETERVÆRDIER FOR MIKE SHE 3D-MODELLEN FOR DEN UMÆTTEDE ZONE.

Parameter	Enhed	Værdi
Tykkelse umættet zone	m	Ca. 2
Antal beregningslag	m	Typisk 20
Hydr. ledningsevne i umættet zone	m/s	10^{-7}
Baggrundskoncentration (alle stoffer)	mg/l	0
Dispersivitet	m	0,05
Porøsitet	-	0,35

TABEL 5-3 PARAMETERVÆRDIER FOR MIKESHE 3D-MODELLEN FOR DEN MÆTTEDE ZONE.

Parameter	Enhed	
Bredde modelområde	m	300
Længde modelområde	m	250
Deponeringsanlæggets afstand fra øvre rand	m	50
Afstand fra nedstrøms afgrænsning af vejanlæg til beregningspunkt (POC)	m	0, 30, 60, 100
Nettonedbør	mm/år	350
Infiltration gennem asfalt	mm/år	40, 350
Tykkelse grundvandsmagasin	m	6
Fastholdt trykniveau øvre rand	-	6,65
Fastholdt trykniveau nedre rand	m	ca. 5,65
Hydraulisk ledningsevne i horisontalt plan $K_x=K_y$	m/s	10^{-4}
Hydraulisk ledningsevne i vertikalt plan K_z	m/s	10^{-5}
Effektiv porøsitet	-	0,25
Longitudinal dispersivitet	m	1,0
Transversal dispersivitet	m	0,02
Vertikal dispersivitet	m	0,02
Baggrundskoncentration i beregning (tages efterfølgende i beregning, se MST (2009a))	mg/l	0
Koncentration i infiltrerende regnvand uden for vejanlæg	mg/l	0
Cellestørrelse x-y	m	2
Antal beregningslag, mættet zone	-	3 (1½, 1½, 3 m tykke)

5.3 Modelberegninger

Ved brug af CSTR (Continuously Stirred Tank Reactor) -modellen beskrives den resulterende koncentrationen af et givet (primært uorganisk) udvasket stof i eluatet/perkolatet som en eksponentielt aftagende koncentration som funktion af L/S ved hjælp af følgende ligning:

$$C = C_0 \times e^{-(L/S)^K} \quad (2)$$

hvor

C er koncentrationen af det aktuelle stof i perkolatet som funktion af L/S (mg/l)

C_0 er startkoncentrationen (den højeste, indledende koncentration) af stoffet i perkolatet (mg/l).

L/S er det akkumulerede væske-/faststofforhold, der svarer til koncentrationen C (l/kg)

κ (kappa) er en første-ordens konstant, der beskriver den hastighed, hvormed koncentrationen af et givet stof aftager som funktion af L/S for et givet materiale (kg/l).

Sammen med den gennemsnitlige vandmængde beskriver C kildestyrken. Transportmodellen regner i tid, og scenariebeskrivelsen i afsnit 5.1 anvendes sammen med ligningen i afsnit 2.2.1 til at omsætte L/S til tid i den aktuelle situation.

Ved modelkørslerne er startkoncentrationen C_0 af det vand der siver ud af bunden af vejen sat til 1 mg/l for det pågældende stof. Ved modelkørslerne registreres koncentrationsforløbet i POC-punkterne. Forholdet mellem den maksimale koncentration i POC og startkoncentration (1 mg/l) betegnes attenueringsfaktoren, f_a :

$$f_a = C_{\max} / C_0 \quad (3)$$

hvor:

$C_{\max}$ maksimale resulterende koncentration i grundvand ved POC (mg/l)

C_0 startkoncentrationen (1 mg/l)

f_a attenueringsfaktoren

Attenueringsfaktoren er en faktor, der multipliceres på startkoncentrationen, for at beregne den maksimale koncentration i POC. Den er et udtryk for den stoffortynding og stoftilbageholdelse der er sket som følge af dispersion og sorption. Den reciprokke værdi $1/f_a$ betegnes her fortyndingen, dvs. den værdi, som startkoncentrationen skal divideres med for at beregne koncentrationen i POC. Tabellen angiver de kappa- og Kd-værdier, der er anvendt i beregningerne.

Ved integration af ligning (2) op til en given værdi af L/S fås ligning (4), som udtrykker udvaskningen fra L/S = 0 l/kg til den givne værdi som udvasket stofmængde, E, i mg/kg:

$$E = (C_0/\kappa)(1 - \exp(-L/S \times \kappa)) \quad (4)$$

Hvis ligning (3) og ligning (4) kombineres, og baggrundskoncentrationen i grundvandet, C_{baggr} indregnes, og grundvandskvalitetskriteriet, C_{GVK} , indsættes i stedet for $C_{\max}$, fås ligning (5), som direkte udtrykker den resulterende grænseværdi for stofudvaskningen for det givne stof ved den givne L/S-værdi i mg/kg:

$$E = (((1/f_a)(C_{\max} - C_{\text{baggr}}) + C_{\text{baggr}})/\kappa)(1 - \exp(-(L/S)\kappa)) \quad (5)$$

For L/S = 2 l/kg, svarende til udvaskningstesten EN 12457-1, som jo bl.a. er foreskrevet i BEK 1662/2010, kan ligning (5) omskrives til ligning (5a), som angiver den resulterende grænseværdi for stofudvaskning ved EN 12457-1:

$$E_{L/S=2} = (((1/f_a)(C_{\text{GVK}} - C_{\text{baggr}}) + C_{\text{baggr}})/\kappa)(1 - \exp(-2\kappa)) \quad (5a)$$

I Tabel 5-4 ses de anvendte værdier af κ , C_{GVK} , C_{baggr} og Kd. Sidstnævnte er en ligevægtskonstant, der for et givet stof angiver forholdet mellem andelen af et givet stof i faststoffasen (jorden) og i væskefasen, og som ved modelberegningerne af stoftransporten i både den umættede og i grundvandsmagasinet beskriver stoftilbageholdelsen som en simpel lineær sorptionsproces.

TABEL 5-4 STOFSPECIFIKKE PARAMETRE ANVENDT VED BEREKNING AF STOFTRANSPORT OG GRÆNSEVÆRDIER (SE MST (2009A)).

Stof	Udvaskning	Sorption	Baggrunds- koncentration	Grundvands- kvalitet
	Kappa kg/l	Kd l/kg	C _{Baggr.} µg/l	C _{GVK} µg/l
As	0.03	20	0.8	8
Ba	0.15	14	62	700
Cd	0.5	20	0.008	0.5
Cr tot	0.18	23	0.09	25
Cu	0.28	100	0.3	100
Hg	0.05	20	0.0011	0.1
Mn				
Mo	0.35	15	0.7	20
Ni	0.29	20	0.5	10
Pb	0.27	100	0.05	1.0
Sb	0.11	7	0.08	2
Se	0.38	5.0	0.10	10
Zn	0.28	20	3	100
Klorid	0.57	0	25000	150000
Fluorid	0.22	2	500	1500
Sulfat	0.33	0	50000	250000
DOC	0.17	0	0	3000
Decan	0.000073	100	0	5
Pentadecan	0.00000024	100	0	5
Naphthalen	0.073	0.5	0	1
Fluoranthen	0.00086	40	0	0.1
Phenol	3.4	0.005	0	0.5

Beregningerne er foretaget for de stoffer, for hvilke der i BEK 1049/2013 om deponeringsanlæg er stillet udvaskningskrav ved modtagelse på et deponeringsanlæg for inert affald. Dette medtager samtidig de stoffer, for hvilke der i BEK 1662/2010 om anvendelse af restprodukter og jord (og bygge- og anlægsaffald) er stillet krav til stofudvaskning (undtagen Mn). Kulbrinter, som der pt. ikke findes udvaskningskrav til, er repræsenteret ved modelstofferne decan og pentadecan, som begge er meget lidt mobile (lave kappa-værdier og høje Kd-værdier), men dog samtid konservativt valgt set i forhold til de tungere, endnu mindre mobile kulbrinter, som dominerer i asfalten (se bilag 1). PAH'erne er repræsenteret ved modelstofferne naphthalen (forholdsvis mobilt) og fluoranthen (mindre mobilt). Phenol er meget mobilt og udvaskes ganske hurtigt (høj værdi af kappa). Jo højere Kd-værdi et stof har, jo mindre mobilt er det.

5.4 Resultater af beregningerne

I Tabel 5-5 og Tabel 5-6 ses de beregnede grænseværdier for stofudvaskning svarende til anvendelse af opbrudt asfalt på ubunden form som bundsikringslag med tykkelser på henholdsvis 40 cm og 85 cm. For hver lagtykkelse er grænseværdierne beregnet for POC'er svarende til overholdelse af kvalitetskriterierne i grundvandet lige under vejen (POC = 0 m) og grundvandet i nedstrøms afstande på 10 m, 30 m og 100 m. Tabellerne viser til sammenligning de tilsvarende grænseværdier for anvendelse af restprodukter og jord som henholdsvis Kategori 1 og 2 og Kategori 3 i BEK 1662/2010.

*: Resultaterne for Cu og Pb er formentlig for høje, fordi grundvandskoncentrationen ved POC ikke har nået maximum i beregningsperioden.

TABEL 5-5 RESULTERENDE VÆRDIER FOR ACCEPTEBEL STOFUDVASKNING FOR 40 CM BUNDSIKRINGS-LAG.

Lagtykkelse : 40 cm	Beregnete værdier for acceptabel stofudvaskning ved L/S = 2 l/kg for POC i forskellig afstand fra vejen				Udvaskningsgrænse-værdier i BEK 1662/2010 (L/S = 2 l/kg)	
	0 m	10 m	30 m	100 m	Kategori 1+2	Kategori 3
Stof	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
As	4.3	4.4	4.7	6.0	0.016	0.1
Ba	860	911	1005	1518		
Cd	0.19	0.20	0.21	0.27	0.004	0.08
Cr tot	58	61	65	90	0.02	1
Cu*	1760	1919	2229	4748	0.09	4
Hg	0.084	0.088	0.095	0.117	0.0002	
Mn					0.3	
Mo	53	56	61	93		2
Ni	28	29	31	43	0.02	0.14
Pb*	16	18	21	44	0.02	0.2
Sb	0.33	0.35	0.38	0.58		
Se	10	11	12	18	0.02	0.06
Zn	276	289	311	427	0.2	3
Klorid	19483	20648	22761	34300	150	6000
Fluorid	397	420	463	699		
Sulfat	34185	36218	39890	60146	250	8000
DOC	542	575	633	955		
Kulbrinter:						
Decan	1.1	1.1	1.3	2.1		
Pentadecan	1.0	1.1	1.3	2.0		
PAH'er:						
Naphthalen	0.21	0.22	0.25	0.37		
Fluoranthen	0.022	0.023	0.025	0.038		
Phenol	0.038	0.040	0.044	0.067		

TABEL 5-6 RESULTERENDE VÆRDIER FOR ACCEPTABEL STOFUDVASKNING FOR 85 CM BUNDSIKRINGS-LAG.

Lagtykkelse : 85 cm	Beregnete værdier for acceptabel stofudvaskning ved L/S = 2 l/kg for POC i forskellig afstand fra vejen				Udvaskningsgrænse-værdier i BEK 1662/2010 (L/S = 2 l/kg)	
Stof	0 m	10 m	30 m	100 m	Kategori 1+2	Kategori 3
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
As	3.4	3.6	3.8	5.3	0.016	0.1
Ba	449	476	525	793		
Cd	0.15	0.16	0.17	0.23	0.004	0.08
Cr tot	30	32	34	47	0.02	1
Cu*	844	922	1075	2345	0.09	4
Hg	0.056	0.059	0.063	0.086	0.0002	
Mn					0.3	
Mo	25	27	29	44		2
Ni	14	14	16	21	0.02	0.14
Pb*	7.8	8.6	10	22	0.02	0.2
Sb	0.33	0.35	0.38	0.58		
Se	5.3	5.6	6.2	9.4	0.02	0.06
Zn	138	144	155	213	0.2	3
Klorid	16842	17854	19664	29652	150	6000
Fluorid	273	289	319	481		
Sulfat	30998	32849	36185	54540	250	8000
DOC	511	542	597	901		
Kulbrinter:						
Decan	1.0	1.1	1.2	2.0		
Pentadecan	1.0	1.1	1.2	2.0		
PAH'er:						
Naphthalen	0.19	0.21	0.23	0.34		
Fluoranthen	0.020	0.021	0.024	0.036		
Phenol	0.026	0.027	0.030	0.045		

Som det fremgår, er de beregnede acceptable værdier for stofudvaskning under de givne antagelser og de benyttede grundvandskvalitetskriterier meget høje (dvs. meget lempelige), ikke mindst i sammenligning med de eksisterende grænseværdier for anvendelse i BEK 1662/2010. De høje acceptable værdier, som øges med øget afstand til POC, skyldes blandt andet, at der er regnet på forholdsvis tynde lag ved anvendelse af den opbrudte asfalt på ubunden form som bundsikring, og (især) at den forventede infiltrationen af nedbør gennem lagene er begrænset til 60 mm/år på grund af det overliggende dæklag af asfalt. Det ses, at værdierne for en lagtykkelse på 85 cm er lidt lavere end for 40 cm. En overslagsberegning viser, at de acceptable værdier for stofudvaskning for en lagtykkelse på 100 cm ville blive reduceret med op til 35 % i forhold til værdierne for 85 cm. En forøgelse af infiltrationen fra de 60 mm/år, som er anvendt i beregningerne, til f.eks. 350 mm/år svarende til fri infiltration ville reducere grænseværdierne for stofudvaskning ganske betydeligt. En sammenligning af de laveste acceptable værdier i Tabel 5.6, dvs. i afstanden 0 m fra vejen, med de maksimale værdier af stofudvaskning fra knust asfalt fundet i Danmark og i udlandet (afsnit 2 og Bilag 1) viser, at alle de indsamlede udvaskningsresultater er mindre end de laveste fundne acceptable værdier for dette scenarie.

Beregningerne er udført over en simuleringsperiode på 8000 år, men selv over dette tidsrum har Cu og Pb ikke nået maksimal-værdierne ved POC. De beregnede acceptable udvaskningsværdier for disse stoffer er derfor større, end de strengt taget bør være. I lyset af det lange tidsrum er relevansen af dette nok et spørgsmål af filosofisk karakter. Heller ikke kulbrinte-repræsentanterne dekan og pentadekan har nået at toppe indenfor simuleringsperioden, men for disse organiske stoffer må det antages, at de i mellemtiden vil være blevet nedbrudt eller omdannet, så toppene heller ikke vil blive nået på et senere tidspunkt, og de beregnede værdier kan derfor anvendes som værende maksimale. Det skal dog bemærkes, at den højest målte udvaskning ved $L/S = 2 \text{ l/kg}$ af kulbrinter er $0,76 \text{ mg/kg}$ (Tabel B1-2 i Bilag 1), hvilket er ganske tæt på grænsen på $1,0 \text{ mg/kg}$ ved $POC = 0 \text{ m}$ i Tabel 5.6. Det fremgår dog af Tabel B1-2, at langt det største bidrag til udvaskningen kommer fra fraktionen $C_{25}-C_{35}$, som må formodes at være langt mindre mobil end pentadekan (C_{15}) og derfor burde have en højere grænseværdi for udvaskning end den i Tabel 5.6 viste.

Beregningerne viser således, at hvis knust asfalt anvendes under de betingelser, som er beskrevet for de to varianter af scenarie 3 i afsnit 4, og de givne forudsætninger holder, er der ikke grund til at tro, at grundvandet vil blive udsat for uacceptable påvirkninger som følge af udvaskning af de undersøgte stoffer fra asfalten, undtagen måske af kulbrinter. Derudover har en enkelt undersøgelse vist et potentiale for udvaskning af ammoniak, som dog ikke indgår i modelberegningerne. Det må dog igen påpeges, at det tilgængelige datamateriale om stofudvaskning fra dansk knust asfalt er yderst mangelfuldt og bør suppleres. Med større lagtykkelser og større infiltration af nedbør (og bredere veje/pladser) vil påvirkningen af grundvandet kunne øges og den tilladte stofudvaskning fra den anvendte knuste asfalt vil blive lavere. Ved anvendelse af blandinger af knust asfalt og knust beton bør stofudvaskningen også vurderes i forhold til udvaskningsdata fra knust beton.

Resultaterne bør ikke fortolkes som egentlige forslag til udvaskningsgrænseværdier for anvendelse af opbrudt asfalt som bundsikring i veje, men blot betragtes som eksempler på, hvorledes sådanne beregninger kan foretages. Der kan være andre grunde til at sætte grænseværdierne lavere (f.eks. betragtninger af LCA-karakter over asfaltens skæbne, når en vej sløjfes). Resultaterne viser i øvrigt klart, at det for de stoffer, som indgår i BEK 1662/2010, vil være sikkert at anvende de eksisterende grænseværdier i BEK 1662/2010 også til dette formål, såfremt det skulle findes hensigtsmæssigt. Udvasningsresultaterne indgår sammen med faststofindholdet i en samlet vurdering.

Det skal bemærkes, at de ovenstående scenarieberegninger ikke umiddelbart kan sammenlignes med de scenarieberegninger, som blev gennemført af Baun og Hjelmar (2003) for at undersøge, om de udvaskede mængder af kulbrinter og PAH'er (se bilag 1) fra nedknust byggeaffald, herunder asfalt, ville kunne overholde grundvandskravene, idet disse beregninger blev gennemført uden hensyntagen til sorption under transporten fra kilden (vejen) til referencepunktet 10 m nedstrøms for vejen. Beregningerne fra 2003 var således heller ikke rettet mod fastlæggelse af grænseværdier for udvaskning.

6. Vurderinger og anbefalinger vedrørende anvendelse af opbrudt asfalt

6.1 Bemærkninger til vurderinger og anbefalinger

Det skal anføres, at nedenstående vurderinger og anbefalinger, er baseret på et spinkelt datagrundlag og derfor i hovedsagen er kvalitative. Det er ikke klart i hvilket omfang nogle af de begrænsede udenlandske erfaringer direkte kan overføres til danske forhold.

Vurderingerne og anbefalingerne skal derfor ses i lyset af dette og opfattes som kortfattede forsøg på at videregive og formidle informationer, der er uddraget af et materiale, som er for spinkelt til at tale entydigt for sig selv, og som bør udbygges.

6.2 Bundne anvendelser

De miljømæssige konsekvenser ved at bruge opbrudt asfalt i bundne anvendelser som bestanddel i varm asfalt (scenarie 1 i afsnit 4) vurderes at være på linje med anvendelse af primære råstoffer i bundne anvendelser af asfalt. Data indikerer dels, at tjæreholdig asfalt er ved at være udfaset i danske veje (se afsnit 2.1.2), dels at selv ved et vist indhold af tjæreasfalt i varme bundne lag er udvaskning og spredning af PAH'er meget begrænset. Det vil næppe være nødvendigt eller hensigtsmæssigt at sætte krav til stofindhold i og stofudvaskning fra asfalt, som direkte genbruges på bunden form i en vej eller et vejlignende anlæg.

6.3 Ubundne anvendelser

Ubunden anvendelse af knust asfalt som dæklag eller uden overliggende tæt dæklag (scenarierne 4, 5 og i afsnit 4) medfører en risiko for spredning af de nedknuste materialer på de omliggende arealer ved brug og for opblanding med de underliggende jordlag både ved brug og senere fjernelse. Da indholdet af bl.a. kulbrinter og visse PAH'er kan overskride jordkvalitetskriterierne og i nogle tilfælde også afskæringskriterierne, vurderes en spredning ikke være acceptabel. Derudover kan der muligvis være en forøget risiko for udvaskning af kulbrinter og måske ammonium fra den knuste asfalt til underliggende jordlag, grundvand og vådområder. Den samlede risiko ved denne anvendelse vurderes at være uacceptabel.

Ved brug af ubundne lag af knust asfalt under tætte dæklag uden brug af geotekstil til separation af knust asfalt og rene materialer (jord) – scenarie 2 i afsnit 4 – er der en risiko for opblanding af knust asfalt og rene materialer ved efterfølgende fjernelse af vej-kassen. På det foreliggende, meget begrænsede, datagrundlag indikerer eksempler på scenarieberegninger, at for vejunderlag af knust asfalt på op til 85 cm tykkelse med en infiltration af nedbør på højst 60 mm/år (i dette tilfælde vil infiltrationen kunne være væsentligt større) og en underliggende umættet zone på mindst 2 m synes kun udvaskningen af kulbrinter at kunne blive problematisk med hensyn til påvirkning af

grundvand og overfladevand. Et enkelt udvaskningsresultat viser desuden, at ammonium måske kan blive problematisk. Den samlede risiko ved denne anvendelse vurderes at være uacceptabel, primært pga. risikoen for partikelspredning.

Brug af knust asfalt i ubundne bærelag under tæt dæklag og ved brug af geotekstil til adskillelse af rene lag (jord) og knust asfalt (scenarie 3 i afsnit 4) vil reducere risikoen for opblanding af knust asfalt og rene materialer ved efterfølgende fjernelse af vejaksen. På det foreliggende, meget begrænsede, datagrundlag indikerer scenarieberegninger, at for vejunderlag af knust asfalt på op til 85 cm tykkelse med en infiltration af nedbør på højst 60 mm/år (realistisk størrelsesorden for tætte dæklag) og en underliggende umættet zone på mindst 2 m synes kun udvaskningen af kulbrinter (og muligvis ammonium) eventuelt at kunne blive problematisk med hensyn til påvirkning af grundvand og overfladevand. Denne brug af knust affald vil derfor under nærmere fastlagte betingelser kunne forventes at være miljømæssigt acceptabel. Det bør overvejes at stille krav til indhold og udvaskning af udvalgte stoffer (se nedenfor). Det skal bemærkes, at anvendelse af restprodukter som tilslag i asfalt kan have indflydelse på såvel stofindhold som stofudvaskning.

Kvalitetskravene til knust asfalt (og blandinger af knust asfalt og knust beton) kunne tage udgangspunkt i jordkvalitets- og eller afskæringskriterierne og i udvaskningskriterierne i BEK 1662/2010. Det sidstnævnte ville forudsætte gennemførelse af scenarieberegninger, som tager udgangspunkt i anvendelsesformerne i Bilag 3 (og eventuelt Bilag 4) i bekendtgørelsen til sikring af, at de angivne grænseværdier er tilstrækkelige (hvilket scenarieberegningerne dog synes at vise, at man på forhånd vil kunne forvente, at de vil være).

Det foreslås endvidere, at overholdelsen af de ovenfor nævnte kvalitetskrav ikke nødvendigvis sikres gennem krav om generel testning af knust asfalt, som ønskes genanvendt på ubunden form under tæt belægning, men at kvaliteten eventuelt i stedet søges sikret gennem en "typegodkendelse" på grundlag af én undersøgelse af et antal repræsentative prøver for indhold og udvaskning af kulbrinter, PAH'er samt salte og sporelementer svarende til udvaskningskravene i BEK 1662/2010. Undersøgelsen (og scenarieberegningerne) bør også omfatte udvaskning af ammonium (NH_4) og DOC, da der er fundet tegn på, at disse kan udvaskes i væsentlige mængder. Såfremt "éngangsundersøgelsen" mod forventning giver anledning til det, kan der efterfølgende stilles krav om reduktion af eller testning for specifikke stoffer. Nye asfalttyper, hvori der er anvendt restprodukter som tilslag, bør godkendes på samme grundlag, hvis de ønskes anvendt på ubunden form.

6.4 Yderligere anbefalinger

På baggrund af gennemgangen af de indsamlede data og vurderinger, skal det anbefales/præciseres:

- at der etableres et repræsentativt datagrundlag vedrørende indhold og udvaskning af miljøproblematiske stoffer fra brug af genanvendt asfalt i bunden og ubunden form.
- at asfalt som udgangspunkt primært bør genbruges i bunden form i varm asfalt, fordi denne anvendelsesform vurderes at medføre minimale miljøeffekter – og samtidig står højere i affaldshierarkiet, hvorved der spares ressourcer og energi;
- at anvendelse af knust asfalt i ubundne lag kun tillades undtagelsesvis og da i form af rene lag af knust asfalt med overliggende tæt slidlag og afgrænsning fra rene materialer ved brug af geotekstil, på grund af den teoretiske mulighed for spredning af partikler og fordi genanvendelse i i varm asfalt foretrækkes;
- at genanvendelse af knust asfalt i ubunden form ikke må finde sted under højeste grundvandsspejl;
- at der udarbejdes et generelt gældende regelsæt for brug af affaldsfraktioner som tilslag i asfalt, således at det sikres, at asfalten vil kunne indgå i fremtidig genanvendelse.

Referencer

Aksnes, Jostein (2012): Gjenbruk. Rapport fra årsmøte for utvalg Belegninger. Kristiansund, Norge 5.-7. juni 2011. NVF-rapporter, nr. 5/2011.

Anon (2001): Acceptatieprocedure asfaltgranulaat. Asfalt nr. 1, april 2001 pp. 24-25.

Anon (2006): Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i veg. Teknologirapport nr. 2432 Prosjektrapport nr 14. Statens Vegvesen.

Anon (2007): Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i veg – gjenbruksasfalt. Teknologirapport nr. 2434 Prosjektrapport nr 14b. Statens Vegvesen.

Anon (2012): PCB-belastete Eier. Das Gift steckt im Asphalt. Frankfurter Allgemeine. Gesellschaft. 01-06-2012.

Asfaltindustrien (2013): Genbrug af asfalt når nye højder. <http://www.asfaltindustrien.dk> (24.09.2013)

Austrian Construction Materials Recycling Association (2007): Guideline for recycled building materials, 7th Edition.

BAFU (2006): Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle; Ausbauasphalt, Strassenaufbruch, Betonabbruch, Mischabbruch - BAFU 31-06.

Baun, D.L. & Hjelmar, O. (2003): Kortlægning af forurenende stoffer i byggeaffald. Laboratorieundersøgelser. Input til Miljøprojekter 1083, DHI.

Bio Intelligence Service (2011): Service contract on management of construction and demolition waste – SR1. For European Commission (DG ENV). http://www.eu-smr.eu/cdw/docs/BIO_Construction%20and%20Demolition%20WasteFinal%20report09022011.pdf

Birgisdóttir, H. (2005): Life cycle assessment model for road construction and use of residues from waste incineration. Phd-afhandling DTU. <http://www2.er.dtu.dk/publications/fulltext/2005/MR2005-106.pdf>

Birgisdóttir, H., Pihl, K.A. (2005): Livscyklusvurdering af vejmaterialer. Dansk Vejtidskrift, 12:35-37.

Birgisdóttir, H., Gamst, J., Christensen, T.H. (2007): Leaching of PAHs from hot mix asphalt pavements. Environmental Engineering Science, 24, (10), pp.1409-1421.

Bituminös gebundener Straßenaufbruch Verwertungswege im Straßenbau. http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlsb/service/listen/2009/anlage_7_.pdf Hentet d. 16. december 2012.

Blazejowski, K., (2011): Stone Matrix Asphalt. Theory and Practice. CRC Press.

BMD (1995): Building Materials Decree. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden 567, 1-92, The Netherlands.

Bohemen, H. D. van & Janssen van de Laak, W. H. (2003): The influence of road infrastructure and traffic on soil, water, and air quality. *Environmental Management* 31(1):50–68. Doi: 10.1007/s00267-002-2802-8.

Brust, Kristin (2001): Toxicity of aliphatic amines on the embryos of zebrafish *Danio rerio* - experimental studies and QSAR. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.) an der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (1991): Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien StF: [BGBl. Nr. 259/1991](#), Wien, Österreich.

BUWAL (1997): Abfall. Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle.

Böhmer, S., Moser, G., Neubauer, C., Peltoniemi, M., Schachermayer, E., Tesar, M., Walter, B., Winter, B. (2008): AGGREGATES CASE STUDY, Final Report referring to contract n° 150787-2007 F1SC-AT “Aggregates case study – data gathering” (study commissioned by JRC-IPTS), Vienna.

CEC (2003): Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 and Annex II to Directive 1999/31/EC. Official Journal of the European Communities, 16.1.2003, L11/27-49.De

Schoenmakere (2007): End-of-Waste criteria for construction and demolition waste, OVAM, Waste Management Europe, November 2007.

De Wijs, J. W. M., Cleven, R. M. F. J. (2008): Environmental quality of stony construction materials in The Netherlands , INTRON: A839530/R20075219/JWy/Jwy, RIVM: 711701066.

EAPA (2012): Asphalt in figures 2011. European Asphalt Pavement Association, Brussels, Belgium.

EAPA (2013): Asphalt in figures 2012. European Asphalt Pavement Association, Brussels, Belgium.

European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy (2012): Scientific Opinion on Flavouring Group Evaluation 94, Revision 1 (FGE.94Rev1): Consideration of aliphatic amines and amides evaluated in an addendum to the group of aliphatic and aromatic amines and amides evaluated by the JECFA (68th meeting) EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids (CEF). EFSA Journal 10(6):2747

Ehrenstein, Claudia (2012): Das Gift lauerte im Asphalt. Ursache für die PCB-Belastung von Bio-Eiern in Niedersachsen ist gefunden. Die Welt 02.06.12.

Eller, Karsten, Erhard Henkes, Roland Rossbacher, Hardtmüt Höke (2005): Amines, Aliphatic. In: Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Falstrup, Gitte, Hardy Pedersen (2000): Forurening under asfaltbelægningen i to amtsveje på Bornholm. Dansk Vejtidskrift 11:34-36.

Folkesson, Lennart (2005): Spridning och effekter av tungmetaller från vägar och vägtrafik. Litteraturoversikt. VTI rapport 512.

Glahn, H. E., ed. (1941): Meyers Vareleksikon. Femte omarbejdede og forøgede udgave. Aschehoug Dansk Forlag.

Glahn, H. E., ed. (1952): Meyers Vareleksikon. Sjette omarbejdede og forøgede udgave. Aschehoug Dansk Forlag.

Grace, (2007): Grace Asphalt Fibre™ Synthetic Fibre For Asphalt Concrete.

Grech, H., Oliva, J., Scheibengraf, M., Angerer, T. (2002): Recyclingbaustoffe Regelung der Umweltverträglichkeit. Umweltbundesamt.

Groenzin, Henning, Oliver C. Mullins (2007): Asphaltene Molecular Size and Weight by Time-Resolved Fluorescence Depolarization. In.: Olivier C. Mullins, Eric Y. Sheu, Ahmed Hammami, Alan G. Marchall, Eds.: Asphaltenes, Heavy Oils, and Petroleomics. Springer.

Helk, U. (2009): Asfaltmarkedet i Danmark - Præsentation på Asfaltdagen 2009, 21. januar 2009.

Hjelmar, O. (1990): Leachate from land disposal of coal fly ash. Waste Management & Research, 8, pp. 429-449.

Hjelmar, O., Hyks, J., Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., van Zomeren, A., Comans, R., Kalbe, U., Schoknecht, U., Krüger, O., Grathwohl, P., Wendel, T., Abdelghafour, M., Méhu, J., Schiopu, N. & Lupsea, M. (2013): Robustness validation of TS-2 and TS-3 developed by CEN/TC 351/WG1 to assess release from products to soil, surface and groundwater. Report prepared for NEN, Secretariat of CEN/TC 351, DHI, Hørsholm, Denmark.

Hjellnes Consult as (2010): Lavkontaminert avfall. Fraksjoner som kan føre til utlrkking av miljøgifter.

Hoag, George E. og Stanley Alexander (1984): Polychlorinated Biphenyls Analysis in Bituminous Materials. Final Report. University of Connecticut. Project 82-1 JHR 84-160.

Hoag, George E. og Stanley Alexander (1986): Polychlorinated Biphenyls Analysis in Bituminous Materials. J. Transp. Eng. 112:265-275.

Holm, Arne (2013): Tidligere Produktionschef for Koldasfaltafdelingen RGS 90 A/S. Mundtlig kommunikation

Huang, Y., R. Bird og O. Heidrich (2008): Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements. Journal of Cleaner Production 7(2):784-296. DOI:10.1016/j.jclepro.

Højesteret (2010): Dom af 9. november 2010 i Sag Nr.: 76-2009.
<http://www.domstol.dk/hojesteret/Documents/Domme/76-2009.pdf>

IARC (1985): Polynuclear aromatic compounds: Bitumens, coal tars, derived products, shale-oils, and soots. Lyon, International Agency for Research on Cancer, pp. 39–81 (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 35).

Intron/RIVM (2009): Monitoring environmental quality for stony construction materials 2003 – 2006. Ministry of Housing, Spatial planning and the Environment, Den Haag, The Netherlands.

Jartun, M. og Jørgensen, T. (2006): Kartlegging av PCB, PAH og tungmetaller i asfaltdekker fra områdene Kristiansand, Oslo og Bergen. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 2006.029.

Jartun, M. (2006): Datarapport fra oppfølgende undersøkelser av PAH (16)-konsentrasjoner i 3 asfaltkjerner fra Kristiansand og Oslo. Norges geologiske undersøkelse. NGU Rapport 2006.065.

Jeffrey, Colin (2011): Construction and Demolition Waste Recycling. A Literature Review - Dalhousie University's Office of Sustainability.

KFA (2010): Litteraturstudie avrenning fra gjenbruksasfalt. Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning.

Kjeldsen, P., Christensen, T.H. (1996): Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 20.

Krog, H.O. (2013): Millioner i genbrug af asfalt. Indstik fra Mediaplanet, 14. september 2013.

LAGA (1998): Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen Technische Regeln Stand

LAGA (2004): Working Group of the German Länder under Waste Issues: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Eckpunkte (EP) der LAGA für eine "Verordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken", Stand 31.08.2004.

Larsson, L.B., Jacobson, T. & Bäckman, L. (2000): Mellanlagring av asfalt. Delrapport 4 – Utlakning från vägbelägningsmaterial innehållande stenkolsjära. Varia 486. SGI, Linköping.

Lavin, P. G., (2003): Asphalt Pavements. A practical guide to design, production, and maintenance for engineers and architects. Spon Press.

Legret, M., Odie, L., Demare, D., Jullien, A. (2005): Leaching of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons from reclaimed asphalt pavement. Water Research 39:3675–3685.

Lindau-Skands, Martin (2013): Tidligere Laboratoriechef for Koldasfaltafdelingen RGS 90 A/S. Mundtlig kommunikation

Lindgren, A.-L. (2011): Leachability and toxicity of cationic emulsifiers used in asphalt application - MSc Göteborgs Universitet 2011

Ludvigsen, K., (2001): Karakterisering og nyttiggørelse af vejopfej. Dansk Vejtidskrift 78(4):36-38.

Lærebog for Vejasfaltarbejde B (2004) udviklet for Undervisningsministeriet af Efteruddannelsesudvalget for bygge/anlæg og industri i samarbejde med Mikkel Dybdal

McMurra, Dennis (1997): Sample Tests Confirm No Health Hazard Anticipated from Potential PCB Contamination of Road Surfaces in Henry and Marshall Counties: Results Well Below Levels of Concern. Illinois EPA. <http://www.epa.state.il.us/news-releases/1997/1997-136.html>

McNally, T., ed. (2011): Polymer modified bitumen. Woodhead Publishing.

Mertz, Svend (1998): Asfaltindustriens udvikling, -produktion, -miljøforhold og -miljøregulering. Specialrapport. Roskilde Universitet, Institut for miljø, teknologi og samfund. Rapportserien Nr. 71, oktober 1998.

Miljøstyrelsen (1996): Forurennet jord og uorganiske restprodukter. Betænkning fra Miljøstyrelsen, nr. 1, 1996.

Miljøstyrelsen (2002): Kilder til jordforurening med tjære, herunder benz(a)pyren i Danmark. Miljøprojekt nr. 728, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen (2009a): Håndtering af lettere forurennet jord. Fase 1. Miljøprojekt nr. 1285. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen (2009b): Håndtering af lettere forurennet jord. Konsekvensvurdering. Miljøprojekt nr. 1287. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen (2010a): Liste over kvalitetskriterier i relation til forurennet jord og kvalitetskriterier for drikkevand. <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/95F9ABE9-485B-4D83-A3FF-62E420A5BE8D/0/...>

Miljøstyrelsen (2010c): Kortlægning af slagge og andre restprodukter mv. <http://www.rm.dk/files/Regional%20udvikling/Milj%C3%B8/Selvbetjening/Vejledninger/Vejledning%20om%20slagge%20og%20asfalt/Kortl%C3%A6gning%20af%20slagge%20og%20asfalt.pdf>

Miljøstyrelsen (2013a): Affaldsstatistik 2011. Notat. J.Nr. MST-7761-00516. 11. juni 2013.

Miljøstyrelsen (2013b): Personlig kommunikation med Eik Kristensen, Miljøstyrelsen, oktober 2013.

Morse, Audra, Phillip T. Nash, Sanjaya Senadheera, Andrew Jackson, Richard Wm. Tock, Jeremy Leggoe, Tony Mollhagen (2001): Environmental Characteristics of Traditional Construction and Maintenance Materials. Final Report. Texas Tech University. Center for Multidisciplinary Research in Transportation. Texas Department of Transportation

Munck (2007): Sikkerhedsdatablad for stålmetal.

Munck Asfalt (2011): Sikkerhedsdatablad Polymérmodificeret Bioflux

Naturvårdsverket (2010): Återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Handbok 2010:1, Stockholm.

The Ontario Stone, Sand & Gravel Association (2010): ABCs of Recycled Aggregates.

Park, T., og Lovell, C.W. (1996): Using Pyrolyzed Carbon Black (PCB) from Waste Tires in Asphalt Pavement (Part 1, Limestone Aggregate). Publication FHWA/IN/JHRP-95/10. Joint Highway Research Project, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1996. doi: 10.5703/1288284313345.

Pihl, K. A., Berg, F. og Milvang-Jensen, O. (2004): Ubundne bærelag af knust asfalt - efter europæiske standarder. Vejdirektoratet.

Pihl, K. A., Raaberg, J., Blæsbjerg, H., Quist, M., Bendsen, M., Birgisdóttir, H. (2008): Livscyklusvurdering af vejbefæstelser – Projekt Bording – Funder MV. Vejteknisk Institut. Rapport 164.

Regeling bodemkwaliteit. Regeling van 13 december 2007, nr. DJZ2007124397, houdende regels voor de uitvoering van de kwaliteit van de bodem.

Regeringen (2011), Handlingsplan for håndtering af PCB i bygninger.

<http://evm.dk/publikationer/2011/25-05-11-handlingsplan-for-handtering-af-pcb-i-bygninger>

Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit. Afvalstoffase asfalt(beton), teerhoudend asfalt en asfaltgranulaat. <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/asfalt-beton-teerhoudend-99381/afvalstoffase-asfalt-beton-99384>. Læst d. 10/10-2012

Robinson, H. I., (2004): Polymers in Asphalt. Rapra Review Report. Vol 15. No. 11.

Rosenberger, Robert, Martin Car (2006): Baurestmassen. Trennung auf der Baustelle. Ein Leitfaden für die Baustelle. 4 udgave, Geschäftsstelle Bau

RuVA-StB 01: Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, Ausgabe 2001, Fassung 2005; FGSV-Verlag; Köln; 2005

Schadstoffberatung Tübingen (2006): Polychlorierte Biphenyle (PCB). <http://www.schadstoffberatung.de/polyclbi.htm>

Sétra (2011): Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière. Évaluation environnementale. Guide Méthodologique. Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements. Bagneux Cedex, France.

Sigh, T (2011): NCC får miljøpris for genbrug af fejesand. Licitationen d. 6. december 2012.

SQD (2007): Soil Quality Decree. Staatscourant 20 December, Nr. 247, 67-90, The Netherlands.

SQD (2013): Opdatering af kriterierne for stofindhold og stofudvaskning i det hollandske Soil Quality Decree: http://wetten.overheid.nl/BWBR0023085/BijlageA/geldigheidsdatum_26-08-2013

Strufe, Niels, Niels Trap, Erik K. Lauritzen (2006): Kortlægning af forurenende stoffer i bygge- og anlægsaffald. Miljøstyrelsen. Miljøprojekt 1083.

TL AG-StB 09 (2009): Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Arbeitsgruppe Asphaltstraßen. Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat. Ausgabe 2009

Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe – VwVwS, Vom 17. Mai 1999. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen. Bundesministerium der Justiz

Vlarea (1998): Vlaams reglement inzake afvalvoorkoming en –beheer. Flemish Government, 17. December 1997.

Vägverket (2004a): Hantering av tjärhaltiga beläggningar - Vägverket Publikation 2004:90

Vägverket (2004b): Handbok för återvinning av asfalt. Publikation 2004:91.

Wess, Joann. A., Larry D. Olsen, Marie. H. Sweeney (2005), Asphalt (Bitumen). Concise International Chemical Assessment Document 59. World Health Organization (WHO)

Yen, T. F., G. V. Chilingarian, (1994): Asphalthenes and Asphalts, 1. Elsevier.

Yen, T. F., G. V. Chilingarian, (2000): Asphalthenes and Asphalts, 2. Elsevier.

Bilag 1: Data for stofindhold i og udvaskning fra knust asfalt

TABEL B1-1 KEMISKE ANALYSER AF DANSKE PRØVER AF KNUST ASFALT OG KNUST ASFALT/BETON SAMT PRØVER AF ASFALT UDTAGET FRA DANSKE VEJE (I-IV). VÆRDIER MARKERET MED FED SKRIFT OVERSKRIDER MILJØSTYRELSENS JORDKVALITETSKRITERIER, SOM OGSÅ ER VIST.

Prøve-ID	R-089-03	R-130-03	R-092-03	R-129-03	I	II	III	IV	Jordkvalitetskriterier
	Anlæg 1	Anlæg 6	Anlæg 1	Anlæg 6	Fra 1990	Fra 1990	Fra 2001	Fra 2001	
Land:	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	
Prøver udtaget:	2003	2003	2003	2003	2002	2002	2002	2002	
Materiale:	Asfalt 0/32	Asfalt 0/32	Bet./asfalt	Bet./asfalt	Asfalt	Asfalt	Asfalt	Asfalt	
Test/analyse:	Indhold	Indhold	Indhold	Indhold	Indhold	Indhold	Indhold	Indhold	
Enhed:	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
As		2	<	2					20
Cd		16		0.14					0.5
Cr		8.7		26					500
Cu		21		10					500
Hg		0.071		0.047					1
Ni		8.7		7.5					30
Pb		13		15					40
Zn		63		40					500
C6-C10	< 5	5 <	5 <	5					25
C10-C25	600	980	340	450					
C25-C35	2200	4200	1300	1400					
Sum C6-C35	2800	5200	1600	1800					100
Naphthalen	0.13	0.15	0.6	0.14	0.061	0.067	0.026	0.024	
Acenaphthylen	0.38	0.55	0.56	0.39 <	DL	0.13 <	DL <	DL	
Acenaphthen	0.21	0.21	0.42	0.21 <	DL <	DL	0.02	0.013	
Fluoren	0.39	0.23	0.93	0.27	0.012	0.083	0.051	0.029	
Phenanthren	3	2.2	7.2	2.5	0.098	0.2	0.068	0.14	
Anthracen	0.88	0.78	1.9	0.82	0.024	0.079	0.011	0.022	
Fluoranthren*	5.1	4.4	7.3	2.8	0.11	0.38	0.0232	0.048	
Pyren	5.8	4	6.3	2.4	0.096	0.38	0.019	0.082	
Benz(a)anthracen	2.4	1.3	2.9	0.95 <	DL	0.19	0.021	0.12	
Chrysen/triphenylen	3	1.5	3.4	1.1	0.27	0.71	0.081	0.64	
Benz(b+j+k)fluoranthren*	5.2	3.4	5.4	1.8	0.13	0.68	0.067	0.39	
Benz(a)pyren*	3.1	1.9	3.3	1.1	0.36	0.083	0.056	0.03	0.3
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	2.5	1.3	2.6	0.63	0.038	0.1	0.024	0.073	
Dibenz(a,h)anthracen*	0.46	0.3	0.47	0.13	0.038	0.11	0.028	0.095	0.3
Benz(g,h,i)perylene	2	1.3	2.1	0.59	0.077	0.33	0.031	0.073	
Sum 16 PAH (US EPA)	34	24	45	16	1.3	3.5	0.53	2.1	
Sum 5 PAH (MST*)	16	11	19	6.5	0.75	1.7	0.23	1.1	4
PCB nr. 28	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005					
PCB nr. 52	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005					
PCB nr. 101	< 0.005	< 0.005	0.0076	< 0.005					
PCB nr. 118	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005					
PCB nr. 138	< 0.005	< 0.005	0.017	< 0.005					
PCB nr. 153	< 0.005	< 0.005	0.013	< 0.005					
PCB nr. 180	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005					
Sum af PCB7	< 0.035	< 0.035	0.0085	< 0.035					
Kilde:	a	a	a	a	b	b	b	b	c

*: De PAH'er, som Miljøstyrelsen sammen med naphthalen kræver analyseret bl.a. i forbindelse med karakteriseringstestning af affald, som ønskes deponeret (BEK 1040/2013).

Referencer i Tabel B1-1: a – Baun & Hjelm (2003); b – Birgisdóttir et al. (2007); c – Miljøstyrelsen (2010a).

TABEL B1-2 UDVASKNING AF ORGANISKE OG UORGANISKE STOFFER FRA 2 PRØVER AF KNUST ASFALT OG TO PRØVER AF KNUST BETON OG ASFALT FRA DANMARK. DESUDEN SES UDVASKNINGSKRITERIERNE FOR RESTPRODUKTER OG JORD FRA BEK 1662/2010.

Prøve-ID	R-089-03	R-130-03	R-092-03	R-129-03	Kat. 1+2
	Anlæg 1	Anlæg 6	Anlæg 1	Anlæg 6	
Land:	DK	DK	DK	DK	
Prøvetagningstidspunkt:	2003	2003	2003	2003	
Materiale:	Asfalt 0/32	Asfalt 0/32	Bet./Asfalt	Bet./Asfalt	
Test/analyse:	EN 12457-1	EN 12457-1	EN 12457-1	EN 12457-1	
L/S (l/kg):	2	2	2	2	
Kontaktid (timer):	24	24	24	24	
Enhed:	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Klorid			180		300
Sulfat			35		500
Ca			320		
Na			99		200
As			0.0016		0.016
Ba			0.12		0.6
Cd		<	0.0004		0.004
Cr			0.039		0.02
Cu			0.15		0.09
Hg			0.000024		0.0002
Mn		<	0.03		0.3
Ni			0.024		0.02
Pb			0.002		0.02
Zn		<	0.02		0.44
C6-C10	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	
C10-C25	0.062	0.053	0.15	0.11	
C25-C35	0.7	< 0.08	0.15	0.14	
Sum C6-C35	0.76	0.053	0.31	0.24	
Naphthalen	< 0.00002	0.0026	0.008	0.003	
Acenaphtylen	0.00094	0.00032	0.0014	0.00088	
Acenaphthen	< 0.00002	0.00053	0.0016	0.00088	
Fluoren	0.000022	0.00034	0.0015	0.00068	
Phenanthren	0.000094	0.0014	0.0039	0.0024	
Anthracen	0.00038	0.00046	0.00097	0.00066	
Fluoranthren*	0.0011	0.00069	0.00085	0.00074	
Pyren	0.0032	0.0005	0.00054	0.00052	
Benz(a)anthracen	0.0007	0.000089	0.000087	0.00008	
Chrysen/triphenylen	0.0013	0.0001	0.00083	0.000084	
Benz(b+j+k)fluoranthren*	0.0046	0.00013	0.00012	0.00009	
Benz(a)pyren*	0.0032	0.000057	0.000056	0.000038	
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0.0026	0.000051	0.000056	0.000044	
Dibenz(a,h)anthracen*	0.00052	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
Benz(g,h,i)perylene	0.0024	0.000057	0.00006	0.000042	
Sum 16 PAH (US EPA)	0.022	0.0073	0.019	0.010	
Sum 5 PAH (MST*)	0.012	0.00093	0.0011	0.00091	
PCB nr. 28	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
PCB nr. 52	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
PCB nr. 101	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
PCB nr. 118	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
PCB nr. 138	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
PCB nr. 153	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
PCB nr. 180	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
Sum af PCB7	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	
pH	8.6	10.6	11.8	11.7	
Ledningsevne (mS/m)	80	65	210	160	
Kilde:	a	a	a	a	b

*: De PAH'er, som Miljøstyrelsen sammen med naphthalen kræver analyseret bl.a. i forbindelse med karakteriseringstestning af affald, som ønskes deponeret (BEK 1040/2013).

Referencer i Tabel B1-2: a – Baun & Hjelmars (2003); b – Miljøstyrelsen (2010d)

TABEL B1-3 INDHOLD AF ORGANISKE STOFFER I KNUST ASFALT FRA HOLLAND 2003/2004 (KILDE: INTRON/RIVM, (2008)). DE DANSKE JORDKVALITETSKRITERIER (MILJØSTYRELSEN, 2010A) ER VIST TIL SAMMENLIGNING. OVERSKRIDELSER ER ANGIVET MED FED SKRIFT.

Genbrugsasfalt	N	%<dl	Min	Max	Middel	Median	10%-fraktil	90%-fraktil	JKK
2003/2004 (Intron/RIVM)									DK
Indhold			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Benzen	57	89	0.035	0.05	0.036	0.035	0.035	0.037	1.5
Toluen	57	88	0.035	0.11	0.039	0.035	0.035	0.05	
Ethylen	57	89	0.035	0.05	0.036	0.035	0.035	0.037	
Xylener	57	88	0.049	0.21	0.058	0.049	0.049	0.07	
Phenoler	57	89	0.07	0.75	0.52	0.53	0.53	0.53	70
Naphthalen	166	31	0.01	11	1.25	0.7	0.09	2.4	
Phenanthren	166	7	0.01	76	6.6	3	0.7	9.8	
Anthracen	166	31	0.07	14	2	0.78	0.44	6.5	
Fluoranthren	166	5	0.07	214	11	6.9	1.95	15	
Chrysen	166	14	0.07	16	2.1	1.4	0.7	3.4	
Benz(a)anthracen	166	15	0.07	17	2.2	1.5	0.7	3.5	
Benz(a)pyren	166	19	0.01	14	1.56	1	0.59	2.7	0.3
Benz(k)fluoranthren	166	33	0.07	6.9	0.91	0.7	0.34	1.4	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	166	31	0.06	9.3	1.09	0.7	0.28	2.3	
Benz(g,h,i)perylene	166	29	0.05	7.4	1.03	0.7	0.27	1.95	
PAH (10)	173	1	0.49	240	28	18	7.6	42	
PCB-total	56	80	0.02	3.4	1.21	0.43	0.084	3.3	
Org. klorerede pesticider	56	77	0.01	5.9	2.1	1.15	0.15	5.9	
Org. ikke-klor. pesticider	56	73	0.01	14	0.01	3.2	0.44	4.5	
Mineralolie	10	0	71	96	74	71	71	74	100
EOX	64	0	0.15	2.4	0.86	0.75	0.32	1.57	

TABEL B1-4 INDHOLD AF ORGANISKE STOFFER I KNUST ASFALT FRA HOLLAND 2006 (KILDE: INTRON/RIVM, (2008)). DE DANSKE JORDKVALITETSKRITERIER (MILJØSTYRELSEN, 2010A) ER VIST TIL SAMMENLIGNING. OVERSKRIDELSER ER ANGIVET MED FED SKRIFT.

Genbrugsasfalt	N	%<dl	Min	Max	Middel	Median	10%-fraktil	90%-fraktil	JKK
2006 (Intron/RIVM)									DK
Indhold			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Benzen	15	100	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	1.5
Toluen	15	93	0.035	0.11	0.04	0.035	0.035	0.035	
Ethylen	15	93	0.035	0.05	0.036	0.035	0.035	0.035	
Xylener	15	87	0.049	0.15	0.062	0.049	0.049	0.1	
Phenoler	15	100	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	70
Naphthalen	16	94	0.70	7.8	1.14	0.70	0.70	0.70	
Phenanthren	16	63	0.70	31	3	0.70	0.70	2.7	
Anthracen	16	94	0.70	5.9	1.03	0.70	0.70	0.7	
Fluoranthren	16	56	0.70	41	4	0.70	0.70	4.9	
Chrysen	16	88	0.70	5.7	1.05	0.70	0.70	1.0	
Benz(a)anthracen	16	88	0.70	6.3	1.08	0.70	0.70	0.95	
Benz(a)pyren	16	88	0.70	3.8	0.92	0.70	0.70	0.9	0.3
Benz(k)fluoranthren	16	94	0.70	2	0.78	0.70	0.70	0.70	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	16	88	0.70	5.9	1.17	0.70	0.70	1.85	
Benz(g,h,i)perylene	16	94	0.70	2.5	0.81	0.70	0.70	0.70	
PAH (10)	16	75	4.9	110	13	4.9	4.9	16	
PCB-total	15	100	0.4	1.75	1.53	1.75	0.82	1.75	
Org. klorerede pesticider	15	100	0.6	2.5	2.1	2.5	0.88	2.5	

TABEL B1-5 UDVASKNING AF UORGANISKE STOFFER VED L/S = 10 L/KG I NEDKNUST ASFALT FRA HOLLAND 2003/2004 (KILDE: INTRON/RIVM (2008)). DE DANSKE GRÆNSEVÆRDIER FOR KATEGORI 1+2 I BEK 1662/2010 (OMREGNET FRA L/S = 2 L/KG TIL L/S = 10 L/KG) ER ANGIVET TIL SAMMENLIGNING. OVERSKRIDELSER ER ANFØRT MED FED SKRIFT.

Genbrugsasfalt 2003/2004 (Intron/RIVM)	N	%<dl	Min	Max	Middel	Median	10%-fraktil	90%-fraktil	Kat. 1+2
Stofudvaskning			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	DK
As	54	89	0.035	0.2	0.18	0.18	0.18	0.19	0.071
Ba	61	3	0.035	0.42	0.14	0.12	0.05	0.22	1.8
Cd	54	89	0.0035	0.007	0.0061	0.007	0.0035	0.007	0.006
Co	54	83	0.035	0.07	0.038	0.035	0.035	0.05	
Cr	54	89	0.035	0.05	0.037	0.035	0.035	0.046	0.055
Cu	54	74	0.028	0.15	0.045	0.035	0.035	0.07	0.2
Hg	54	89	0.0011	0.0035	0.0012	0.0011	0.0011	0.0014	0.00083
Mo	72	0	0.03	0.17	0.088	0.09	0.04	0.14	
Ni	54	89	0.035	0.14	0.043	0.035	0.035	0.046	0.043
Pb	54	89	0.07	0.21	0.077	0.07	0.07	0.091	0.045
Sb	96	8	0.014	0.34	0.055	0.043	0.021	0.093	
Se	54	81	0.0009	0.05	0.016	0.014	0.014	0.02	0.037
Sn	54	89	0.01	0.2	0.12	0.14	0.07	0.14	
V	76	14	0.07	2.5	0.49	0.34	0.07	0.77	
Zn	54	89	0.14	0.49	0.16	0.14	0.14	0.18	0.44
Fluorid	61	0	1.8	19	5	4.4	3.4	6.6	
Klorid	61	0	12	260	79	70	29	130	440
Sulfat	95	0	140	6300	766	320	204	2304	1000
Bromid	62	40	0.35	1.5	0.6	0.56	0.35	0.9	

Kategori 1+2 er de mest restriktive kriterier for stofudvaskning i BEK 1662/2010 om genanvendelse af restprodukter og jord omregnet fra L/S = 2 l/kg til L/S = 10 l/kg.

TABEL B1-6 UDVASKNING AF UORGANISKE STOFFER VED L/S = 10 L/KG I NEDKNUST ASFALT FRA HOLLAND 2005 (KILDE: INTRON/RIVM (2008)). DE DANSKE GRÆNSEVÆRDIER FOR KATEGORI 1+2 I BEK 1662/2010 (OMREGNET FRA L/S = 2 L/KG TIL L/S = 10 L/KG) ER ANGIVET TIL SAMMENLIGNING. OVERSKRIDELSER ER ANFØRT MED FED SKRIFT.

Genbrugsasfalt 2005 (Intron/RIVM)	N	%<dl	Min	Max	Middel	Median	10%-fraktil	90%-fraktil	Kat. 1+2
Stofudvaskning			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	DK
As	7	100	0.17	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.071
Ba	7	0	0.11	0.21	0.14	0.13	0.11	0.17	1.8
Cd	7	100	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.006
Co	7	100	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	
Cr	7	100	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.055
Cu	7	86	0.035	0.058	0.038	0.035	0.035	0.044	0.2
Hg	7	100	0.001	0.0011	0.0011	0.0011	0.001	0.0011	0.00083
Mo	8	25	0.018	0.13	0.078	0.079	0.018	0.12	
Ni	7	100	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.043
Pb	7	100	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.045
Sb	7	29	0.014	0.086	0.04	0.03	0.014	0.084	
Se	7	100	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.037
Sn	7	100	0.07	0.14	0.08	0.07	0.07	0.098	
V	10	0	0.21	1.1	0.52	0.42	0.21	0.92	
Zn	7	100	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.44
Fluorid	7	0	1.8	7	5.3	5.8	3.2	6.8	
Klorid	13	0	8.7	240	77	47	14	152	440
Sulfat	13	0	150	470	248	250	152	346	1000
Bromid	13	46	0.35	2.2	0.75	0.5	0.35	1.4	

Kategori 1+2 er de mest restriktive kriterier for stofudvaskning i BEK 1662/2010 om genanvendelse af restprodukter og jord omregnet fra L/S = 2 l/kg til L/S = 10 l/kg.

TABEL B1-7 RESULTAT AF KOLONNEUDVASKNINGSTEST (CEN/TS 351/TS-3) UDFØRT PÅ KNUST GENBRUGSASFALT FRA TYSKLAND (HJELMAR ET AL., 2013). DE RELATIVT HØJE VÆRDIER AF UDVASKET DOC, AMMONIUM (NH₄) OG SULFAT (SO₄) ER MARKERET MED FED SKRIFT.

Stof	Enhed	L/S=2 l/kg		L/S=10 l/kg	
		N = 3		N = 3	
		Middel	Rel. std.afv.	Middel	Rel. std.afv.
		mg/kg	%	mg/kg	%
2,3,5-Trimethylphenol	mg/kg	0.0010	4.0	0.0012	3.2
2,3,6-Trimethylphenol	mg/kg	0.000047	0.93	0.00025	0.71
2,3-DMPH/3,5-DMPH/4-Eph	mg/kg	0.0019	17	0.0021	15
2,4,6-Trimethylphenol	mg/kg	0.00013	70	0.00034	27
2,4-Dimethylphenol	mg/kg	0.00013	21	0.00033	7.6
2,5-Dimethylphenol	mg/kg	0.00027	13	0.00048	7.3
2,6-Dimethylphenol	mg/kg	0.000052	8.9	0.00026	1.7
2-Ethylphenol	mg/kg	0.000080	30	0.00028	7.9
3,4,5-Trimethylphenol	mg/kg	0.00037	26	0.00057	17
3,4-Dimethylphenol	mg/kg	0.00017	2.6	0.00037	0.92
3-Ethylphenol	mg/kg	0.00012	31	0.00033	11
Acenaphthene	mg/kg	0.0010	28	0.0011	22
Acenaphthylene	mg/kg	0.000066	19	0.00019	10
Anthracene	mg/kg	0.0016	25	0.0037	11
Benzo(a)anthracen	mg/kg	0.0066	16	0.0101	19
Benzo(a)pyrene	mg/kg	0.0039	19	0.0082	12
Benzo(b)fluoranthene+benzo(k)fluorant hene	mg/kg	0.0075	18	0.015	15
Benzo(g,h,i)perylene	mg/kg	0.0016	21	0.0042	12
Chrysene	mg/kg	0.0057	14	0.0089	16
Dibenzo(a,h)anthracene	mg/kg	0.00059	20	0.0014	12
Fluoranthene	mg/kg	0.0042	36	0.0098	29
Fluorene	mg/kg	0.00093	14	0.0010	9.2
Indeno(1,2,3,c,d)pyrene	mg/kg	0.0019	19	0.0050	12
Naphthalene	mg/kg	0.000064	18	0.00010	11
Phenanthrene	mg/kg	0.00066	40	0.0016	31
Pyrene	mg/kg	0.0035	38	0.0082	29
PAH-EPA	mg/kg	0.040	20	0.078	17
M-cresol	mg/kg	0.00086	40	0.0011	32
O-cresol	mg/kg	0.0012	45	0.0014	39
P-cresol	mg/kg	0.025	47	0.025	47
Phenol	mg/kg	0.0033	36	0.0035	34.2
DOC	mg/kg	122	6.1	199	8.2
Ca	mg/kg	230	16	451	13
Cl	mg/kg	12	50	14	47
F	mg/kg	1.1	14	4.0	16
K	mg/kg	53	37	82	25
Mg	mg/kg	23	12	36	9.6
Na	mg/kg	22	54	28	45
NH ₄	mg/kg	6.6	9.6	15	8.3
PO ₄	mg/kg	4.7	6.3	18	1.2
SO ₄	mg/kg	426	9.4	540	18

TABEL B1-8 INDHOLD AF UORGANISKE STOFFER OG PAH'ER I GENANVENDT OG NYT ASFALT SAMT I NYE TILSLAGSMATERIALER. PRØVER FRA FRANSE LANDEVEJE (LEGRET ET AL., 2005).

Metal	Reclaimed asphalt pavement (mg/kg)	New conventional asphalt (mg/kg)	Natural aggregates (mg/kg)
Al	40,380	61,290	46,960
Fe	29,420	51,690	12,900
Ca	29,200	47,300	24,600
Mg	9820	21,700	9040
Na	12,700	22,300	14,600
K	16,070	13,300	21,800
Cd	0.2	<0.1	<0.1
Cr	40	54	32
Cu	11	20	14
Ni	23	20	14
Pb	7	3	5
Zn	48	86	46
Anthracene	<0.02	0.06	—
Benzo(a)anthracene	0.23	0.27	—
Benzo(a)pyrene	<0.02	0.16	—
Benzo(b)fluoranthene	<0.02	<0.02	—
Benzo(ghi)perylene	0.31	0.07	—
Benzo(k)fluoranthene	0.29	0.09	—
Dibenzo(ah)anthracene	0.16	0.03	—
Fluoranthene	0.11	1.07	—
Indeno(123cd)pyrene	<0.02	0.17	—
Naphthalene	<0.02	0.07	—
Phenanthrene	0.03	0.79	—
Pyrene	0.14	0.55	—
Chrysene	0.38	0.49	—
Acenaphthylene	n.d.	n.d.	—
Acenaphthene	<0.02	0.20	—
Fluorene	<0.02	0.25	—

TABEL B1-9 MEDIANVÆRDIER FOR UDVALGTE SPORELEMENTINDHOLD I ASFALTPRØVER FRA NORSKE VEJE (JARTUN OG JØRGENSEN, 2006).

Stoff (mg/kg)	Normverdi mest følsom arealbruk	Hele datasettet	Kristiansand	Oslo	Bergen
Arsen - As	2	1,2	0,9	1,3	1,3
Kadmium - Cd	3	0,16	0,29	0,13	0,19
Krom - Cr	25	13,8	9,4	19,6	11,5
Kobber - Cu	100	15,4	15,3	14,4	17,3
Nikkel - Ni	50	17,9	12,8	22,9	15,2
Bly - Pb	60	4,1	5,2	4,1	3,4
Sink - Zn	100	36,5	43,0	30,3	41,8

TABEL B1-10 INDHOLD AF PAH I 20 PRØVER AF ASFALT, SOM VAR TILFÆLDIGT UDVALGT BLANDT DE 63 PRØVER FRA NORSKE VEJE (JARTUN OG JØRGENSEN, 2006).

Prove- nr.	Sted	Sum PAH(16)	Naftalen	Acenaftylen	Acenaften	Fluoren	Fenantren	Antracen	Fluoranten	Pyren	Benzo(a)antracen	Crysen	Benzo(b)fluoranten	Benzo(k)fluoranten	Benzo(a)pyren	Dibenzo(a,h)antracen	Benzo(g,h,i)perylene	Indeno(1,2,3,cd)pyren
Alle data er oppgitt i mg/kg																		
04	Kristian-sand	505	0,13	0,86	4,54	1,87	19,9	16,9	149	112	49,6	33,6	26,3	13,1	28,3	5,28	19,1	24,0
08	Kristian-sand	388	0,58	8,58	1,09	2,17	29,7	19,2	98,2	74,4	39,7	25,9	20,4	11,5	21,2	4,25	14,2	17,7
11	Kristian-sand	5,24	0,08	0,04	0,24	0,06	0,22	0,12	0,38	0,65	0,37	1,08	0,57	0,12	0,38	0,16	0,54	0,25
12	Kristian-sand	5,19	0,22	0,02	0,06	0,04	0,18	0,06	0,37	0,67	0,33	1,31	0,57	0,10	0,40	0,16	0,45	0,23
13	Kristian-sand	4,47	0,10	0,020	0,11	0,22	0,88	0,12	0,36	0,54	0,18	0,79	0,33	0,06	0,22	0,07	0,34	0,14
14	Kristian-sand	13,5	0,45	0,32	0,23	0,20	0,59	0,32	3,00	2,62	1,01	1,07	0,95	0,32	0,95	0,18	0,68	0,63
103	Oslo	3,13	0,30	0,02	0,08	0,14	0,32	0,05	0,10	0,24	0,13	0,60	0,31	0,03	0,20	0,11	0,38	0,10
107	Oslo	6,25	1,11	0,02	0,24	0,28	1,13	0,59	0,58	0,57	0,25	0,42	0,26	0,07	0,24	0,08	0,28	0,13
107 d	Oslo	28,3	4,00	0,15	1,12	0,92	5,69	1,22	3,69	3,79	1,07	1,18	1,10	0,46	1,46	0,21	1,18	1,09
115	Oslo	4,31	0,84	0,05	0,22	0,18	0,29	0,08	0,28	0,47	0,15	0,38	0,36	0,08	0,29	0,08	0,33	0,20
116	Oslo	13,3	0,68	0,22	0,06	0,03	0,17	0,21	1,03	2,42	0,57	1,64	1,80	0,59	1,40	0,27	1,15	1,08
117	Oslo	1,63	<0,01	0,03	0,03	0,02	0,11	<0,01	0,03	0,11	0,09	0,58	0,20	0,02	0,13	0,06	0,16	0,04
118	Oslo	347	0,72	6,62	0,64	0,46	27,3	6,32	81,4	76,2	22,1	18,2	27,1	12,6	27,7	4,15	16,6	19,1
120	Oslo	3,05	0,18	0,07	0,14	0,07	0,14	0,02	0,12	0,46	0,05	0,32	0,35	0,07	0,38	0,08	0,36	0,21
203	Bergen	11,2	0,61	0,09	0,90	1,11	2,2	0,49	1,26	1,19	0,35	0,94	0,52	0,15	0,57	0,14	0,46	0,28
205	Bergen	2,39	0,07	0,036	0,31	0,17	0,08	0,02	0,16	0,44	0,05	0,30	0,19	0,04	0,17	0,04	0,23	0,09
209	Bergen	6,31	<0,01	0,01	0,06	0,04	0,08	0,03	0,23	1,47	0,57	2,02	0,52	0,07	0,61	0,12	0,36	0,10
211	Bergen	4,01	<0,01	0,01	0,18	0,17	0,35	0,03	0,13	0,54	0,27	1,07	0,44	0,05	0,33	0,09	0,26	0,06
212 d	Bergen	2,72	<0,01	0,01	0,26	0,28	0,24	0,03	0,09	0,24	0,09	0,64	0,28	0,03	0,18	0,07	0,21	0,06
213	Bergen	3,14	<0,01	<0,01	0,05	0,03	0,03	<0,01	0,12	0,51	0,16	1,26	0,41	0,03	0,21	0,06	0,18	0,05

Bilag 2: Forskellige landes krav til stofindhold og stofudvaskning ved anvendelse af knust asfalt på ubunden form

B2-1 UDVALGTE LANDES KRAV TIL STOFINDHOLD I BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, SOM ØNSKES ANVENDT TIL BYGGE- OG ANLÆGSFORMÅL PÅ UBUNDEN FORM.

Land: Region: Anvendelseskategori:	Belgien Flandern Ubundet	Frankrig Vejbygning	Holland Vejbygning	Tyskland Ubundet Z1.1 Generel mg/kg	Tyskland Ubundet Z1.2 Generel mg/kg
Materialer: Enhed:	Generel mg/kg	Affald mg/kg	Asfalt mg/kg	Generel mg/kg	Generel mg/kg
As	250			30	50
Cd	10			1	3
Cr tot Cr(VI)	1250			100	200
Cu	375			100	200
Hg	5			1	3
Ni	250			100	200
Pb	1250			200	300
Th				1	3
Zn	1250			300	500
Cyanid				10	30
TOC		30000/60000			
EOX	10			3	10
BTEX		6		1	3
Benzen	0.5		1		
Ethylbenzen	5		1.25		
Toluen	15		1.25		
Xylen	15		1.25		
Styren	1.5				
Hexan	1				
Heptaner	25				
Octan	90				
Flygtige hal. kulbrinter				1	3
Hydrocarbons C10-C40	1000	500		300	500
PAH (10) PAH (EPA)		50	75	5	15
Naphthalen	20			0.5	1
Phenanthren	30				
Fluoranthren	40				
Benz(a)anthracen	35				
Chrysen	400				
Benz(b)fluoranthren	55				
Benz(k)fluoranthren	55				
Benz(a)pyren	8.5			0.5	1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	35				
Benz(g,h,i)perylene	35				
PAH-L					
PAH-M					
PAH-H					
PCB7	0.5	1	0.5	0.1	0.5
Asbest			100		
pH				5.5-8	5-9
Reference:	A	B	C	D	D

Kilder – A: Böhmer et al. (2008), B: Sétra (2011), C: SQD (2013), D: LAGA (1997)

B2-2 UDVALGTE LANDES KRAV TIL STOFINDHOLD I BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, SOM ØNSKES ANVENDT TIL BYGGE- OG ANLÆGSFORMÅL PÅ UBUNDEN FORM. TIL SAMMENLIGNING ER VIST DE DANSKE JORDKVALITETSKRITERIER, SOM SVARER TIL INDHOLDSKRAVENE TIL ANDRE RESTPRODUKTER, SOM ØNSKES ANVENDT SOM KATEGORI 1-MATERIALER I HENHOLD TIL BEK 1662/2010.

Land:	Sverige	Østrig	Østrig	Østrig	Danmark
Region:					
Anvendelseskategori:	Anv. på deponi Vejledende	A+	A	B	JKK/Kategori 1
Materialer:	Affald	B&A-affald	B&A-affald	B&A-affald	Restprod.
Enhed:	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
As	10	20	30	30	20
Cd	1.5	0.5	1.1	1.1	0.5
Cr tot	80	40	90	90	500
Cr(VI)					20
Cu	80	30	90	90	500
Hg	1.8	0.2	0.7	0.7	1
Ni	70	30	55	55	30
Pb	200	30	100	100	40
Th					
Zn	250	100	450	450	500
Cyanid					
TOC					30000
EOX					
BTEX					
Benzen					
Ethylbenzen					
Toluen					
Xylen					
Styren					
Hexan					
Heptaner					
Octan					
Hydrocarbons					
C10-C40					
PAH (EPA)		4	12	20	
Naphthalen					
Phenanthren					
Fluoranthren					
Benz(a)anthracen					
Chrysen					
Benz(b)fluoranthren					
Benz(k)fluoranthren					
Benz(a)pyren					
Indeno(1,2,3-cd)pyren					
Benz(g,h,i)perylene					
PAH-L	3				
PAH-M	10				
PAH-H	2.5				
PCB7					
Reference:	E	A	A	A	F

Kilder – E: Naturvårdsverket (2010), A: Böhmer et al. (2008), F: Miljøstyrelsen (2010d)

B2-3 UDVALGTE LANDES KRAV TIL STOFUDVASKNING FRA BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, SOM ØNSKES ANVENDT TIL BYGGE- OG ANLÆGSFORMÅL PÅ UBUNDEN FORM.

Land: Region: Anvendelseskategori:	Belgien Flandern Ubundet	Frankrig Niveau 1A 80%	Frankrig Niveau 1B 95%	Frankrig Niveau 1C 100%	Frankrig Niveau 1 Exclusion Generelt	Frankrig Niveau 2A Generelt	Frankrig Niveau 2B Generelt
Materialer: Test:	Generelt CEN/TS 14405	Generelt EN 12457-2 EN 12457-4	Generelt EN 12457-2 EN 12457-4	Generelt EN 12457-2 EN 12457-4	Generelt EN 12457-2 EN 12457-4	Generelt EN 12457-2 EN 12457-4	Generelt EN 12457-2 EN 12457-4
L/S (l/kg): Enhed:	10 mg/kg	10 mg/kg	10 mg/kg	10 mg/kg	10 mg/kg	10 mg/kg	10 mg/kg
Bromid							
Klorid		800	1600	2400	15000	10000	5000
Fluorid		10	20	30	150	60	30
Sulfat		1000	2000	3000	20000	10000	5000
NH4-N							
Nitrat							
Nitrit-N							
Cyanide							
Na							
As	0.8	0.5	1	1.5	2	0.8	0.5
Ba		20	40	60	100	56	28
Be							
Cd	0.03	0.04	0.08	0.12	1	0.32	0.16
Co							
Cr tot	0.5	0.5	1	1.5	10	4	2
Cr(VI)							
Cu	0.5	2	4	6	50	50	50
Hg	0.02	0.01	0.02	0.03	0.2	0.08	0.04
Mn							
Mo		0.5	1	1.5	10	5.6	2.8
Ni	0.75	0.4	0.8	1.2	10	1.6	0.8
Pb		0.5	1	1.5	10	0.8	0.5
Sb		0.06	0.12	0.18	0.7	0.4	0.2
Se		0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.4
Sn							
V							
Zn	2.8	4	8	12	50	50	50
TDS		4000	8000	12000	60000		
DOC							
Phenolindeks							
HC-indeks							
PAH (16 EPA)							
COD							
Asbestos							
pH							
Ledn.evne (mS/m)							
Opløst tørstof							
Kilde:	A	B	B	B	B	B	B

Kilder

A: Böhmer et al. (2008)

B: Sétra (2011)

B2-4 UDVALGTE LANDES KRAV TIL STOFUDVASKNING FRA BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, SOM ØNSKES ANVENDT TIL BYGGE- OG ANLÆGSFORMÅL PÅ UBUNDEN FORM.

Land:	Holland	Holland	Sverige	Sverige	Tyskland	Tyskland	Tyskland
Region:							
Anvendelseskategori:	300 mm/y	6 mm/y	Fri anv. Anv. på deponi		Z0/Z1.1	Z1.2	Z2
Materialer:	Alle materialer	Alle materialer	Affald	Affald	Jord mv.	Jord mv.	Jord mv.
Test:	CEN/TS14405	CEN/TS14405			EN 12457-2	EN 12457-2	EN 12457-2
L/S (l/kg):	10	10	10	10	10	10	10
Enhed:	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Bromid	20	34					
Klorid	616	8800	130	11000	300	500	1000
Fluorid	55	1500					
Sulfat	1730	20000	200	8500	200	500	2000
NH4-N							
Nitrat							
Nitrit-N							
Cyanide					0.05	0.1	0.2
Na							
As	0.9	2	0.09	0.4	0.14	0.2	0.6
Ba	22	100					
Be							
Cd	0.04	0.06	0.02	0.007	0.015	0.03	0.06
Co	0.54	2.4					
Cr tot	0.63	7	1	0.3	0.125	0.25	0.6
Cr(VI)							
Cu	0.9	10	0.8	0.6	0.2	0.6	1
Hg	0.02	0.08	0.01		0.005	0.01	0.02
Mn							
Mo	1	15					
Ni	0.44	2.1	0.4	0.6	0.15	0.2	0.7
Pb	2.3	8.3	0.2	0.3	0.4	0.8	2
Sb	0.32	0.7					
Se	0.15	3					
Sn	0.4	2.3					
V	1.8	20					
Zn	4.5	14	4	3	1.5	2	6
TDS							
DOC							
Phenolindeks					0.2	0.4	
HC-indekst							
PAH (16 EPA)							
COD							
Asbestos							
pH					6.5-9.5	6-12	5.5-12
Ledn.evne (mS/m)					25	150	200
Opløst tørstof							
Kilde:	C	C	D	D	E	E	E

Kilder

C: SQD (2007 and 2013)

D: Naturvårdsverket (2010)

E: LAGA (2004)

B2-5 UDVALGTE LANDES KRAV TIL STOFUDVASKNING FRA BYGGE- OG ANLÆGSAFFALD, HERUNDER KNUST ASFALT, SOM ØNSKES ANVENDT TIL BYGGE- OG ANLÆGSFORMÅL PÅ UBUNDEN FORM. TIL SAMMENLIGNING ER VIST DE DANSKE UDVASKNINGSKRAV TIL RESTPRODUKTER, SOM ØNSKES ANVENDT SOM KATEGORI 1 OG 2-MATERIALER I HENHOLD TIL BEK 1662/2010. DE DANSKE GRÆNSEVÆRDIER ER OMREGNET FRA L/S = 2 L/KG TIL L/S = 10 L/KG FOR AT KUNNE SAMMENLIGNES MED DE ØVRIGE LANDES GRÆNSEVÆRDIER.

Land:	Østrig	Østrig	Østrig	Danmark
Region:				
Anvendelseskategori:	A+	A	B	Kategori 1+2
Materialer:	B&A-affald	B&A-affald	B&A-affald	Restprodukter
Test:	EN 12457-4	EN 12457-4	EN 12457-4	EN 12457-1
L/S (l/kg):	10	10	10	10
Enhed:	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Bromid				
Klorid	800	800	1000	440
Fluorid	10	10	15	
Sulfat	1500	2500	5000	1000
NH4-N	1	4	8	
Nitrat				
Nitrit-N	0.5	1	2	
Cyanide				
Na				
As	0.5	0.5	0.5	0.071
Ba	20	20	20	1.8
Be				
Cd	0.04	0.04	0.04	0.0063
Co				
Cr tot	0.3	0.5	0.5	0.055
Cr(VI)				
Cu	0.5	1	2	0.20
Hg	0.01	0.01	0.01	0.00083
Mn				
Mo				
Ni	0.4	0.4	0.6	0.043
Pb	0.5	0.5	0.5	0.045
Sb	0.06	0.06	0.1	
Se	0.1	0.1	0.1	0.037
Sn				
V				
Zn	4	4	18	0.44
TDS				
DOC	500	500	500	
Phenolindeks	1			
HC-indekst	1	3	5	
PAH (16 EPA)	4	12	20	
COD				
Asbestos				
pH	7.5 - 12.5	7.5 - 12.5	7.5 - 12.5	
Ledn.evne (mS/m)	150 (200)	150 (200)	150 (200)	
Opløst tørstof	4000	4000	8000	
Kilde:	F	F	F	G

Kilder

F: Böhmer et al. (2008)

G: Miljøstyrelsen (2010d)

Forundersøgelse: Farlige stoffer i asfalt og spredning af disse ved anvendelse af opbrudt asfalt

Der er indsamlet foreliggende relevante oplysninger om indhold og udvaskning af potentielt miljøskadelige stoffer fra knust asfalt.

Stofudvaskning fra et scenarie for anvendelse af opbrudt asfalt er modelleret. På baggrund af de indsamlede oplysninger og resultater fra modelberegning vurderes det, at anvendelse af opbrudt asfalt i vejkasser, som erstatning for primære råstoffer, kan være miljømæssigt acceptabelt, under forudsætning af et tæt overliggende dæklag, og brug af underliggende geotekstil. Det vurderes videre, at anvendelse af opbrudt asfalt i produktion af ny asfalt er miljømæssigt acceptabelt.

Det bemærkes, at de foreliggende oplysninger om indhold og udvaskning af potentielt miljøskadelige stoffer fra knust asfalt har vist sig at være sparsomme, hvorfor projektets vurderinger hviler på et spinkelt grundlag.

Der er endvidere indsamlet oplysninger, om hvilke krav en række europæiske lande stiller til anvendelse af opbrudt asfalt.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www. mst.dk