

# Filtermaterial i markbaserade avloppsanläggningar

Hållbara alternativ till naturgrus

---

Elin Ulinder, Geert Cornelis,  
Andreas Lindhe, Ida Sylwan,  
Anna-Karin Dahlberg, Karin Wiberg,  
Madelen Malm, Lukas Farquharson,  
Maria Hübinette, Maja Englund,  
David Eveborn, Jon-Petter Gustafsson,  
Paul Löffler, Erik Sindhøj

RAPPORT 7160 | JANUARI 2025



# Filtermaterial i markbaserade avloppsanläggningar

Hållbara alternativ till naturgrus

av Elin Ulinder, Geert Cornelis, Andreas Lindhe, Ida Sylwan, Anna-Karin Dahlberg,  
Karin Wiberg, Madelen Malm, Lukas Farquharson, Maria Hübinette, Maja Englund,  
David Eveborn, Jon-Petter Gustafsson, Paul Löffler och Erik Sindhøj

**Naturvårdsverket**

Tel: 010-698 10 00

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-7160-8

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2025

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2025

Omslagsfoto: David Eveborn

# Förord

Här presenteras resultaten från forskningsprojektet ”Filtermaterial i markbaserade anläggningar – hållbara alternativ till naturgrus”. Projektet är ett av fyra syntesprojekt som genomförts inom satsningen Avloppsvatten och övergödning.

Med de fyra syntesarbeten ville Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten få sammanfattad och analyserad kunskapsläge och kunskapsbehov inom områdena avloppsvatten och övergödning. Det övergripande syftet med synteserna var att bidra till policyutveckling inom hållbar vattenhantering så att vi uppnår miljömålen på lång sikt och att miljöns tillstånd förbättras. Utlysningen var inriktad på tre områden varav ett var material i markbaserade avloppsanläggningar.

Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag.

Rapporten har skrivits av Elin Ulinder, Ida Sylwan, Madelen Malm, Maja Englund och Erik Sindhøj (alla RISE), Geert Cornelis, Anna-Karin Dahlberg, Karin Wiberg, Jon-Petter Gustafsson och Paul Löffler (alla SLU), Andreas Lindhe (Chalmers), Lukas Farquharson (WSP), Maria Hübinette (Länsstyrelsen Västra Götalands län) samt David Eveborn (SGU).

Rapporten har granskats för vetenskaplig kvalitet av Petter D. Jenssen (Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, NMBU), för praktisk relevans av Bodil Aronsson Forsberg och Åsa Gunnarsson (Havs- och vattenmyndigheten) samt av Anna Åkerblom (Naturvårdsverket).

Författarna svarar för rapportens innehåll.

Stockholm i januari 2025

Johan Bogren  
Tf. Avdelningschef, Hållbarhetsavdelningen

# Innehåll

<b>Förord</b>	3
<b>Begreppslista</b>	6
<b>Sammanfattning</b>	7
<b>Summary</b>	9
<b>1. Inledning</b>	11
1.1 Syfte	11
1.2 Frågeställningar	11
1.3 Finansiär och projekttid	12
1.4 Forskningsgrupp	12
1.5 Referensgrupp	12
1.6 Avgränsningar	12
<b>2. Bakgrund</b>	14
2.1 Teknisk beskrivning	14
2.2 Reningseffektivitet	18
2.3 Naturgrus	18
2.4 Alternativa filtermaterial	19
2.5 Filtermaterialets påverkan på funktion	20
2.6 Designens påverkan på funktion	21
<b>3. Metod</b>	23
3.1 Identifiering och urval av material	23
3.2 Djupstudier och utvärdering av material	24
3.2.1 Bedömning av reningsförmåga och genomsläpplighet	27
<b>4. Resultat</b>	32
4.1 Identifierade filtermaterial samt urval av material	32
4.2 Filtermaterial som undersökts efter urval	34
4.2.1 Ballast från tvättade schaktmassor	35
4.2.2 Bark	36
4.2.3 Bergkross	36
4.2.4 Biokol	37
4.2.5 Däckklipp	37
4.2.6 Krossad betong	37
4.2.7 Grov morän	38
4.3 Identifierade kriterier	39
4.4 Tekniska kriterier	41
4.4.1 Livslängd	41
4.4.2 Reningseffektivitet	47
4.5 Sociala kriterier	55
4.5.1 Hälsa- och arbetsmiljörisker vid framställning av filtermaterial och byggnation av avloppsanläggning	55
4.5.2 Samhällelig acceptans	59
4.5.3 Intressekonflikt resursanvändning	62

4.6	Miljömässiga kriterier	65
4.6.1	Klimatpåverkan vid framställning av filtermaterial	65
4.6.2	Klimatpåverkan från transporter	71
4.6.3	Användning av icke förnybara resurser	73
4.6.4	Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast	76
4.7	Ekonomiska kriterier	81
4.7.1	Materialets kostnad	81
4.7.2	Tillgängliga volymer	86
4.7.3	Produktens mognadsgrad	90
4.8	Viktning av kriterier	94
4.9	Sammantagen bedömning av potential	97
4.9.1	Prestandamatrix och viktade poäng	97
4.9.2	Osäkerheter	102
4.9.3	Känslighetsanalys	103
4.9.4	Osäkerhet och högt viktade kriterier	104
4.10	Material utanför MKA:n	105
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>106</b>
5.1	Vad säger multikriterieanalysen?	106
5.1.1	Skillnad mot tillståndsprövning	107
5.2	Urval av material till djupstudier	107
5.3	De djupstuderade materialens möjligheter och utmaningar	107
5.3.1	Bark	108
5.3.2	Däckklipp	109
5.3.3	Grov morän	110
5.3.4	Krossad betong	111
5.3.5	Ballast från tvättade schaktmassor	112
5.3.6	Bergkross	113
5.3.7	Biokol	114
5.3.8	Osäkerheter och högt viktade kriterier	115
5.3.9	Utredningsbehov per material	116
5.4	Osäkerheter i bedömningen	118
5.4.1	Bedömda osäkerheter i MKA:n	118
5.4.2	Osäkerheter på grund av olika förutsättningar	119
5.4.3	Osäkerheter på grund av viktningen	120
5.5	Avgränsningar i bedömningen	120
5.6	Framtidens filtermaterial	121
5.7	Förslag på bidrag	122
<b>6.</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>123</b>
<b>7.</b>	<b>Författarnas tack</b>	<b>125</b>
<b>8.</b>	<b>Källförteckning</b>	<b>126</b>
8.1	Personlig kommunikation	135
8.2	Planerade publikationer från projektet	136
	<b>Bilaga A. Söksträng</b>	<b>137</b>
	<b>Bilaga B. Urval av material</b>	<b>139</b>
	<b>Bilaga C. Hur mycket naturgrus behövs per år?</b>	<b>141</b>

# Begreppslista

Term	Förklaring
BOD	Biokemisk syreförbrukning
Filtermaterial	Avser här det material som utgör huvuddelen av den markbaserade avloppsanläggningen, och utgör det medium där huvudsaklig rening antas ske. Traditionellt används naturgrus som filtermaterial.
Markbaserad avloppsanläggning	Anläggning för rening av avloppsvatten där reningen sker genom att vattnet rinner vertikalt genom granulärt material. Det granulära materialet består traditionellt av den naturliga marken eller annat markmaterial. De vanligaste varianterna på markbaserade avloppsanläggningar är infiltrationsanläggning och markbädd.
Mikroplast	Plastpartiklar mindre än 5 mm.
Multikriterieanalys (MKA)	Beslutsstödsmetod för att strukturerat utvärdera och jämföra alternativ med avseende på fler olika aspekter (kriterier).
Naturgrus	Geologiskt bildade jordarter (t.ex. isälvsediment och svallsediment) som är sorterade och bestående huvudsakligen av sand, grus och sten. Vid användning av naturgrus som filtermaterial för markbaserad rening i Sverige ligger relevant kornstorleksfördelning i spannet ~0–8 mm. Naturgrus avser därför i detta sammanhang en blandning mellan sand och grus.
Organiska miljögifter	Miljö- och hälsoskadliga organiska ämnen genererade via mänsklig verksamhet – antingen genom medveten syntetisering (för framställning av t.ex. läkemedel eller bekämpningsmedel), eller oavsiktlig generering (som biprodukt från annan mänsklig verksamhet).
Patogener	Smittämnen, här avses potentiellt sjukdomsframkallande mikroorganismer så som virus och bakterier
P	Persistenta organiska mikroföroreningar. Här har benämningen P satts för alla organiska mikroföroreningar som är persistenta men icke mobila och icke bioackumulerande
PB & PBM	Persistenta, mobila och bioackumulerande organiska mikroföroreningar. Här har benämningen PB & PBM satts för alla organiska mikroföroreningar som är persistenta och bioackumulerande samt i vissa fall mobila.
PM	Persistenta, mobila organiska mikroföroreningar. Här har benämningen PM satts för alla organiska mikroföroreningar som är persistenta och mobila men icke-bioackumulerande
Små avlopp	Som små avlopp räknas de avloppsreningsanläggningar som har en belastning på 200 personekvivalenter eller mindre. I denna studie antas belastningen utgöras av spillvatten huvudsakligen från hushåll.

# Sammanfattning

Det filtermaterial som används i markbaserade avloppsanläggningar, avsedda för rening av hushållspillvatten, utgörs traditionellt av naturgrus. Kring hälften av de små avloppsanläggningarna i Sverige bedöms vara markbaserade anläggningar. Samtidigt finns en målsättning om att minska det nationella naturgrusuttaget, och det är inte tillåtet att etablera en naturgrustäkt om det är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt att använda ett alternativt material. Detta med anledning av att naturgrus betraktas som en ändlig resurs av stor betydelse för Sveriges dricksvattenförsörjning, med tanke på naturgrusförekomsternas förmåga att lagra vatten och potential att därmed utgöra vattentäcker. Detta projekt har syftat till att identifiera material som skulle kunna ersätta naturgrus som filtermaterial i markbaserade avloppsanläggningar, samt att bedöma teknisk funktionalitet och hållbarhet hos dessa alternativa material. Bedömningen av hållbarhet har delats in i miljömässiga, ekonomiska och sociala aspekter. Projektets huvudsakliga frågeställningar var:

1. Vilka material har högst potential som hållbara filtermaterial i markbaserade avloppsanläggningar?
2. Vilka ytterligare studier behövs för att bättre kunna utvärdera respektive materials potential samt optimera användningen av dessa material som filtermaterial?

Inledningsvis identifierades 35 potentiella filtermaterial, baserat på erfarenhet hos projektgruppen men också genom inhämtning av förslag från externa parter och litteratursökningar. För att avgränsa studiens omfång beslutades att sju filtermaterial skulle väljas ut för vidare undersökningar, här benämnda djupstudie. Urvalet av material till djupstudien gjordes baserat på hur mycket litteraturdata som fanns tillgänglig rörande respektive material. Bedömning av mängden tillgängliga litteraturdata baserades på litteratursökning via den vetenskapliga databasen Scopus, där artiklar som inkluderade tema avloppsrening samt filtrering söktes ut (1 529 artiklar identifierades). Urvalet av de sju filtermaterialen baserades också på om det gick att hitta en expert som kunde ställa upp och svara på frågor gällande respektive material. Experterna var viktiga för projektet då det bedömdes vara svårt att få fram heltäckande information om respektive material och hållbarhetsaspekt enbart via litteraturkällor. Den litteratur som söktes fram användes som databas för att undersöka filtermaterialens tekniska funktionalitet med avseende på reningseffektivitet (för organiskt material, fosfor, kväve, metaller, bakterier och virus samt organiska mikroföroreningar). För att bedöma materialens potential med avseende på övriga kriterier utfördes ytterligare riktade informationsökningar via vetenskapliga databaser samt bredare sökmotorer (för att finna ”grå” litteratur och andra rapporterade erfarenheter). Dessutom hölls workshops och intervjuer med de experter som identifierats.



De sju material som valdes ut för djupstudien var:

- Ballast från tvättade schaktmassor
- Bark
- Bergkross
- Biokol
- Däckklipp
- Krossad betong
- Grov morän

Bedömningen av materialen skedde genom multikriterieanalys (MKA). MKA är en väletablerad beslutsstödsmetod som används då olika beslutsalternativ, i detta fall val av filtermaterial, utvärderas med avseende på ett flertal aspekter och syftet är att kunna ge en sammanfattande helhetsbild över alternativens för- och nackdelar. Då de alternativ som ska jämföras i MKA:n har identifierats följer beslut om vilka aspekter, det vill säga *kriterier*, som ska ingå i analysen. Sedan görs en bedömning av respektive material utifrån respektive kriterium. I detta fall definierades totalt 19 olika kriterier, vilket betyder att totalt 133 individuella bedömningar gjordes (=19 kriterier × 7 material). Varje bedömning länkades även till en osäkerhetsbedömning för att belysa vilka aspekter som bedöms vara i störst behov av ytterligare utredning. För att räkna fram en totalbedömning av respektive material räknades poängen för de 19 kriterierna samman till ett slutresultat. Innan dess genomförde dock projektgruppen, med bidrag från projektets referensgrupp, en viktning av de individuella kriterierna, där vissa kriterier bedömdes ha större betydelse än andra för materialens sammantagna hållbarhet.

Sammantaget resulterade bedömningarna i att alla material förutom biokol bedöms kunna ha likvärdig eller högre hållbarhet än naturgrus. Att biokol fick ett sämre poäng är framför allt förknippat med att detta material i dagsläget bedöms kosta betydligt mer än naturgrus. Samtliga material har både för- och nackdelar jämfört med naturgrus – ur olika aspekter beroende på material. Det gör att det högsta totalpoäng som tilldelats ett material (0,35 poäng för bark) är betydligt lägre än det teoretiskt möjliga maxpoänget (3 poäng). Att flera material förefaller ha högre potential än naturgrus tycks lovande för framtiden. En viktig sak att påpeka är dock att denna studie inte har haft till syfte att fastställa vilka material som bör godkännas för faktisk tillämpning i markbaserade anläggningar. För verklig tillämpning bedöms de flesta materialen behöva genomgå ytterligare granskning, bland annat med avseende på:

- Modifieringar för att anpassa materialen för aktuell tillämpning.
- Efterföljande utvärdering av materialens långsiktiga reningsförmåga.
- Hur sammansättning (t.ex. kornstorleksfördelning) och riskminimering (läckage av t.ex. organiska mikroföroreningar) inför användning/försäljning av materialen ska fastställas.

Dessutom finns behov av att utreda den regionala tillgången på material inom olika landsdelar.

# Summary

The filter media used in soil treatment systems, used for the treatment of domestic wastewater, traditionally consists of natural sand (also referred to as “natural sand and gravel”). Around half of the onsite wastewater treatment systems in Sweden are estimated to be soil treatment systems. At the same time, there is a national goal to reduce the natural sand extraction, and it is not permitted to establish a site for excavation of natural sand if it is technically possible and economically reasonable to use an alternative material. This is because natural sand is considered a finite resource of great importance for Sweden’s drinking water supply, due to the ability of natural sand deposits to store water and the potential to thereby constitute drinking water sources. This project aimed to identify materials that could replace natural sand as filter media in soil treatment systems, as well as to assess the technical functionality and sustainability of these alternative materials. The assessment of sustainability has been divided into environmental, economic, and social aspects. The project’s main topics were:

1. Which materials have the highest potential as sustainable filter media in soil treatment systems?
2. What further studies are needed to better evaluate the potential of the respective material and optimize the use of these materials as filter media?

Initially, 35 potential filter materials were identified, based on the experience of the project team but also by retrieving suggestions from external parties and by literature search. In order to limit the extent of the study, it was decided that seven materials would be selected for further investigations, here referred to as an in-depth study. The selection of material for the in-depth study was based on how much literature data was available regarding the respective material. Assessment of the amount of available literature data was based on a literature search via the scientific database Scopus, where articles that included the themes of sewage treatment and filtration were searched (1 529 articles were identified). The selection of the seven materials was also based on whether it was possible to find an available expert who could answer questions regarding each material. The experts were important to the project as it was considered difficult to obtain comprehensive information about the respective materials and sustainability aspects solely via literature sources. The literature searched was used as a database to investigate the technical functionality of the materials regarding treatment efficiency (considering organic matter, phosphorus, nitrogen, metals, bacteria and viruses as well as organic micropollutants). To assess the potential of the materials with respect to other criteria, further targeted information searches were carried out via scientific databases and broader search engines (to find “grey” literature and other reported experiences). Furthermore, workshops and interviews were organized with the identified experts.

The seven materials selected for the in-depth study were:

- Ballast from washed excavation materials
- Bark
- Crushed rock
- Biochar
- Tire clippings
- Crushed concrete
- Coarse-grained moraine

Assessment of the materials was performed through multi-criteria analysis (MCA). MCA is a well-established decision support method that is used when different decision alternatives, in this case the choice of filter media, are evaluated with respect to several aspects and the aim is to be able to provide a summary overview of the alternatives' pros and cons. When the alternatives to be compared in the MCA have been identified, a decision follows on which aspects, i.e. criteria, to include in the analysis. Then an assessment is made of each material based on the respective criteria. In this case, a total of 19 different criteria were defined, which means that a total of 133 individual assessments were made (=19 criteria × 7 materials). Each assessment was also linked to an uncertainty assessment to highlight which aspects are viewed to be most in need of further investigation. In order to calculate an overall assessment of each material, the points for the 19 criteria were added up to a final result. Before that, however, the project group, with contributions from the project's reference group, carried out a weighting of the individual criteria, where certain criteria were judged to be more important than others for the overall sustainability of the materials.

Overall, the assessment found that all materials except biochar could have equivalent or larger sustainability than natural sand. The fact that biochar received a lower score is mainly associated with the fact that this material is currently estimated to cost significantly more than natural sand. All materials have both advantages and disadvantages compared to natural sand – from different aspects depending on the material. This means that the highest total score assigned to a material (0.35 points for bark) is significantly lower than the theoretically possible maximum score (3 points). The fact that several materials appear to have larger sustainability potential than natural sand seems promising for the future. An important point to note, however, is that this study has not aimed to determine which materials should be approved for actual application in soil treatment systems. For real-world application, most materials are judged to need further assessment, including the following aspects:

- Modifications to adapt the materials for the current application.
- Subsequent evaluation of the materials' long-term treatment capacity.
- How composition (e.g. grain size distribution) and risk minimization (leakage of e.g. organic micropollutants) prior to use/sale of the materials should be determined.

In addition, there is a need to investigate the regional availability of material in different parts of the country.

# 1. Inledning

Markbäddar och infiltrationsanläggningar, så kallad markbaserad avloppsrening, är bland de vanligaste reningsteknikerna vid små avloppsanläggningar i Sverige. I Sverige är omkring 1 miljon fastigheter anslutna till små avloppsanläggningar, det vill säga anläggningar med en belastning upp till 200 personekvivalenter (pe) (Naturvårdsverket, 2022). År 2015 uppskattades att cirka 52 % av reningsanläggningarna med en belastning mindre än 200 pe var markbaserade (Olshammar, 2021), varav en bråkdel hade fler än 25 pe anslutna. Denna typ av reningsanläggning förekommer, men är mer ovanlig, vid anläggningar större än 200 pe.

Traditionellt används naturgrus som filtermaterial i markbäddar och som förstärkningslager i infiltrationsanläggningar. Naturgrus är dock en ändlig resurs. Naturgrusförekomster utgör också viktiga grundvattenreservoarer som därför bör skyddas med tanke på den långsiktiga dricksvattenförsörjningen (Göransson, 2015). Det är därför angeläget att hitta alternativa filtermaterial som kan ersätta naturgrus. I dagsläget finns det dock brist på kunskap och samsyn om möjliga alternativa filtermaterial i Sverige vad gäller bland annat reningseffektivitet, tillgänglighet, kostnad och möjliga nackdelar som exempelvis läckage av skadliga ämnen. Olika materials funktion och hållbarhet som filtermaterial behöver därför utredas.

## 1.1 Syfte

Projektets syfte var att identifiera och bedöma potentiella filtermaterial som skulle kunna ersätta naturgrus som filtermaterial i markbaserade avloppsanläggningar. Bedömningen har utgått ifrån teknisk funktionalitet samt miljömässig, ekonomisk och social hållbarhet.

## 1.2 Frågeställningar

Projektets huvudsakliga frågeställningar var:

1. Vilka material har högst potential som hållbara och funktionella filtermaterial i markbaserade avloppsanläggningar? Hållbarheten bedöms ur miljömässigt, ekonomiskt och socialt perspektiv.
2. Vilka ytterligare studier behövs för att bättre kunna utvärdera materialens potential samt optimera användningen av dessa material som filtermaterial?

För att besvara de huvudsakliga frågeställningarna behövde även följande forskningsfrågor besvaras:

1. Vilka mekanismer påverkar reningseffektiviteten för olika relevanta ämnen (exempelvis BOD)?
2. Vilka egenskaper hos materialet påverkar reningseffektiviteten för olika ämnen?
3. Vilken reningseffektivitet har olika typer av material?
4. Under hur lång tid och under vilka förutsättningar kan reningseffektiviteten upprätthållas?

5. Vilka tänkbara inneboende risker kan olika material medföra om de används som filtermaterial?
6. Hur påverkas social, ekonomisk och miljömässig hållbarhet vid val av olika material (inklusive tillgänglighet och användbarhet)?

## 1.3 Finansiär och projekttid

Detta projekt har finansierats av Naturvårdsverket inom satsningen synteser om avloppsvatten och övergödning. Projektet har pågått från 2022-03-01 till 2024-05-31.

## 1.4 Forskningsgrupp

Projektledare har varit Erik Sindhøj från RISE. Övriga deltagare i projektets forskningsgrupp har varit:

- Elin Ulinder, Madelen Malm och Ida Sylwan från RISE
- Lukas Faquharson och Maria Hübinette, Tidigare RISE
- Geert Cornelis, Anna-Karin Dahlberg, Karin Wiberg, Paul Löffler och Jon Petter Gustafsson från Sveriges lantbruksuniversitet
- Andreas Lindhe från Chalmers Tekniska Universitet
- David Eveborn från Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)
- Maja Englund från VA-guiden

## 1.5 Referensgrupp

Projektets referensgrupp har bestått av:

- Bodil Aronsson Forsberg, Havs- och vattenmyndigheten (HaV)
- Erik Norin från MittSverige Vatten & Avfall
- Inga Herrmann, Luleå Tekniska Universitet (LTU)
- Ulrika Munther, Enava
- Magnus Döse, Swerock (tidigare RISE)

## 1.6 Avgränsningar

Denna studie fokuserar huvudsakligen på att bedöma potentialen hos material med möjlighet att ersätta naturgrus som filtermaterial i markbäddar eller som förstärkningslager i infiltrationsanläggningar. I studien ingår därför inte reaktiva material som kan användas som kompletterande reningssteg, till exempel filtermaterial i fosforfällor. Studien fokuserar på material som ersätter hela filtermassan som enskilt material och går inte in på frågor som exempelvis hur markbäddar skulle kunna designas om flera olika filtermaterial används. Den markbaserade anläggningens eventuella spridarlager, dränerings- och uppsamlingslager, materialavskiljande skikt och avjämningslager ingår inte heller i studien. Vidare är inte infiltration i den befintliga marken en del av studien.

Sju material har valts ut för djupstudier inom studien. Att material inte valts ut för att djupstuderas behöver inte betyda att materialen inte har potential att användas som ersättningsmaterial till naturgrus, utan kan exempelvis bero på att det var svårt att hitta tillräckligt med kunskap om materialet för att det ska kunna ingå i analysen. Det är också mycket möjligt att det finns användbara material som inte alls återfinns i denna studie. Det skulle exempelvis kunna bero på att materialet inte utvärderats i vetenskapliga studier eller att projektet inte lyckats nå ut till personer som har kännedom om material.

För att analysera och utvärdera materialens potential har arbetet strukturerats och genomförts som en multikriterieanalys. I analysen beaktas såväl tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska aspekter för att utvärdera filtermaterialen ur samtliga dimensioner av hållbarhet. Analysen ska ses som ett sätt att:

1. strukturera information och bedöma vilka material som har störst potential att ersätta naturgrus trots de osäkerheter som finns kopplat till de olika kriterierna som beaktas,
2. peka ut vilka kunskapsluckor som behöver fyllas för att minska osäkerheterna och möjliggöra så hållbara filtermaterial som möjligt i markbaserade anläggningar.

Den slutgiltiga bedömningen ska inte ses som ett skarpt val av vilket eller vilka material som ska användas som ersättningsmaterial till naturgrus. Bedömningen ska därmed inte heller ses som en mall för tillståndsprövning eller andra processer som drivs av myndigheter eller verksamhetsutövare och som innefattar val av filtermaterial.

## 2. Bakgrund

I Sverige är infiltrationsanläggning (ev. förstärkt, grund eller upphöjd) och markbädd vanliga tekniker för småskalig avloppsrening. I tidigare allmänna råd från Naturvårdsverket finns beskrivning av hur sådana anläggningar ska konstrueras (Naturvårdsverket, 2003).

### 2.1 Teknisk beskrivning

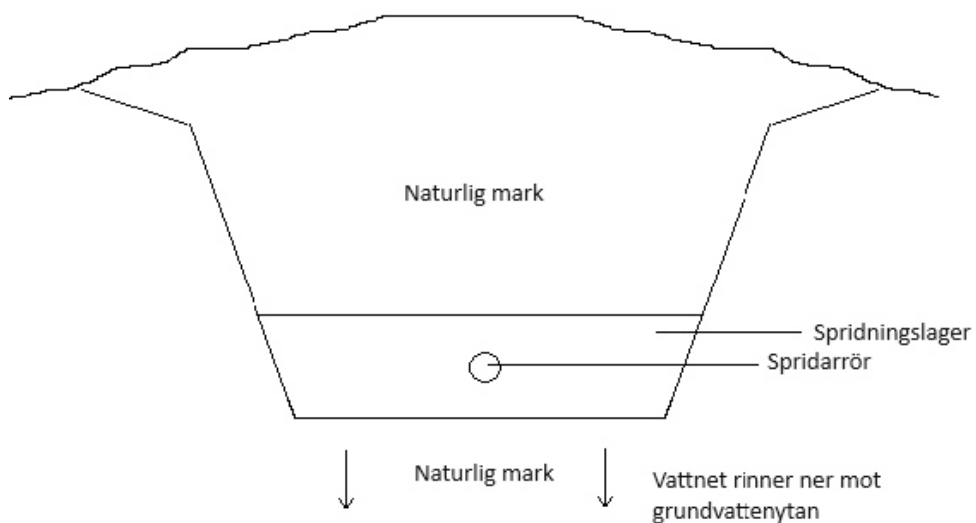
En *infiltrationsanläggning* har som namnet antyder syftet att infiltrera avloppsvatten i marken och diffust avleda det till grundvatten. Vattnet från hushållet förbehandlas genom att fasta och uppslammade partiklar avskiljs via en slamavskiljare, se Figur 1. Därefter når vattnet infiltrationsanläggningen där det vanligtvis sprids med hjälp av spridar rör över ett spridarlager, se Figur 2. Vattnet rinner sedan genom de naturliga jordlager som finns på platsen tills det når ner grundvattnet. I vissa fall används ett förstärkningslager i infiltrationsanläggningen, till exempel om den naturliga marken har för låg eller hög genomsläpplighet enligt Naturvårdsverket (2003). Den förstärka anläggningen anläggs delvis enligt olika principer beroende på om marken har låg eller hög genomsläpplighet, se Figur 3 och Figur 4. Förstärkningslagret består ofta av ett filtermaterial av naturgrus med specifikationer enligt avsnitt 2.3. Förstärkningslagret rekommenderas vara minst 30 cm tjockt enligt de tidigare allmänna råden (Naturvårdsverket, 2003).

Om jorden är relativt finkornig och om grundvattennivån är hög och eller jordlagret är tunnt kan en lösning vara att bygga en upphöjd infiltrationsanläggning. Vid denna lösning byggs en kulle med filtersand över den befintliga jorden (marknivån), se Figur 5. Om jorden på marknivån består av matjord så plöjs den ofta. Ett skyddande lager av jord läggs över anläggningen.

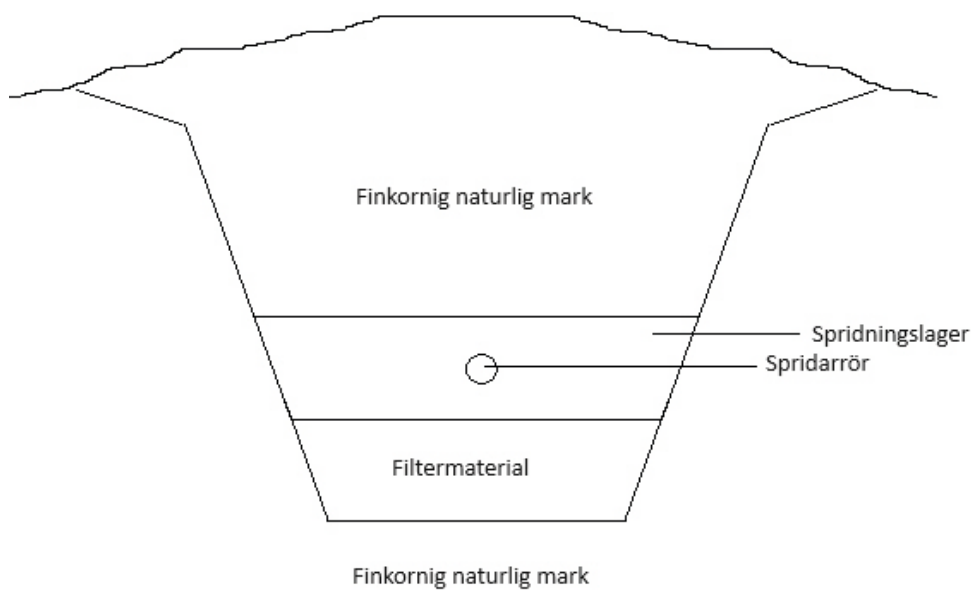
En annan variant på infiltrationsanläggning är en så kallad grund infiltrationsanläggning. För denna anläggningstyp används inget filtermaterial utöver de jordlager som finns i den naturliga marken.



Figur 1. Avloppsvatten från ett hushåll som behandlas genom en infiltrationsanläggning efter förbehandling i en slamavskiljare. Infiltrationsanläggningen i detta exempel är förstärkt med ett lager filtermaterial innan vattnet rinner ner i den naturliga marken. Bilden kommer från avloppsguiden.se.

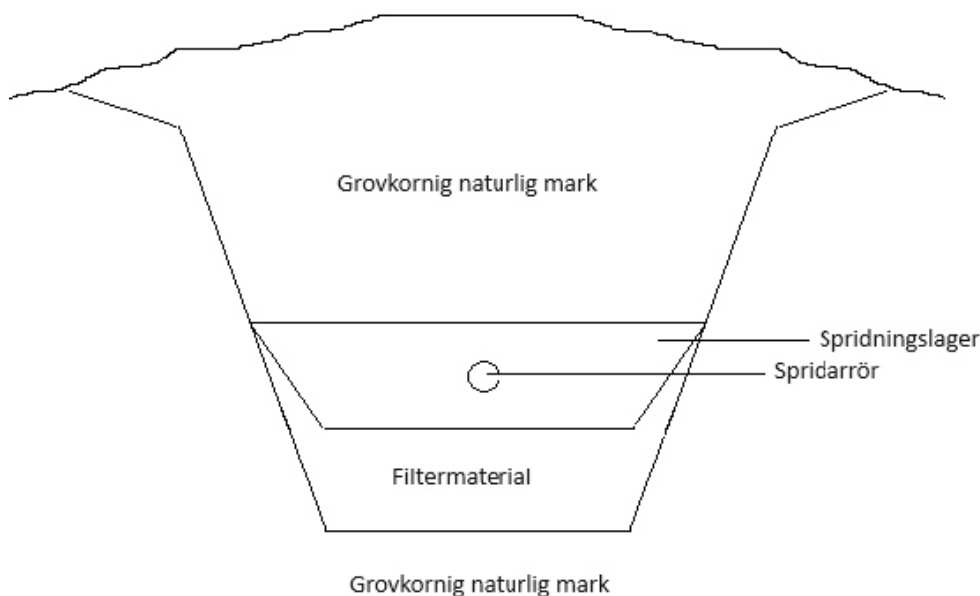


Figur 2. Figuren visar en konventionell infiltrationsanläggning (utan förstärkning m.m.). Avloppsvattnet fördelas via spridarröret och sprids via spridningslagret. Därefter rinner vattnet igenom den naturliga marken tills det når grundvattenytan.

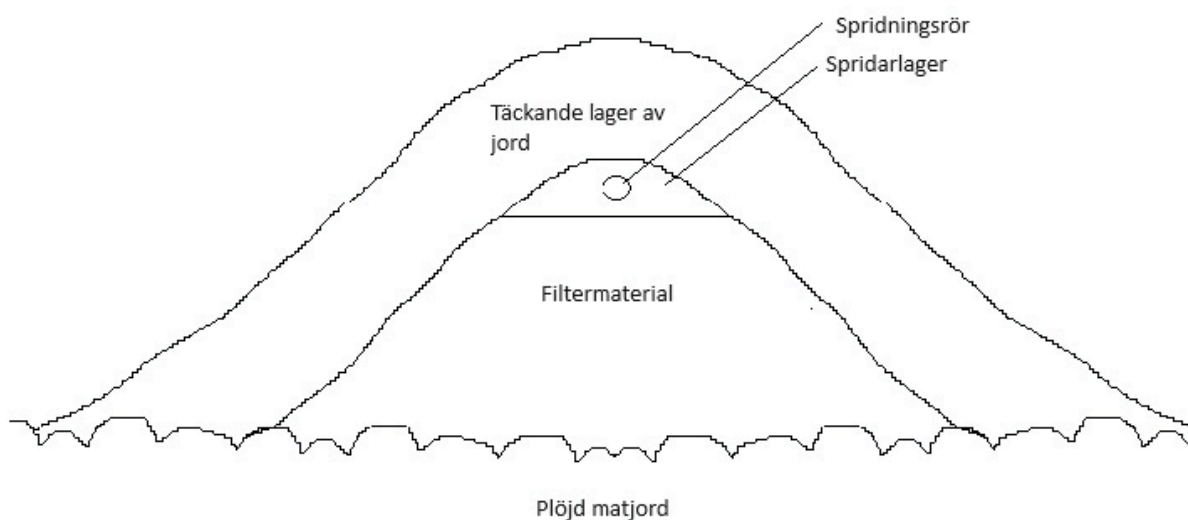


Figur 3. När den naturliga marken har låg genomsläpplighet kan en förstärkt infiltrationsanläggning som anläggs enligt bilden vara en lösning.



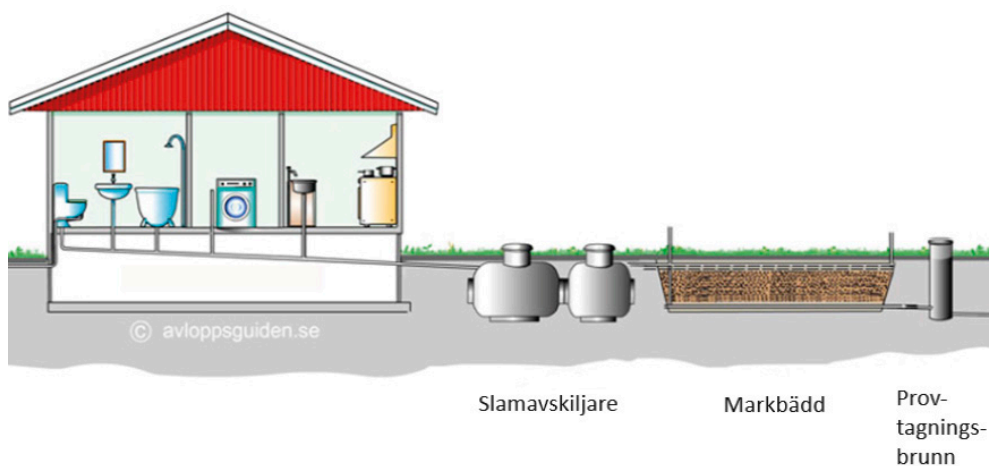


Figur 4. När den naturliga marken har hög genomsläpplighet kan en förstärkt infiltrationsanläggning som anläggs enligt bilden vara en lösning.

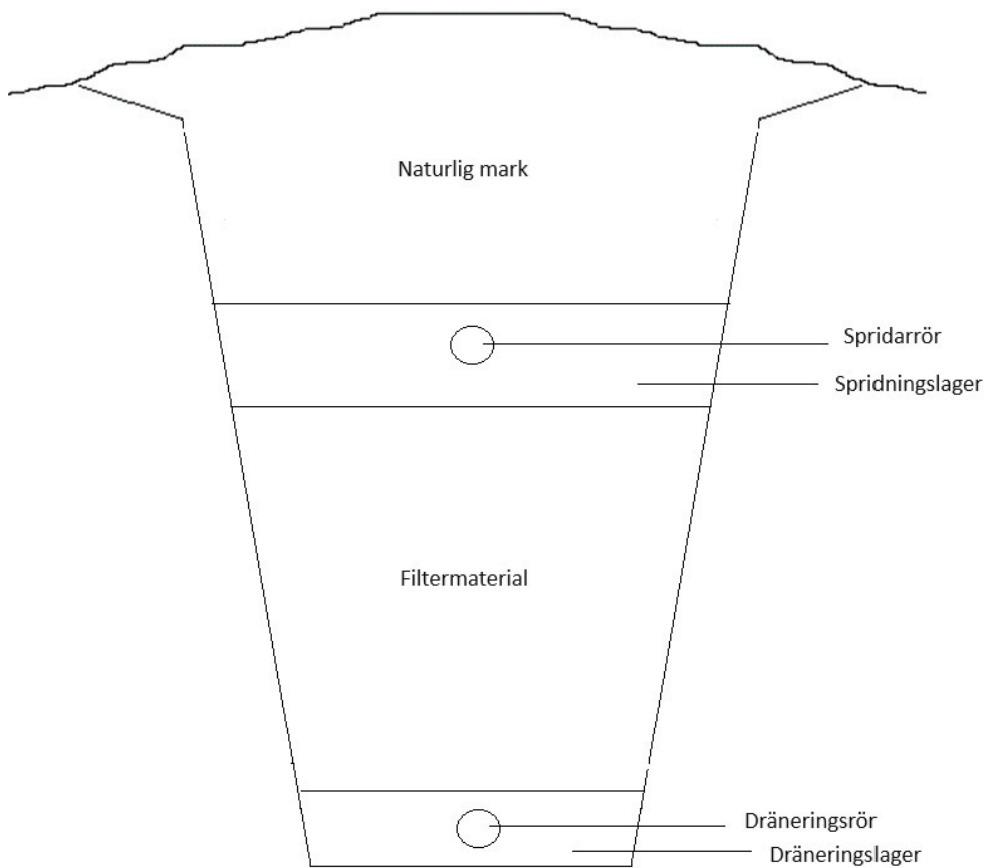


Figur 5. När den naturliga marken är relativt finkornig och om grundvattennivån är hög och eller jordlagret är tunt kan en upphöjd infiltrationsanläggning vara en lösning. En kulle av filtermaterial byggs då över den tidigare markytan. Kullen täcks av ett skyddande lager jord.

I en *markbädd* rinner vatten genom ett lager med filtermaterial och har ett utlopp för renat vatten genom ett uppsamlings- och dräneringslager, se Figur 7. Det reade vattnet leds därefter vanligtvis till en ytvattenrecipient. Liksom för infiltrationsanläggningen förbehandlas vattnet via en slamavskiljare, se Figur 6. Vattnet sprids därefter vanligtvis över markbäddens yta med hjälp av spridarrör i ett spridarlager. Beroende på markförutsättningarna kan det reade vattnet delvis infiltreras även i en markbädd, om inget tätskikt anlagts i botten av markbädden.



Figur 6. Avloppsvatten från ett hushåll som behandlas genom en markbädd efter förbehandling i en slamavskiljare. Bilden kommer från avloppsguiden.se.



Figur 7. Figuren visar en markbädd. Avloppsvattnet fördelas via spridarröret och sprids via spridningslagret. Därefter rinner vattnet igenom den filtermaterial tills det når dräneringslagret. Från dräneringslagret leds vattnet bort via dräneringsröret. Det rena vattnet från markbädden leds vanligen till en ytvattenrecipient (t.ex. å eller sjö).

I vissa fall kan en markbaserad anläggning vara placerad på så sätt att det inte går att använda självfall för att transportera avloppsvatten från fastigheten till den markbaserade anläggningen. I dessa fall behöver vattnet pumpas till den markbaserade anläggningen. Pumpbeskickning kan också ge en jämnare spridning av avloppsvatten över den markbaserade anläggningens yta.

Mängden filtermaterial som används för en markbädd dimensionerad för ett hushåll (5 personer) är, baserat på de tidigare allmänna råden, minst 13 m<sup>3</sup> (baserat på minst 80 cm tjockt lager, och: flödesbelastning 50–60 l/m<sup>2</sup>, dygn; 5 personer/hushåll; 200 l/person, dygn) (Naturvårdsverket, 2003). Enligt kommunikation med en erfaren entreprenör är det dock ofta praktiskt att ha lite marginal vid anläggandet, därför används typiskt 18–20 m<sup>3</sup> filtermaterial till en markbädd. Detta filtermaterial utgörs vanligen av naturgrus med specifikationer enligt avsnitt 2.3.

## 2.2 Reningseffektivitet

En studie som sammanställde statistik från provtagning av 395 små avloppsanläggningar (markbaserade avloppsanläggningar utan och med ytterligare fosforreningssteg, samt paketreningsverk) i Norden, fann att markbaserad rening kan uppfylla reningskrav för BOD och kväve (Kinnunen m.fl., 2023). Studien har utgått ifrån kravgränser för icke känsliga områden i Finland (80 % för BOD och 30 % för totalkväve) och Sverige (90 % för BOD och 0 % för kväve). Samma studie visade dock att markbaserad avloppsrening generellt inte kan förväntas uppnå tillräcklig fosforavskiljning (70 % för icke-känsliga område för såväl Finland som Sverige). I relation till andra avloppsreningstekniker (olika typer paketreningsverk) har övergripande miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv beräknats vara lägre för markbaserad avloppsrening (De Feo & Ferrara, 2017; Garfí m.fl., 2017; Gongora m.fl., 2021). En svensk studie fann liknande resultat, under förutsättning av man bortser från avskiljning och återanvändning av fosfor (Vidal, 2018). Eftersom den största klimatpåverkan beräknas ske under konstruktion av anläggningen är en ökad livslängd på anläggningarna fördelaktigt ur ett livscykelperspektiv. Även valet av filtermaterial i en markbaserad anläggning är av betydelse ur ett livscykelperspektiv, vilket visas av en studie där man pekade ut att tillverkning av filtermaterial, i form av expanderade leraggregat (genom upphettning), ledde till att markbaserad rening hade större klimatpåverkan än rening genom aktiv slam-process (med energikrävande luftning) (Lopsik, 2013). Andra fördelar som pekats ut med markbaserad avloppsrening, kontra andra reningstekniker, är tålighet mot tillfälliga störningar, enkel drift (lågt tillsynsbehov) samt låga investeringskostnader (Ulinder & Englund, 2020).

## 2.3 Naturgrus

Naturgrus är en beteckning för geologiskt bildade jordarter som är sorterade och huvudsakligen bestående av sand, grus och sten. Vid användning av naturgrus som filtermaterial för markbaserad rening i Sverige ligger relevant kornstorleksfördelning i spannet ~0–8 mm. Kornstorleksgränser definieras i övrigt hos Havs- och vattenmyndigheten (2019b). Naturgrus avser därför i detta sammanhang en blandning mellan sand och grus. Det svenska miljömålet om minskad användning av naturgrus samt statistikinsamlingen rörande naturgrus, omfattar naturgrus som bildats på flera olika sätt: ”såväl isälvsediment i olika avlagringstyper, till exempel rullstensåsar och deltan, som svallsediment och sandiga älv- och vindsediment” (Göransson, 2015).

Olika former av sten och berg, naturgrus tillsammans med morän och krossat berg, går under den samlade benämningen ”ballast”. Ballast är material som är avsett för byggande, inklusive markbaserad avloppsrening. Det största användningsområdet för ballast är betongtillverkning. Den totala ballastanvändningen i Sverige (antal ton/år) har varit relativt stabil under de senaste 40 åren (SGU, 2023a). Genom att grövre ballastmaterial för betongtillverkningen kunnat ersättas med bergkross har dock uttaget av naturgrus minskat drastiskt sedan 80-talet; 1985 stod naturgruset för 76 % av ballastanvändningen medan naturgrusandelen år 2022 var nere på 6,7 % (SGU, 2023a). Det årliga uttaget av naturgrus i Sverige var år 2022 totalt 6,5 miljoner ton (SGU, 2023a). Enligt 9 kap. 6 § i miljöbalken får naturgrustäkter som kräver tillstånd eller anmälan enligt kapitlet, eller föreskrifter som kapitlet hänvisar till, inte etablera en naturgrustäkt i Sverige om det är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt att använda annat material än naturgrus för det tilltänkta användningsområdet. Målet om att minska naturgrus användningen har varit aktuellt sedan årtionden tillbaka; år 1996 instiftades en punktskatt för brutet naturgrus (Göransson, 2015). Skatten har succesivt höjts och ligger idag på 22 kr/ton (skatteverket.se, u.å.).

## 2.4 Alternativa filtermaterial

I den mån naturgrus i markbaserad avloppsrening idag ersätts av andra material är bergkross ett känt förekommande material. Flera nationella studier har gjorts med avseende på potentialen att använda bergkross i markbaserade anläggningar som potentiellt filtermaterial (Elmefors, Eveborn, m.fl., 2016; Elmefors & Ljung, 2013). Rekommendationer och råd kring användningar av bergkross i markbaserade anläggningar finns sammanfattade i informationsbladet ”Bergkross i små avloppsanläggningar” (VA-guiden, 2022). Andra filtermaterial för småskalig avloppsvattenrening har också undersökts historiskt, men då främst med fokus på att hitta filtermaterial som kan förbättra avskiljningen av fosfor, så kallade ”reaktiva” filtermaterial. Reaktiva filtermaterial som undersökts är exempelvis i) naturliga bergarter som kalksten och wollastonit (en form av kalciumsilikat), ii) industriella restprodukter så som masugnsslagg samt iii) produkter som tillverkats särskilt för detta syfte, så som lättklinker (tillverkas genom upphettning av lera) (Johansson Westholm, 2006). Dessa reaktiva filter är generellt inte fristående, utan bör föregås av en förbehandling som avskiljer partikulärt och organiskt material och därigenom minskar risken för igen-sättning (Hedström, 2006). Yang m.fl. (2018) sammanställde information om olika möjliga material i ”constructed wetlands”<sup>1</sup>, en avloppslösning som inte är vanlig i Sverige men som har vissa likheter med infiltrationsanläggningar och markbäddar. Studien framhäver ett antal viktiga faktorer för att identifiera lämpliga filtermaterial till ”constructed wetlands”:

- Kostnad och lokal tillgänglighet.
- Fysiska egenskaper så som partikelstorlek, porositet, hydraulisk konduktivitet och elektrisk konduktivitet, specifik ytarea, och mekanisk beständighet.
- Kemiska egenskaper så som ytladdning, toxicitet och kemisk stabilitet.

---

<sup>1</sup> En typ av markbaserad rening där vatten rör sig horisontellt i en filterbädd där växter har planterats (US EPA, 2004). ”Constructed wetlands är en vanligare avloppslösning internationellt än i Sverige.

- Biologiska egenskaper så som elektrondonatorer/-acceptorer.
- Att materialen har lång livslängd och att säker avsättning kan ske när de är förbrukade.

Studien av Yang m.fl. (2018) listar en lång rad möjliga filtermaterial, exempelvis biokol, byggavfall, däckklipp, torv, komposterad träflis, podsol, musselskal, samt en rad reaktiva filtermaterial.

Exemplen ovan visar att ett flertal olika faktorer behöver beaktas då filtermaterial utvärderas. En välbeprövad och vanligt tillämpad metod för att utvärdera och jämföra olika handlingsalternativ med avseende på en uppsättning kriterier är så kallad multikriterieanalys (MKA) (DCLG, 2009). En MKA gör det möjligt att ta hänsyn till många olika faktorer på ett strukturerat sätt samtidigt som analysen är transparent då det är tydligt hur de olika alternativen utvärderats och varför exempelvis ett eller flera alternativ framstår som mer fördelaktiga än övriga. MKA har tidigare använts för att exempelvis utvärdera små avloppsanläggningar (Vidal, 2018).

## 2.5 Filtermaterialets påverkan på funktion

Reningsförmågan av ett visst material varierar mycket beroende på vilket ämne ska rensas. När det gäller lagstiftningen finns det krav på god reningsförmåga av COD, BOD, total P och total N (Naturvårdsverkets avloppsföreskrifter NFS 2016:6, med föreskrifter om ändring i NFS 2022:6). Dessa ämnen ska prioriteras. Det finns dock många fler ämnen i avloppsvatten från hushåll, som näringsämnen, bakterier, virus och mikroföroreningar, som kan påverka både hälsan och miljön.

Reningsförmågan för ett visst material varierar över tiden av flera anledningar. När avloppsvatten rinner genom en markbaserad avloppsanläggning, minskar koncentrationerna av ämnen som metaller och fosfor genom adsorption, oftast till järnoxider eller lermineraller, vilket innebär att en kemisk jämvikt skapas där dessa ämnen binds kemiskt till materialets yta. Denna interaktion uttrycks ofta genom så kallade adsorptionsisotermer, exempelvis Freundlich eller Langmuir. Detta betyder att de flesta materialen initialt har en stark reningsförmåga, det vill säga en hög reningsförmåga, vilken avtar över tiden när materialets adsorptionskapacitet blir mättat (Callery m.fl., 2016). Dessa adsorptionsisotermer tar dock ingen hänsyn till verkliga immobiliseringsmekanismer. Adsorption av både fosfat och metaller är till exempel mycket beroende av det rådande pH värdet. En adsorptionsisoterm för ett visst material kan alltså inte tillämpas med god noggrannhet för ett annat filtermaterial som har ett annat pH värde. Adsorptionen av metaller som förekommer som katjoner höjs om pH värdet är högre. Adsorptionen av fosfat och anjoniska metaller som arsenik avtar med högre pH värden. Fosfat kan även fällas ut som amorft kalciumfosfat vid högt pH i kombination med hög koncentration av löst kalcium, vilket förklarar den goda reningsförmågan av fosfat hos filtermaterial med höga halter av kalcit (Gustafsson m.fl., 2008). Adsorption av fosfat är även högre hos material med höga halter av järn- och aluminiumoxider eller lermineraller eftersom dessa mineraler kan få en positiv laddning (vid pH värden lägre än cirka 7) och kan därmed adsorbera fosfat. Metaller kan även adsorberas av dessa mineraler dock endast vid pH värden högre än cirka 7.

Reningen av det organiska innehållet av avloppsvattnet, vilket ofta mäts genom parametrarna BOD och COD, är beroende av att filtermaterialet först koloniserar av bakterier, den så kallade biohuden som därefter bryter ner organiskt material. Biohudupbyggnad gynnas av materialen som är positivt laddade, som tidigare nämnda järnoxider och lermineraller. Bakterier klistrar, som de flesta partiklar, starkare till porytor om saltkoncentrationen är högre och ytorna är grova (Zheng m.fl., 2021). Reningsförmågan av vissa material kan alltså initialt vara låga men stiger när materialet koloniserar mer och mer av bakterier och en biohud byggs (Simpson, 2008).

Det finns även behov av att rena bakterier, virus och mikroplaster från avloppsvatten. Alla dessa har ett partikulärt beteende. De adsorberas alltså inte utan filtreras bort från avloppsvattnet. Virus och bakterier försvinner därefter från filtermaterialet medan plasthalter bara stiger eftersom de flesta mikroplaster består av icke-nedbrytbara polymerer som till exempel polyester eller polyeten. Reningsförmågan av ämnen som har ett partikulärt beteende kan både höjas (när redan filtrerade partiklar förbättrar filtrering av nya partiklar) och sänkas (när redan filtrerade partiklar förhindrar filtrering av nya partiklar) över tiden beroende på både materialets och partiklarnas egenskaper. Av dessa partikulära ämnen finns det mest data tillgängliga för bakterier. Dessa data visar att avskiljningen av bakterier i praktiken följer samma trend som den för BOD och COD eftersom uppbyggandet av biohud ökar filtreringseffektiviteten med avseende på bakterier (Bellamy m.fl., 1985).

## 2.6 Designens påverkan på funktion

Naturvårdsverket (2003) beskriver hur stor infiltrationsyta som behövs beroende på antal fastigheter, infiltrationskapacitet hos filtermaterialet med mera. Filtermaterialets tjocklek bör vara minst 80 cm (Naturvårdsverket, 2003). För infiltrationsanläggningar beräknas nödvändig infiltrationsyta på liknande sätt som för markbäddar. Om ett förstärkningslager krävs ska detta lager ha en tjocklek på minst 30 cm.

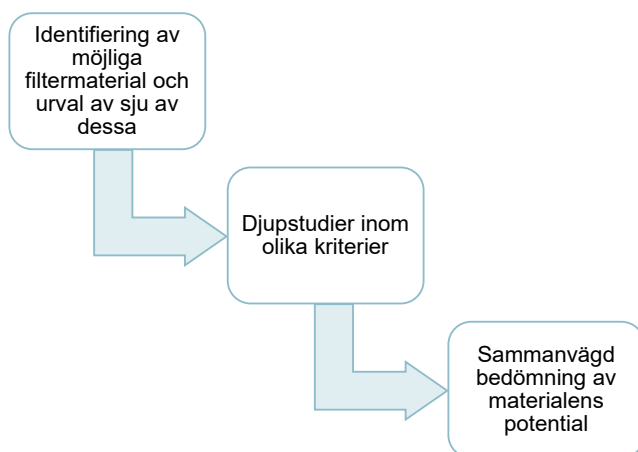
Ju större djup (tjocklek på filtermaterialet) och yta en markbädd har desto bättre blir möjligheterna till god rening förutsatt att vissa grundkrav på anläggningen är uppfyllda. Detta gäller även infiltrationsanläggningar, även om djupet i det här fallet avser avståndet från spridningsledningen till grundvattenytan. Förutom yta och djup spelar dock även många andra faktorer kopplade till anläggningens design in. Viktiga faktorer bland dessa är hur jämn spridningen av avloppsvatten är, hur jämnt fördelat filtermaterialet är och om systemet luftas tillräckligt.

Hur jämn spridningen av avloppsvatten blir påverkas bland annat av hur systemet för fördelning av vatten ser ut och om infiltrationsytan är jämn. Pumpning kan leda till en jämnare spridning över infiltrationsytan än självfall. Vid byggande av en markbädd eller en förstärkt infiltrationsanläggning är det viktigt att filtermaterialet har en jämn fördelning, det vill säga att kornstorleksfördelningen blir så lika som möjligt vid olika platser i anläggningen. Om delar av material är av grövre kornstorlek finns det risk det bildas snabbpassager för avloppsvattnet, vilket kan leda till sämre reningseffektivitet. Många av de reningsprocesser som sker i markbaserade anläggning funderar bättre vid god syretillgång. Det är därför viktigt att anläggningen luftas tillräckligt. För en anläggning som tillhör en fastighet bör avluftning av anläggningen ske över fastighetens tak (Naturvårdsverket, 2003). Avluftningen ska placeras så högt som möjligt på hustaket.

Dagens riktlinjer för design hos markbäddar och infiltrationsanläggningar baseras på Naturvårdsverkets allmänna råd som togs fram för markbaserade anläggningar i slutet av 1980-talet (Naturvårdsverket, 2003). Dessa riktlinjer är anpassade för naturgrus som filtermaterial/förstärkningslager. Vid användning av alternativa filtermaterial kan det vara relevant att ändra riktlinjer för yta och djup i anläggningen beroende på det aktuella materialets egenskaper (Havs- och vattenmyndigheten, 2019a). Även andra ändringar i designen skulle kunna bli aktuella, särskilt om olika typer av filtermaterial ska används i samma anläggning.

## 3. Metod

Projektet identifierade inledningsvis ett större antal möjliga filtermaterial varpå sju av dessa valdes ut för att djupstuderas, se Figur 8. Djupstudien har utförts genom att information om de utvalda materialen sammanställts inom olika kriterier. Därefter har det gjorts en sammanvägd bedömning av materialen med mål att peka ut det eller de material som har högst potential att ersätta naturgrus med avseende på funktionalitet och hållbarhet, där hållbarhet har bedömts ur miljömässigt, ekonomiskt och socialt perspektiv. Metodik för identifiering och urval av material beskrivs i avsnitt 3.1. Djupstudierna och den sammanvägda bedömningen har gjorts genom en multikriterieanalys, vilket beskrivs i avsnitt 3.2.



Figur 8. De olika stadierna som ingått i projektet.

### 3.1 Identifiering och urval av material

Den initiala listan över möjliga filtermaterial togs fram baserat på förslag från projektgruppen, sökningar i den vetenskapliga litteraturlatabasen Scopus, via tips från kontakter samt genom tips efter annonsering (hos VA-guiden, i HaVs nyhetsbrev och på LinkedIn). Söksträngen från sökningen i Scopus hittas i Bilaga A och sökningen gav 1529 träffar.

Sorteringen av den initiala listan genomfördes genom en flerstegsprocess som inkluderade (i) gruppering av litteraturen från sökningen till olika material, därav hittade vi publikationer på 35 olika typer av material, (ii) definition av inkluderings- och exkluderingskriterier, (iii) extraktion av data och (iv) urval och sortering av de data som bedömdes relevanta.

Urvalet av material baserades på mängd och kvalitet av litteraturlata som fanns tillgänglig samt om vi hittade experter tillgängliga att intervjua gällande materialen i fråga. Experter eftersöktes/identifierades genom kontakter i forskningsgruppen, tips från referensgruppen och sökningar på Google. Två workshops hölls med identifierade experter och informationsinhämtning från experter följdes upp med intervjuer med respektive expert.

Motiveringar till vilka sju material som valdes ut för djupstudien ges under avsnitt 4.1.



## 3.2 Djupstudier och utvärdering av material

Analysen och utvärderingen av filtermaterial genomfördes som en multikriterieanalys (MKA). Detta är en väletablerad beslutsstöds metod som används då olika beslutsalternativ, i detta fall val av filtermaterial, utvärderas med avseende på ett flertal aspekter och syftet är att kunna ge en sammanfattande helhetsbild över alternativens för- och nackdelar. Det finns olika sätt att genomföra en MKA, och en sammanställning över olika tekniker presenteras av DCLG (2009). Nedan beskrivs de huvudsakliga arbetsstegen som genomförts i den tillämpade MKA:n (och hänvisningar ges till var i rapporten ytterligare beskrivningar eller resultat presenteras).

### 1. BESLUTSPROBLEM

Första steget i en MKA är att definiera det underliggande beslutsproblemet, vilket används som underlag i efterföljande steg då relevanta kriterier identifieras. I denna analys var syftet *att identifiera det eller de filtermaterial som har högst potential att utgöra hållbara alternativ till naturgrus i markbaserade avloppsanläggningar* (se avsnitt 1.1 och 1.2).

### 2. IDENTIFIERA ALTERNATIV

I detta steg identifieras de alternativ som ska analyseras och utvärderas, det vill säga relevanta filtermaterial. Filtermaterial beskrivs, och urvalet motiveras, i avsnitt 4.1 och 4.2.

### 3. IDENTIFIERA KRITERIER

För att utvärdera filtermaterialen används kriterier. Dessa beskriver egenskaper eller effekter som filtermaterialen är förknippade med och som är avgörande för att kunna bedöma om ett filtermaterial har potential att utgöra ett hållbart alternativ till naturgrus. Utifrån beslutsproblemet (steg 1) identifierades relevanta kriterier av projektgruppen. Eftersom analysen bygger på ett hållbarhetsperspektiv delades kriterierna in utifrån de klassiska hållbarhetsdimensionerna, miljömässig, social och ekonomisk, samt kompletterades med en kategori som beskriver filtermaterialens tekniska egenskaper. Totalt användes således fyra huvudkriterier (tekniskt, miljömässigt, socialt, och ekonomiskt) och inom dessa definierades mer specifika delkriterier. I avsnitt 4.3 beskrivs de identifierade kriterierna.

### 4. BEDÖMNING AV ALTERNATIVEN

För filtermaterialen bedömdes hur väl de presterar med avseende på de ingående kriterierna. Bedömningen gjordes relativt naturgrus, det vill säga om filtermaterialet presterar bättre eller sämre än naturgrus. En sjugradig poängskala enligt nedan användes där negativa värden visar att filtermaterialet presterar sämre än naturgrus och positiva värden det motsatta. Om filtermaterialet bedöms likvärdigt med naturgrus tilldelas de 0 poäng.

- Stor positiv effekt (+3)
- Måttlig positiv effekt (+2)
- Liten positiv effekt (+1)

- Försumbar eller obefintlig effekt (0)
- Liten negativ effekt (-1)
- Måttlig negativ effekt (-2)
- Stor negativ effekt (-3)

Bedömningarna baserades på sammanställning av tillgänglig information från litteraturen samt tillfrågade experter. Genomförda bedömningar och underlaget presenteras i avsnitt 4.4–4.7.

Bedömningen är en objektiv del i MKA:n och beskriver filtermaterialens egenskaper, inte hur betydelsefulla dessa egenskaper och därmed de ingående kriterierna är. Kriteriernas betydelse beaktas i steg 5 där en viktning görs, vilket kombineras tilldelade poäng för att ge en sammanvägd bedömning (steg 6).

Eftersom det finns osäkerheter i det underlag som användes, gjordes en uppskattning av hur stora osäkerheterna var i respektive bedömning. Följande fyra olika osäkerhetsnivåer identifierades och användes för bedömningarna:

- **Mycket stor osäkerhet** – Relevant litteraturdata och erfarenhet hos experter saknas helt och det är svårt att göra bedömningar baserat på materialets inboende egenskaper och liknande.
- **Stor osäkerhet** – Begränsad tillgång till litteraturdata och erfarenheter från experter, eller betydande motstridigheter i den information som finns tillgänglig.
- **Måttlig osäkerhet** – Vissa litteraturdata finns tillgänglig och/eller begränsad erfarenhet hos experter. Informationen är inte helt samstämmig eller otillräcklig för att kunna dra tydliga slutsatser.
- **Liten osäkerhet** – Litteraturdata finns tillgänglig som visar samstämmiga resultat, alternativt stor erfarenhet hos experter.

Sammanställningen av osäkerheterna användes för att illustrera var osäkerheterna är större och mindre samt som underlag för att identifiera var behovet av ytterligare studier är extra stort.

Samtliga delkriterier som undersökts i projektet, utom de kriterier som rör reningseffektivitet, har bedömts med underlag från:

- Resultat från litteraturgenomgången som baserades på sökningar i Scopus.
- Litteratur och information från hemsidor från kompletterande sökningar via Google Scholar och Google.
- Litteratur som erhållits via tips från experter och referensgruppen.
- Information från experter, via workshops, intervjuer samt kompletterande kommunikation.

För kriteriet reningseffektivitet har poängsättningen och osäkerhetsbedömningen för filtermaterialen beräknats baserats på kvantitativa data. Det gäller även för vattengenomsläpplighet. Vattengenomsläpplighet uteslöts dock ur MKA:n och presenteras i stället tillsammans med övrig bakgrund om materialen, se avsnitt 4.2. Metodik för bedömning av vattengenomsläpplighet beskrivs i avsnitt 3.2.1.

## 5. VIKTNING

De kriterier som analysen omfattar kan bedömas som olika betydelsefulla för det övergripande beslutsproblemet. För att ta hänsyn till detta ansattes vikter till respektive huvudkriterium samt associerade delkriterier. En så kallad direkt viktning gjordes, det vill säga en procentuell vikt ansattes för att beskriva de ingående kriteriernas betydelse. För att underlätta viktningen inom respektive huvudkriterium angavs först en relativ viktningspoäng mellan 0–10 för de ingående delkriterierna. Ett lågt poäng betyder att kriteriet har liten betydelse för beslutsproblemet och ett högt poäng betyder att kriteriet har stor betydelse. Viktningspoängen översattes därefter till en procentuell vikt genom att dividera respektive delkriteriums poäng med summan av viktningspoängen inom det aktuella huvudkriteriet. Resultatet från viktningen beskrivs i avsnitt 4.8.

Notera att viktningen är subjektiv och representerar den aktuella personens eller gruppens syn på vad som är mer eller mindre viktigt. I denna analys genomförde projektgruppen en första viktning som sedan uppdaterades efter synpunkter från referensgruppen. Viktningen gjordes utifrån antagandet att samtliga hållbarhetsdimensioner ska beaktas men att en skillnad bör göras mellan såväl huvudkriterierna som de inom respektive grupp ingående delkriterierna, då vissa är mer betydelsefulla i bedömningen av filtermaterialens potential. En känslighetsanalys genomfördes som del av steg 6 (se nedan) för att visa hur viktningen påverkar slutresultatet och rangordningen av de analyserade filtermaterialen.

## 6. RESULTATSAMMANSTÄLLNING

Tilldelade poäng från bedömningen av filtermaterialen relativt naturgrus sammanställdes i en så kallad prestandamatrix. Denna matrix ger en överblick över filtermaterialens positiva och negativa egenskaper. Utöver detta beräknades viktade poäng för respektive huvudkriterium samt totalt, det vill säga baserat på samtliga huvudkriterier och de där ingående delkriterierna. Beräkningarna gjordes med en linjär additiv metod och det viktade poänget för respektive huvudkriterium beräknades enligt ekvation (1).

$$p_{a,h} = \sum_{k=1}^K v_k p_{a,k} \quad (1)$$

där  $a$  är åtgärdsalternativ,  $h$  är huvudkriterium,  $v$  är vikt och  $p$  är poäng för kriterium  $k$ . På motsvarande sätt beräknades det totala viktade poänget enligt ekvation (2):

$$p_a = \sum_{h=1}^H v_h p_{a,h} \quad (2)$$

där  $a$  är åtgärdsalternativ,  $v$  är vikt och  $p$  är poäng för huvudkriterium  $h$ . Notera att såväl de individuella poängen per kriterium som de viktade poängen kan anta ett värde mellan  $-3$  och  $+3$ . För att illustrera viktningens effekt på de viktade totalpoängen genomfördes en känslighetsanalys där alternativa viktningar användes. Resultaten från MKA:n presenteras i avsnitt 4.9.

### 3.2.1 Bedömning av reningsförmåga och genomsläpplighet

#### METODIK FÖR RENINGSFÖRMÅGA

I princip ska avskiljningsprocesserna beskrivas mekanistiskt, det vill säga att man använder modeller som noggrant beskriver de olika fysiska processer som leder till avskiljning: adsorption, hydrofoba interaktioner, filtrering, biodegradering, och så vidare. Att beskriva alla dessa processer mekanistiskt ger den bäst möjliga garantin att man kan förutse avskiljningen noggrant. Reningsförmågan bedöms oftast i relativt enkla experiment som till exempel kolonnförsök. Med mekanistiska modeller kan man räkna ut ett flertal parametrar från dessa experiment och sen använda dem att förutse hur hög avskiljningen kan bli i en verklig anläggning. För att beskriva alla ovan nämnda reningsprocesser mekanistiskt krävs dock specifika modeller till olika kategorier av ämnen och alla dessa modeller kräver en hög grad av både fysisk och kemisk karakterisering av filtermaterialet, och denna typ av karakterisering finns nästan aldrig. I praktiken används därför förenklade modeller för att beskriva reningsförmågan (Thomas, 1944). Det som rapporteras oftast är den så kallade reningseffektiviteten ( $R$ ) som beräknas enligt ekvation (3):

$$R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \quad (3)$$

där  $C_{in}$  är koncentration av ett visst ämne i inflödet och  $C_{out}$  är koncentration av ämnet i utflödet. Reningseffektiviteten har den stora fördelen att den är enkel att mäta och beräkna. Den stora nackdelen är att  $R$  varierar över tiden. Som tidigare beskrivet kan filtermaterialets ytor över tiden mättas med olika ämnen och/eller ändras genom att en biohud uppbyggs.  $R$  är också en ren empirisk parameter som varierar med utformningen av kolonnförsöket (dimensioner, flödes hastighet,  $C_{in}$ ). Det innebär att  $R$  baserat på kolonnförsök egentligen inte kan överföras för att förutsäga reningseffektivitet vid en realistisk anläggning. En någorlunda mer avancerad modell är Thomasmodellen med den så kallade Thomas-koefficienten som kinetiskt beskriver adsorptionsprocessen och adsorptionskapacitet som parametrar (Thomas, 1944). Denna modell fungerar bäst för de ämnen som adsorberar till filtermaterialets ytor som till exempel metaller, fosfat och organiska mikro-föroreningar. Modellen ger möjlighet att förutsäga hur reningseffektiviteten varierar över tid för en viss anläggning. Modellen behöver dock anpassas till tidsberoende data av urlakning från till exempel ett kolonnförsök med en hög upplösning och den typen av data är sällsynta för de material vi undersökt i denna studie.

#### METODIK FÖR GENOMSLÄPPLIGHET

Genomsläpplighet kan definieras som med vilken lätthet vatten kan strömma genom ett visst filtermaterial. Direkta mätningar av genomsläpplighet sker via mätning av hydraulisk konduktivitet ( $K_s$ ), vilket definieras genom Darcy's lag:

$$K_s = \frac{Q\rho g}{A\nabla p} \quad (4)$$

där  $Q$  är den lineära flödes hastigheten ( $m\ s^{-1}$ ),  $r$  är vattnets densitet ( $kg\ m^{-3}$ ),  $g$  är gravitationskraft ( $9,81\ m\ s^{-2}$ ),  $A$  är genomströmsytan ( $m^2$ ) och  $\nabla p$  är tryckgradienten över mediet ( $kg\ s^{-2}\ m^{-3}$ ).

Kapillärkrafter i filtermediernas relativt små porer gör att det finns motstånd mot genomströmning av vatten. Små markbaserade avloppsanläggningar är beroende av gravitation för att driva vatten genom filtermaterialet vilket gör att vattenflödes-hastigheten minskar med lägre genomsläpplighet. En relativt låg flödes-hastighet gynnar materialets reningsförmåga eftersom vissa filtreringsprocesser, som till exempel nedbrytning av organiskt material, kan vara långsamma och behöver en viss kontakttid mellan avloppsvatten och filtermediet (Naturvårdsverket, 1987). Oftast minskar genomsläppligheten av filtermaterial initialt genom uppbyggandet av biohud vilket även gynnar nedbrytning av organiskt material (Bellamy m.fl., 1985).

Det finns dock risk att genomsläppligheten minskar för mycket vilket leder till igensättning, när till exempel för mycket partikulärt material tillförs till filtermediet och/eller biohuden växer okontrollerat (Leverenz m.fl., 2009). I detta fall behövs ett visst vattentryck för att tvinga vatten genom mediet. I praktiken betyder det att vatten inte rinner jämnt fördelat genom en avloppsanläggning utan endast belastar en del av anläggningen eller tar vägar utanför anläggningen, eller att anläggningen översvämmas.

Kornstorleksfördelningen är avgörande för att ett material ska ha en optimal genomsläpplighet (Ulinder m.fl., 2019), men det finns även direkta mätningar av hydraulisk konduktivitet. Projektet har därför för de valda ersättningsmaterialen samlat in parametrar relaterat till kornstorleksfördelningen och hydraulisk konduktivitet.

Vattengenomsläpplighet ingick ursprungligen som ett av projektets delkriterier. Eftersom det inte är entydigt om en högre eller lägre vattengenomsläpplighet är fördelaktigt för reningseffektiviteten hos filtermaterialet uteslöts dock detta kriterium ur MKA:n. Sammanställningen av vattengenomsläpplighet presenteras i stället tillsammans med övrig bakgrund om materialen, se avsnitt 4.2.

## DATAINSAMLING

Datainsamling, med avseende på reningseffektivitet och genomsläpplighet, gjordes för de sju filtermaterial som återstod efter urvalet. En databas sammanställdes baserat på 60 experimentella studier rörande reningseffektivitet hos filtermaterialen. De underliggande studierna baseras på mindre kolonnförsök, pilotexperiment eller fullskaliga anläggningar. Batchstudier beaktades däremot inte eftersom de utgör en interaktion som ansågs som icke-relevant för ett realistiskt filtrerings-scenario. Utöver reningseffektivitet och hydraulisk konduktivitet sammanställdes information om ytterligare parametrar från varje studie. Dessa metadata ansågs som viktiga med tanke på potentiell framtida användning av databasen. Tabell 1 visar vilka parametrar som samlades in.

**Tabell 1. Insamlade parametrar från studier kring reningseffektivitet eller hydraulisk konduktivitet.**

Insamlade parametrar	Enhet
<i>Filtermaterialens egenskaper</i>	
Tillsatt massa	kg
Porositet	-
d <sub>10</sub>	mm
d <sub>50</sub>	mm
d <sub>60</sub>	mm
Densitet	g cm <sup>-3</sup>
<i>Testegenskaper</i>	
Typ av test	Kolonnförsök/ Pilottest/ Fullskalig anläggning
Längd (i flödets riktning)	m
Genomströmningsyta	m <sup>2</sup>
Flödes hastighet	L h <sup>-1</sup>
Testlängd	dagar
Hydraulisk konduktivitet	m s <sup>-1</sup>
<i>Vattenegenskaper</i>	
Typ av vatten	t.ex. dagvatten, artificiellt avloppsvatten
pH	-
Ingångskoncentration (av olika ämnen)	mg L <sup>-1</sup>
Utgångskoncentration (av olika ämnen)	mg L <sup>-1</sup>
Rapporterad reningseffektivitet (av olika ämnen)	mg L <sup>-1</sup>

Tabell 2 listar föroreningar för vilka reningseffektivitetsmätningar som samlades in för respektive filtermaterial. För att begränsa antalet enskilda kriterier i MKA:n, och göra den mer överblickbar, grupperades föroreningarna i föroreningsgrupper. Grupperingen utgick ifrån hänsyn till att olika föroreningar beter sig olika under filtreringsprocessen. En annan utmaning var att för vissa föroreningar, särskilt organiska mikro-föroreningar, saknades data och de kunde därmed inte alltid jämföras med naturgrus. För respektive föroreningsgrupp beräknades medelvärden och standardavvikelse av reningseffektivitetsmätningarna.

Organiska mikro-föroreningar utgör en speciell grupp med väldigt hög diversitet av kemiska och biologiska egenskaper och stort antal olika ämnen. De bedömdes därför behöva en särskild grupperingsmetod. Alla organiska mikro-föroreningar med uppmätta resultat fördes tillsammans enligt de så kallade PBM kriterierna. Klassning gjordes i enlighet med tyska Naturvårdsverkets kriterier (Neumann & Schliebner, 2019) och EU:s kemikalielagstiftning REACH (European Parliament, 2006). Ett ämne uppfyller kriteriet för **persistent (P)** om någon av följande situationer är uppfylld:

- Halveringstiden för nedbrytning i havsvatten vid 9 °C är längre än 60 dagar.
- Halveringstiden för nedbrytning i sötvatten eller flodmynningsvatten vid 12 °C är längre än 40 dagar.
- Halveringstiden för nedbrytning i marint sediment vid 9 °C är längre än 180 dagar.
- Halveringstiden för nedbrytning i sediment i sötvatten eller flodmynningsvatten vid 12 °C är längre än 120 dagar.
- Halveringstiden för nedbrytning i jord vid 12 °C är längre än 120 dagar.

Ett ämne uppfyller kriteriet för **mobilt (M)** om den lägsta fördelningskoefficienten för organiskt kol-vatten,  $\log K_{OC}$ , i pH-intervallet 4–9 är mindre än 4.

Ett ämne uppfyller kriteriet för **bioackumulerande (B)** om det har en bio-koncentrationsfaktor (BCF) >2000 (motsvarar  $\log BCF > 3,3$ ).

Data för persistens (P), mobilitet (M) och bioackumulation (B) för respektive ämne predikterades med hjälp av EPI Suite (US EPA, 2012).

Av dessa kriterier predikterades 3 nivåer: icke-(prefix "n"), normalt-(inget prefix) och starkt (prefix "v-", se Tabell 2). Efter sammanställningen grupperades föroreningarna i dessa tre grupper:

- **P:** alla organiska mikroföroreningar som är persistenta men icke mobila och icke bioackumulerande.
- **PM:** alla organiska mikroföroreningar som är persistenta och mobila men icke-bioackumulerande.
- **PB & PBM:** alla organiska mikroföroreningar som är persistenta och bioackumulerande.

Icke-persistenta organiska föroreningar ansågs som icke-relevanta eftersom de bryts ner relativt snabbt i naturen, varvid dessa inte togs med i utvärderingen. Inga data kunde hittas kring reningseffektivitet av mikroplaster och dessa föroreningar togs alltså inte heller med i utvärderingen.

**Tabell 2. Föroreningar för vilka reningseffektivitetsmätningar samlades in och hur de grupperades.**

Föroreningsgrupp	Förorening
Metaller	Cu, Zn, Pb, Ni, Cd, Cr, As,
Fosfor	Totalfosfor, ortofosfat, organisk fosfor
Kväve	Ammonium, nitrat, nitrit, totalkväve
Organiskt material	COD, BOD, TOC
Bakterier	<i>E.coli</i> , Fecala koliformer, Totala koliformer, Enterococci, virustal
Organiska mikroföroreningar*	
PB & PBM	PBnM, PBM
PM	PMnB
P	PnMnB

\*"P": persistent; "B":\_ bioackumulerande; "M": mobil; "n-": non-

## BERÄKNINGAR

Reningseffektiviteten av alla ämnen beräknades från koncentrationer uppmätta under olika kolonförsök, det vill säga ämnets koncentrationen i kolonnens inflöde och koncentration i kolonnens utflöde enligt ekvation (3). Den hydrauliska konduktiviteten ( $K_s$ , enhet  $m s^{-1}$ ) uppskattades i vissa fall från partikelstorleksfördelningen ( $d_{10}$  och  $d_{60}$ ) med hjälp av den empiriska Breyer's ekvation (5):

$$K_s = C_B \frac{g}{v} \log \left( \frac{500}{U} \right) d_{10}^2 \quad (5)$$

$C_B$  är Breyer's konstant ( $6 \times 10^{-4}$ ),  $g$  är gravitationskraft ( $9,81 m s^{-2}$ ),  $n$  är den kinematiska viskositeten vid 25 grader ( $0,89 \times 10^{-6} m^2 s^{-1}$ ) och  $U$  är uniformitetskoefficienten ( $d_{60}/d_{10}$ ) där  $d_{10}$  och  $d_{60}$  är 10 % respektive 60 % (viktbaserat) av den

totala partikelstorleken. Tidigare forskning har visat att Breyer's ekvation ger den bästa överensstämmelsen med uppmätta resultat från cylinderprov (Eveborn m.fl., 2023).

Under multikriterieanalysen jämfördes olika kriterier genom att kvantifiera dem i kategorierna från -3 till +3. När det gäller reningseffektiviteten kunde dock olika filtermaterial jämföras kvantitativt med naturgrus. Ekvationerna (6) och (7) användes för att beräkna kategorierna. Noterar att kategori 0 anges om inga data fanns i Tabell 2 till det aktuella filtermaterialet.

$$\text{Kategori} = \text{avrunda} \left( \frac{R_{\text{material}} - R_{\text{naturgrus}}}{R_{\text{naturgrus}}/3} \right) \text{ om } R_{\text{material}} < R_{\text{naturgrus}} \quad (6)$$

$$\text{Kategori} = \text{avrunda} \left( \frac{R_{\text{material}} - R_{\text{naturgrus}}}{(1 - R_{\text{naturgrus}})/3} \right) \text{ om } R_{\text{material}} > R_{\text{naturgrus}} \quad (7)$$

Insamlingen av metadata (Tabell 1) tillät beräkning av den totala massan av adsorberad/avskild förorening per kg filtermaterial enligt ekvation (8):

$$S = \frac{m_s}{m} = \frac{(C_{in} - C_{out})QT}{m} \quad (8)$$

där  $m_s$  är den integrerade massan av adsorberad förorening efter den experimentella tiden  $T$  och  $m$  är massan av filtermaterial som används i kolonnförsöket.



## 4. Resultat

Detta avsnitt presenterar de potentiella filtermaterial som initialt identifierades, motiv till vilka filtermaterial som valdes ut för djupstudie samt beskrivning av respektive utvalt filtermaterial. Resultat och bedömningar presenteras sedan för varje material inom varje kriterium. Slutligen presenteras resultaten från multi-kriterieanalysen.

### 4.1 Identifierade filtermaterial samt urval av material

De material som vid projektets inledning identifierades som möjliga alternativ till naturgrus (totalt 35) listas i Tabell 3.

**Tabell 3. Förslag på möjliga filtermaterial som identifierades under projektets början.**

Naturliga mineral	Processade eller återvunna material	Biobaserade material
Bergkross	Anrikningssand från järngruvor	Bark
Dolomit	Ballast från tvättade schaktmassor	Biokol
Kalksten	Biomoduler av plast	Fårull
Havssand	Cellplastchips	Kokosnötskal
Lerskiffer	Däckklipp/gummichips	Musselskal
Morän (grov)	Filtraflo-p	Torv
Perlit	Glasull	Träflis
Vermikulit	Kalcinerad kalksten	Tygmaterial
Wollastonit	Krossad betong	
Zeoliter	Krossad terrakotta	
	Krossat glas	
	Krossat tegel	
	Leca	
	Polonite	
	Slagg	
	Stenull	
	Sand från sandfång i avloppsreningsverk	

Två viktiga egenskaper hos filtermaterial i markbaserade anläggningar är god rening av organiskt material och smittämnen. För att god rening ska kunna uppnås är filtermaterialets biologiska funktion viktig. Polonite uteslöts tidigt ur studien med anledning av att materialets styrka ligger i fosforrening medan det höga pH som uppstår i materialet gör att en fungerande biologisk funktion inte kan upprätthållas. Således ansågs inte Polonite relevant för användning som filtermaterial i markbaserade anläggning enligt projektets avgränsning. Detta utesluter inte att materialet kan vara värdefullt att använda som komplement till en markbaserad anläggning för att uppnå bättre fosforrening.

En annan grund för urvalet av material för djupstudien var tillgång till personer med expertkunskap om respektive material. Detta motiverades av att forskningsgruppen bedömde att en del av den information som projektet avsåg att undersöka inte skulle finnas tillgänglig i form av litteratur i vetenskapliga databaser utan enbart i ”grå litteratur” eller via annan branschkunskap. För 14 material identifierades experter, se Tabell 4. Dessa bidrog med information om materialen via workshops och intervjuer.

Efter workshops och intervjuer uteslöts fårull på grund av att projektgruppen bedömde att det finns risker för att ull frigör näring och bryts ner snabbt. Dessutom räknas ull som en animalisk biprodukt (ABP) och hanteringen styrs av lagstiftning, vilken bland annat kan kräva hygienisering om smitta finns på gården där ullen producerats (personlig kommunikation, Carina Gunnarsson, 2022-09-19). För övriga 13 material utfördes en förenklad bedömning utifrån följande underlag:

- Antal artiklar som hittades om materialet i en litteratursökning (vetenskapliga och grå).
- Om materialet bedömdes ha potential att fungera som enskild ersättning till filtermassorna av naturgrus.
- En första bedömning om reningseffektivitet (baserat på litteratur och utlåtanden från experter).
- En första bedömning om risk för läckage av skadliga ämnen.
- Hur stora volymer av materialet som finns att tillgå för att användas i avloppsanläggningar, samt hur tillgängligt materialet är i Sverige.
- Forskningsgruppens erfarenhetsbaserade bedömning av klimatavtryck.

De viktigaste av dessa underlag ansågs vara om materialet ansågs kunna ha potential att ersätta hela filtermassan av naturgrus i en markbaserad anläggning, om materialet finns tillgängligt i Sverige samt om det bedöms ha jämförbar (eller högre) renings-effektivitet som naturgrus. Baserat på detta valdes sju material ut, se Tabell 5. Sex av materialen, ballast från tvättade schaktmassor, bark som restprodukter från skog, bergkross, däckklipp, krossad betong och morän, valdes ut främst med motivet att de bedömdes ha potential att ersätta hela filtermassan av naturgrus i en markbaserad anläggning samt att de finns tillgängliga i Sverige. Biokol valdes ut trots att det inte bedömdes kunna ersätta hela filtermassan av naturgrus. Detta med att anledning av att biokol har goda egenskaper vad gäller reningskapacitet för organiska föroreningar. Ytterligare motiveringar till urvalet finns i Bilaga B.

**Tabell 4. Förslag på filtermaterial för vilka projektet identifierade en expert.**

Naturliga mineral	Processade eller återvunna material	Biobaserade material
Bergkross	Ballast från tvättade schaktmassor	Bark
Morän (grov)	Biomoduler av plast	Biokol
Zeoliter	Däckklipp/gummichips	Fårull
	Krossad betong	Kokosnötskal
	Slagg	Musselskal
		Torv

## 4.2 Filtermaterial som undersökts efter urval

De filtermaterial som undersökts i multikriterieanalysen listas i Tabell 5. Respektive filtermaterial beskrivs mer utförligt i avsnitt 4.2.1–4.2.7.

**Tabell 5. Filtermaterial som valdes ut för djupstudie och MKA.**

Naturliga mineral	Processade eller återvunna material	Biobaserade material
Bergkross	Ballast från tvättade schaktmassor	Bark
Morän (grov)	Däckklipp Krossad betong	Biokol

Information om materialens volymvikt (bulkdensitet), Tabell 6, sammanställdes som underlag för bedömning av flera kriterier. Volymvikten hos naturgrus har antagits vara 1,55 ton/m<sup>3</sup> enligt Tabell 7.

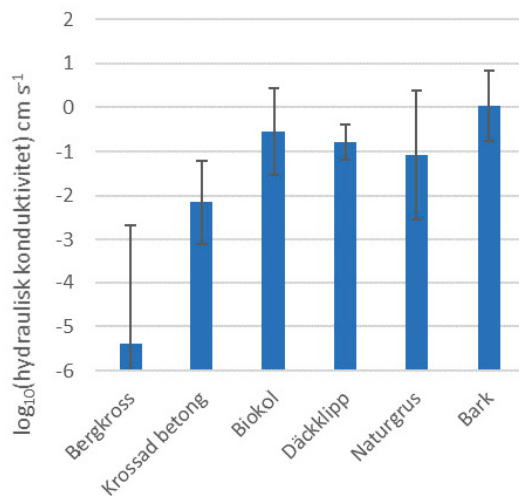
**Tabell 6. Materialens volymvikt.**

Material	Volymvikt (ton/m <sup>3</sup> ) (ev. kommentar)	Referens
Ballast från tvättade schaktmassor	Antagits likvärdig med naturgrus	-
Bark	0,25 (bark som säljs för miljösanering); 0,45 (bark som säljs som täckbark)	(Heidelberg Materials, 2023; Zugol, u.å.)
Bergkross	1,55 (medelvärde från tre referensvärden i spannet 1,5–1,6)	(AB Nybrogrus, u.å.; Snabb Grus AB, u.å.-a; Swerock, u.å.)
Biokol	0,08–0,32 (olika typer av biokol) 0,47 (beräknad medeldensitet från variation på 0,1–1,1 på biokol från olika råmaterial)	(Brewer & Levine, 2015) (Alhashimi & Aktas, 2016)
Däckklipp	0,35–0,36	(personlig kommunikation, Andreas Pettersson, 2022-08-25)
Krossad betong	1,5 (betongkross 0–16 mm) 1,65 (betongkross 0–32 mm)	(AB Nybrogrus, u.å.; Hummeltorp, u.å.)
Morän (grov)	1,6–2,1	(SGI, 1970; Yin m.fl., 2018)

**Tabell 7. Volymvikt för naturgrus.**

Material	Volymvikt (ton/m <sup>3</sup> ) (ev. kommentar)	Referens
Betongssand 0–4 mm	1,55	(AB Nybrogrus, u.å.)
Naturgrus 0–8 mm	1,6	(Snabb Grus AB, u.å.-b)
Betonggrus 0–8 mm	1,5	(Heidelberg Materials, 2023)
Medelvärde	1,55	

Data gällande vattengenomsläpplighet hos materialen samlades in eller beräknades enligt metoden för att beräkna genomsläpplighet som diskuteras i § 2.2.1. Figur 9 visar sammanfattade data från 24 studier vilka rapporterade 66 uppmätta värden av hydraulisk konduktivitet. 10 värden uppskattades från partikelstorleksfördelningen ( $d_{10}$  och  $d_{60}$ ) med hjälp av Breyer's ekvation (ekvation 5). Den hydrauliska konduktiviteten varierade över ett stort spann, (mellan  $4,8 \times 10^{-8}$  och  $7,4 \text{ cm s}^{-1}$ ), det är därför rimligare att jämföra de logaritmiska värdena, det vill säga  $\log_{10} K_s$ .



Figur 9. Sammanfattade data på hydraulisk konduktivitet på de utvalda filtermaterialen. Data omfattar både värden från litteratur samt beräknade värden

Figur 9 visar att den hydrauliska konduktiviteten hos de flesta materialen inte skiljer sig betydligt från den hos naturgrus, förutom gällande filtermaterialen bergkross och betongkross. Betongkross och särskilt bergkross kan ha låg genomsläpplighet när det används som filter vilket beror på den inhomogena partikelstorleksfördelningen av dessa material som gör att det finns endast små porer i filtermaterialet vilket minskar genomsläppligheten (Ulinder m.fl., 2023; Zedník & Dunajský, 2022). Detta kan anses som klart sämre jämfört med naturgrus. Det finns dock få faktiska mätningar av hydraulisk konduktivitet gjorda i litteraturen vilket leder till en stor osäkerhet i denna bedömning. Bark verkar ha en högre genomsläpplighet än naturgrus. Den kan anses att vara så hög att föroreningar inte hinner adsorberas, men detta är inte självklart utifrån reningseffektivitetsanalysen som diskuteras i avsnitt 4.4.2 (Figur 14) och visar att bark har en likadan reningseffektivitet än naturgrus. Det finns dessutom en högre risk för igensättning om bark används som filtermaterial. Detta diskuteras i §3.4.1.

#### 4.2.1 Ballast från tvättade schaktmassor

Jord och sprängt berg som grävs bort i samband med entreprenadarbeten kan inte alltid återanvändas på plats. Detta innebär ett överskott av schaktmassor som ofta deponeras (Afzelius, 2020). Den återanvändning av schaktmassor som sker idag går främst till lågvärdig användning, exempelvis fyllnadsmassor (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Återanvändning av material, i form av ballast, från sådana schaktmassor kan ske via terminaler för krossning, sortering och mellanlagring av massor (Tillväxt- och regionplaneförvaltningen, 2017). Ytterligare förädling av materialet kan ske genom tvättning (Afzelius, 2020).

Idag sker viss återanvändning av ballast, framför allt från berg som sprängts i samband med entreprenader (Tillväxt- och regionplaneförvaltningen, 2017). Statistik för hur stor del av den återanvända ballasten som används i markbaserade avloppsanläggningar saknas, men det är sannolikt en liten andel. Den totala produktionen av ballast i Sverige är cirka 100 miljoner ton, av dessa har cirka 2 miljoner ton uppskattats vara återvunnen ballast (SGU, 2023a). Även då schaktmassor bearbetas för återanvändning av ballastfraktionen uppstår en viss mängd avfall.

Enligt Peter Martinsson, PEAB (personlig kommunikation, 2022-09-19), motsvarar mängden ballastprodukt cirka 75 % av den ingående schaktmassan (resterande 25 % blir avfall). Bearbetningen sker exempelvis med hjälp av våtsiktning i en cyklon.

#### 4.2.2 Bark

Bark är en biprodukt från skogsindustrin. Barkens varierande tjocklek beror på träslaget vilket ger varierande mängd barkprodukt. På samma sätt varierar barkens struktur med träslag och den kan därför vara mer eller mindre kompakt. Bark är oftast rik på tanniner som bildas för att förändra proteinstrukturen i träet och göra det mer beständigt samt skapa en barriär mot mekanisk påverkan. Bark är även hydrofob (Pásztory m.fl., 2016).

Barken ansågs historiskt som oanvändbar och hamnade på deponi (Nilsson & Norman, 2015). Den huvudsakliga användningen av bark i Sverige är idag för energi-produktion. Barken förbränns inom skogsindustrin, vid sågverk samt pappers- och massabruk, för att producera el och fjärrvärme. Viss del av barken säljs även till fristående kraftvärmeverk (Staffas m.fl., 2015). Ett annat mer begränsat användningsområde är marktäckning i samband med odling (Pásztory m.fl., 2016).

#### 4.2.3 Bergkross

Bergkross framställs vid strax under 800 täkter i Sverige. Bergtäkter finns i alla län och är sedan 2012 fler än antalet naturgrustäkter. Det totala antalet täkter har dock blivit färre över tid; varje täkt har istället en större produktionskapacitet (SGU, 2023a). Bergkross framställs genom maskinell krossning, sortering och eventuell tvättning av berg. Bergkross kan utgöras av olika bergarter som exempelvis granit, tonalit, ryolit, kvartsit, kvartsitisk sandsten och gabbro (Ulinder m.fl., 2019). Bergarter som kalk, dolomit och kvarts räknas i SGUs statistik inte in under kategorin krossat berg utan räknas som "industrimineral" då de har särskilda egenskaper (SGU, 2023a).

Olika bergartsinnehåll ger bergkross olika egenskaper – kornform, densitet och benägenhet att vittra (Ulinder m.fl., 2019). Risk för läckage av skadliga ämnen är också kopplad till bergartsinnehåll, liksom för naturgrus (VA-guiden, 2022).

Som tidigare nämnts utgör bergkross den största delen av ballastanvändningen i Sverige. De främsta användningsområdena för ballast är i vägkonstruktion, som fyllnadsmaterial och som insats i betongtillverkning. Övrig användning står för 13 % (år 2022), och kan enligt SGU inkludera "till exempel fallsand, spackel, murbruk och järnvägsmakadam" (SGU, 2023a). Baserat på detta kan det antas att en bråkdel av det bergkross som produceras används till markbaserade avloppsanläggningar. För användning av bergkross i markbaserade anläggningar rekommenderas att materialet kontrolleras enligt informationsbladet "Bergkross i små avloppsanläggningar" (VA-guiden, 2022). De bergkrossmaterial som finns i täkternas sortiment bedöms oftast inte ha rätt vattengenomsläpplighetsegenskaper för att fungera som filtermaterial i markbaserade anläggningar. Modifiering av bergkrossen krävs då, exempelvis genom sortering och blandning<sup>2</sup> eller tvättning<sup>3</sup> (Ulinder m.fl., 2019).

---

<sup>2</sup> Med "sortering- och blandning" avses exempelvis att ett bergkross 0–8 mm delas upp i delsorteringarna 0–2 mm, 2–4 mm och 4–8 mm och att dessa andelar sedan blandas till en slutprodukt som har en mer gynnsam kornstorleksfördelning.

<sup>3</sup> Med "tvättning" avses här avlägsnande av material med kornstorlek mindre än 0,063 mm.

#### 4.2.4 Biokol

Biokol är en produkt som framställs genom pyrolys av organiskt material. Pyrolys är den process där organiskt material sönderdelas under upphettning, men vid frånvaro eller underskott av syre. Det betyder att en stor del av grundämnet kol stannar kvar i biokolet (i stället för att förbrännas och omvandlas till CO<sub>2</sub> och vatten). Denna process skapar en struktur hos biokolet som typiskt har högre porositet än utgångsmaterialet. Hög porositet ger stor yta, som i kombination med den kemiska sammansättningen ger biokol dess potential som filtermaterial.

Traditionellt produceras biokol för förbränning (historiskt som träkol för industrin och idag som grillkol). På senare år har ett intresse väckts för biokol som jordförbättring, och det finns idag en rad trädgårdsföretag som säljer växtbaserat biokol för detta ändamål. Det bör noteras att biokol kan ha mycket olika sammansättning och egenskaper beroende på vilket utgångsmaterial som stoppats in i pyrolyspannan (exempelvis träflis, trädgårdsavfall, gödsel, eller avloppsslam) (El-Naggar m.fl., 2019).

#### 4.2.5 Däckklipp

En stor mängd uttjänta däck genereras årligen. Historiskt har dessa lagts på deponi, men sedan 2003 är det förbjudet inom EU att lägga hela däck på deponi. Förbudet gäller sedan år 2006 även däckklipp. Däck har en komplex struktur, bestående av gummi (cirka 45 %), stålarmering, textilkomponenter, förstärkande fibrer (i t.ex. kisel-dioxid eller kimrök), samt tillsatsämnen som bromsar nedbrytning (bl.a. oxidation och ozonpåverkan) (Valentini & Pegoretti, 2022).

På global nivå deponeras fortfarande en stor andel av de uttjänta däcken; andelen deponering eller okänd slutanvändning har uppskattats till 41 %. Inom Europa avsätts däcken huvudsakligen genom materialåtervinning och energiåtervinning (förbränning) (Valentini & Pegoretti, 2022). Ett betydande användningsområde för uttjänta däck är tillverkning av granulat som används i konstgräsplaner och vid lekplatser (Kemikalieinspektionen, 2023). Användning av däckklipp i markbaserade avloppsanläggningar är sedan 2016 under utvärdering av företaget Wieder Tech.

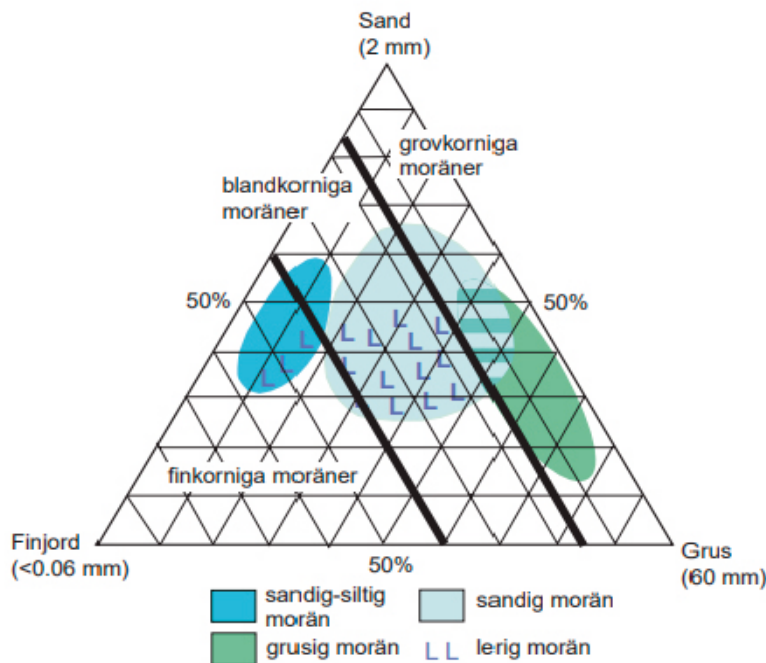
#### 4.2.6 Krossad betong

Betong består av naturgrus, sand och/eller bergkross, samt ett bindemedel som ofta utgörs av portlandcement (personlig kommunikation, Linus Brander, 2023-04-20). Den betong som avses i detta sammanhang är rest- och rivningsbetong, det vill säga i) betong som blivit över vid byggnation och inte kunnat användas som avsett samt ii) betong som finns tillgänglig till följd av rivning av byggnader (eller andra betongstrukturer).

Krossad betong anses vara lämpligt som fyllnadsmaterial. I vägkonstruktioner kan krossad betong användas till obundna överbyggnadslager, underbyggnad och andra fyllningsmassor, exempelvis bullervallar (Svensk Betong, u.å.). I vissa fall är det även möjligt att använda återvunnen krossad betong som betongballast. Förutsättningarna finns beskrivna i standarden SS 137003, Betong – Användning av EN 206 i Sverige. I dagsläget är det vanligt att krossad betong deponeras (Skanska, u.å.).

#### 4.2.7 Grov morän

Morän är Sveriges vanligaste jordart (täcker cirka två tredjedelar av landytan), och har på liknande sätt som naturgrus bildats genom avsättning från inlandsisar. Morän är dock till skillnad från naturgrus en mer sorterad jordart. Moränen kan innehålla skikt av mer sorterat material (Göransson, 2015). I praktiken finns ofta osäkerhet kring gränsdragningen mellan naturgrus och morän, och geologisk expertis kan krävas för att klassa förekomster (Daniel & Grånäs, 2000). Klassningen är viktig på så sätt att den påverkar huruvida naturgrusskatt tas ut. De moräner som passar bäst till markbaserad rening kommer antagligen utgöras av de moräner som beskrivs som grovkorniga moräner, se Figur 10, och som därmed har en liten andel finmaterial (<15 %) (personlig kommunikation, David Eveborn, 2024-03-25). Det är sannolikt även en fördel om moränen är förhållandevis jämnt graderad, det vill säga att spridningen av kornstorlekar inte är så stor, eftersom vattengenomsläppligheten då blir större än om moränen är ojämnt graderad (personlig kommunikation, David Eveborn, 2024-03-25). Dock är jämnt graderad morän inte vanligt (personlig kommunikation, David Eveborn, 2024-03-25).



Figur 10. Olika typer av morän.

Källa: © Sveriges geologiska undersökning.

Det finns en regional skillnad på utbredningen av morän. Till exempel är det sparsamt med morän (personlig kommunikation, Otto Pile, 2024-03-07):

- på Västkusten
- i Dalsland
- söder om Väneren
- i stora delar av Östergötland
- i östra Södermanland
- vid delar av Norrlandskusten

På Öland, Gotland och i halva Skåne finns främst leriga moräner/moränleror, vilka antagligen inte passar till ändamålet markbaserad rening (personlig kommunikation, Otto Pile, 2024-03-07).

Endast cirka 1 % av all levererad ballast i Sverige utgörs av morän (år 2022) (SGU, 2023a). Morän används exempelvis som fyllnadsmaterial eller som ballast till vägbyggen (SGU, 2021).

## 4.3 Identifierade kriterier

Kriterierna som användes för att analysera och utvärdera filtermaterialen identifierades utifrån det övergripande syftet att identifiera det eller de filtermaterial som har högst potential att utgöra hållbara alternativ till naturgrus i markbaserade avloppsanläggningar. Eftersom filtermaterialen skulle utvärderas ur hållbarhets-synpunkt, inkluderades såväl sociala som miljömässiga och ekonomiska aspekter. Utöver dessa tre grundläggande delar av hållbarhet inkluderas även filtermaterialens tekniska egenskaper, framför allt reningseffektivitet, som en separat kategori. Utifrån dessa huvudkategorier identifierade projektgruppen relevanta kriterier baserat på litteraturgenomgången samt utifrån de egenskaper och aspekter som framkom vid workshopar och intervjuer med experter. Inspiration hämtades också från liknande studier inom andra områden.

Totalt identifierades 19 kriterier som delades in under de fyra huvudkriterierna tekniskt, socialt, miljömässigt och ekonomiskt. Kriterierna illustreras i Figur 11 och sammantaget beskriver dessa de aspekter som bedömts relevanta för att utvärdera filtermaterialens potential att utgöra ett hållbart alternativ till naturgrus. De tekniska kriterierna avser förmågan att reducera åtta olika typer av föroreningar samt livslängden på en anläggning med det specifika filtermaterialet. De sociala kriterierna inkluderar aspekter kopplade till hälsa, samhällets syn på filtermaterialet samt eventuella intressekonflikter relaterade till materialet. Kriterierna relaterade till de miljömässiga aspekterna avseende klimatpåverkan, användningen av icke-förnybara resurser samt eventuellt läckage av toxiska ämnen från materialet. Den sista kategorin, de ekonomiska kriterierna, berör kostnaden för materialet samt dess mognadsgrad som produkt och dess tillgänglighet.

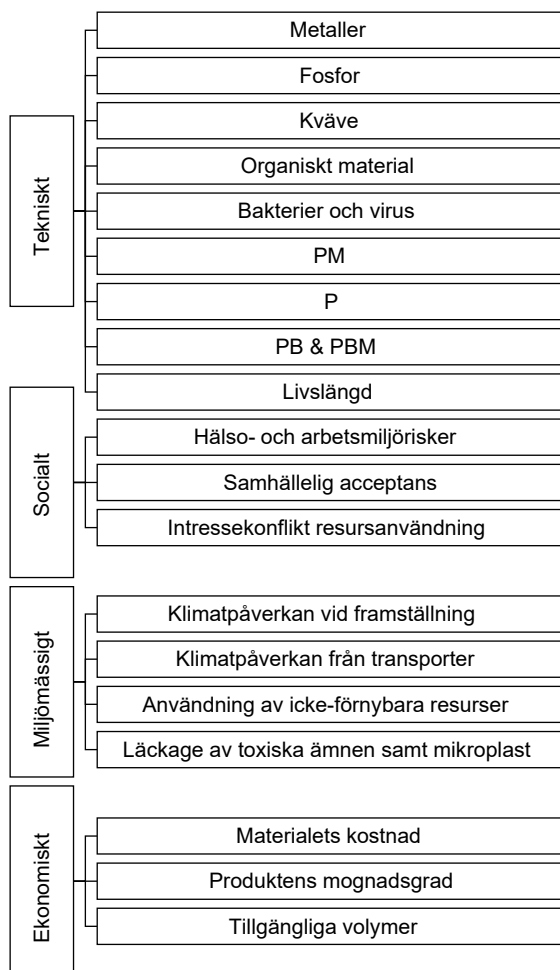
Utöver de kriterier som presenteras i Figur 11 diskuterades även eventuellt avfall som uppstår då en anläggning tas ur bruk och i vilken utsträckning detta går att återvinna. Efter diskussion beslutades att inte inkludera detta kriterium i MKA:n med anledning av att uttjänta anläggningar i stor utsträckning antas ligga kvar i marken och inte grävs upp.

Även filtermaterialens hydrauliska konduktivitet identifierades som en relevant teknisk egenskap men uteslöts som kriterium i multikriterieanalysen då det är rimligt att sammansättningen av filtermaterialet anpassas för att undvika såväl för hög som för låg genomsläpplighet. Dock beaktades (bland annat) eventuella problem med igensättning för bedömning av livslängden.



En mer utförlig beskrivning av vad som beaktats i respektive delkriterium ("avgränsning") finns i avsnitt 4.4–4.7, där även bedömningen av filtermaterialen med avseende på respektive kriterium presenteras. Alla kriterier förutom renings-effektivitet redovisas enligt följande struktur för varje material:

- Bakgrundsbeskrivning inklusive källor
- Bedömning av poäng och osäkerhet markerat i blått
- Kortfattad motivering till bedömningen



Figur 11. Huvud- och delkriterier som tillämpats för att utvärdera filtermaterialen i multikriterie-analysen. De totalt nitton delkriterierna delades in i fyra huvudkriterier (tekniskt, socialt, miljömässigt och ekonomiskt).

## 4.4 Tekniska kriterier

I detta avsnitt beskrivs de tekniska kriterierna och bedömningen för respektive filtermaterial motiveras med hänsyn till det underlagsmaterial och referenser som använts. I Tabell 8 presenteras en översikt över de bedömningar som gjorts, inklusive vilken grad av osäkerhet som respektive bedömning är förknippad med.

**Tabell 8. Sammanställning över hur filtermaterialen presterar(poäng) med avseende på de tekniska kriterierna samt den osäkerhet respektive bedömning är förknippad med.**

Kriterium	Ballast		Bark		Bergkross		Biokol		Däckklipp		Krossad betong		Grov morän	
	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet
<b>Tekniskt</b>														
Metaller	0	●	0	●	0	●	-3	●	0	●	0	●	0	●
Fosfor	0	●	1	●	-1	●	0	●	1	●	-1	●	0	●
Kväve	0	●	0	●	0	●	0	●	1	●	1	●	0	●
Organiskt material	0	●	0	●	0	●	0	●	0	●	-1	●	0	●
Bakterier & virus	0	●	-1	●	2	●	1	●	2	●	3	●	0	●
PM	0	●	2	●	-2	●	1	●	0	●	0	●	0	●
P	0	●	0	●	0	●	0	●	0	●	0	●	0	●
PB & PBM	0	●	0	●	0	●	0	●	0	●	0	●	0	●
Livslängd	0	●	-2	●	0	●	-1	●	0	●	0	●	0	●

● Mycket stor osäkerhet ● Stor osäkerhet ● Måttlig osäkerhet ● Liten osäkerhet

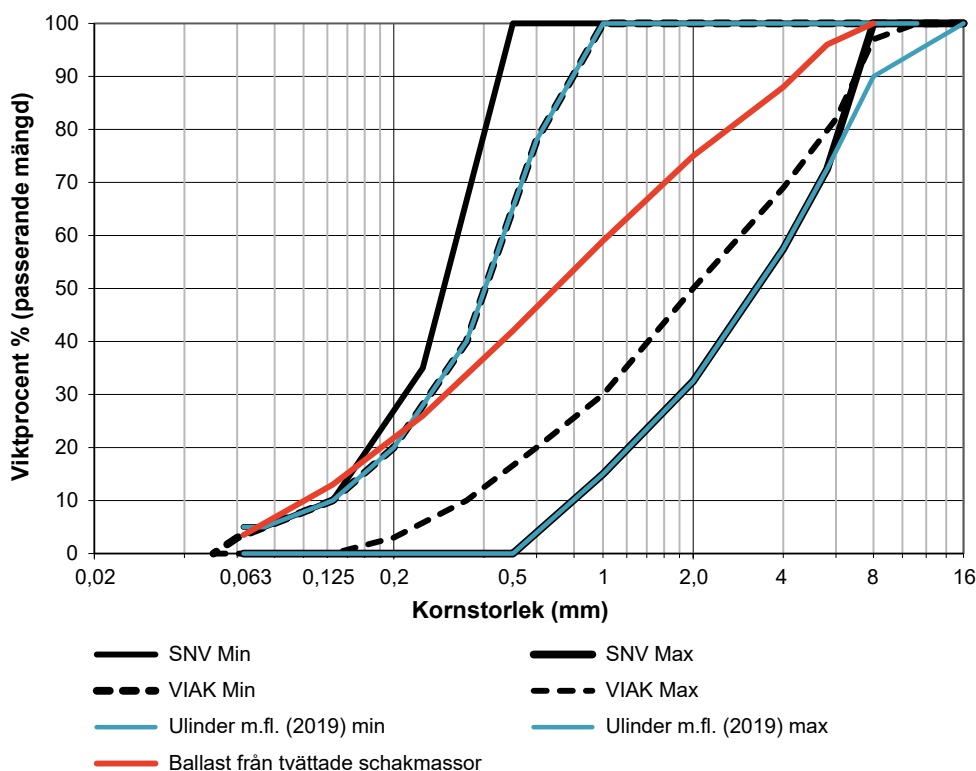
### 4.4.1 Livslängd

Avgränsning: Detta kriterium har avsett att bedöma livslängden hos filtermaterialen. Då underlagen som identifierades gällande reningseffektivitet över längre tid var begränsade gjordes bedömningen i huvudsak utifrån hydrauliska egenskaper och eventuell risk för igensättning. Underlag gällande risk för igensättning inhämtades från vetenskapliga studier som sammanställts i databas, med fokus på de studier som haft en försöksperiod på 1 år eller längre.

#### BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

##### Bakgrundsbeskrivning

För ballast från tvättade schaktmassor saknas underlag gällande livslängd som filtermaterial. Kornstorleksfördelningen hos materialet har dock antagits ge en indikation om risken för igensättning, och denna uppges i regel likna kornstorleksfördelningen hos naturgrus (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Kornstorleksfördelningen hos tvättade schaktmassor (Figur 12) ligger, enligt ett typexempel för sortering 0–4 mm (erhållet från PEAB under detta projekt), i huvudsak inom föreslagna gränser enligt Ulinder m.fl., (2019), dock med något större andel material med kornstorlek mindre än 0,125 mm.



Figur 12. Typexempel på ballast från tvättade schaktmassor (sortering 0–4 mm; röd linje) i relation till rekommenderade kornstorleksgränser (blå linjer) enligt Ulinder m.fl. (2019). I figuren framgår även rekommenderade kornstorleksgränser för markbäddssand för små avloppsanläggningar enligt Naturvårdsverket (2003) (heldragna svarta linjer) och rekommenderade gränser för markbäddssand för kommunala avloppsanläggningar enligt VIAK, numera Sweco (streckade svarta linjer).

Ballast från tvättade schaktmassor producerad av PEAB har likt naturgrus en rundad kornform (snarare än en kantig kornform likt bergkross) (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19).

## Bedömning

Livslängden har bedömts vara likvärdig som den hos naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med ”stor osäkerhet”.

## Motivering

Ballast från tvättade schaktmassor har liknande egenskaper som naturgrus vad gäller kornform, kornstorleksfördelning och vittringsprocesser, vilket tolkats som att det kan ha en liknande livslängd som naturgrus. Bedömningen är dock associerad med stor osäkerhet då inga kvalitativa mätningar av livslängd identifierats (grunden är ett teoretiskt resonemang).

## BARK

### Bakgrundsbeskrivning

Markiewicz m.fl., (2020) undersökte, i ett 18 månader långt försök, filtrering av dagvatten i barkfilter. De fann att andelen partiklar mindre än 0,25 mm ökat vid försöksperiodens slut, vilket tolkades som att materialet sönderdelades över tid.

Krona (2017) fann att barkfilter var betydligt mer känsliga för igensättning än filter uppbyggda av granulerat aktivt kol (vid tertiär rening av kommunalt spillvatten). Till skillnad från förhållandena i markbaserade anläggningar utfördes försöken under vattenmättade förhållanden vilket kan påverka risken för igensättning. Dock bedöms ändå jämförelsen mellan de två filtermaterialen vara indikativ.

Bransch erfarenhet gällande avloppsrening i bark från medelhavstall indikerar att barken behöver fyllas på vart tionde år, motsvarande cirka 15 % av materialets volym. Nedbrytningstakten beror bland annat på avloppsvattnets sammansättning (personlig kommunikation, Siegfried Maunoir, 2022-10-05).

Vid studier av bark som filtermaterial i en konstruerad våtmark i Norge fann man att utgående vatten från anläggningen var mörkt ölfärgat (personlig kommunikation, Petter Jenssen, 2024-08-15). Vid användning av täckbark som isolering till ett biofilter noterades en svagt gul färg och förhöjda BOD-värden hos vattnet i utloppet (Oppegård, 2014).

Nedbrytning av filtermaterialet kan antas påverka livslängden såväl direkt, genom att material försvinner, som mer indirekt, genom att finfördelat material kan bidra till igensättning av filterbädden samt resultera i läckage av ämnen som tidigare fastlagts.

### Bedömning

Livslängden har bedömts vara måttligt sämre än hos naturgrus (-2). Denna bedömning är associerad med ”stor osäkerhet”.

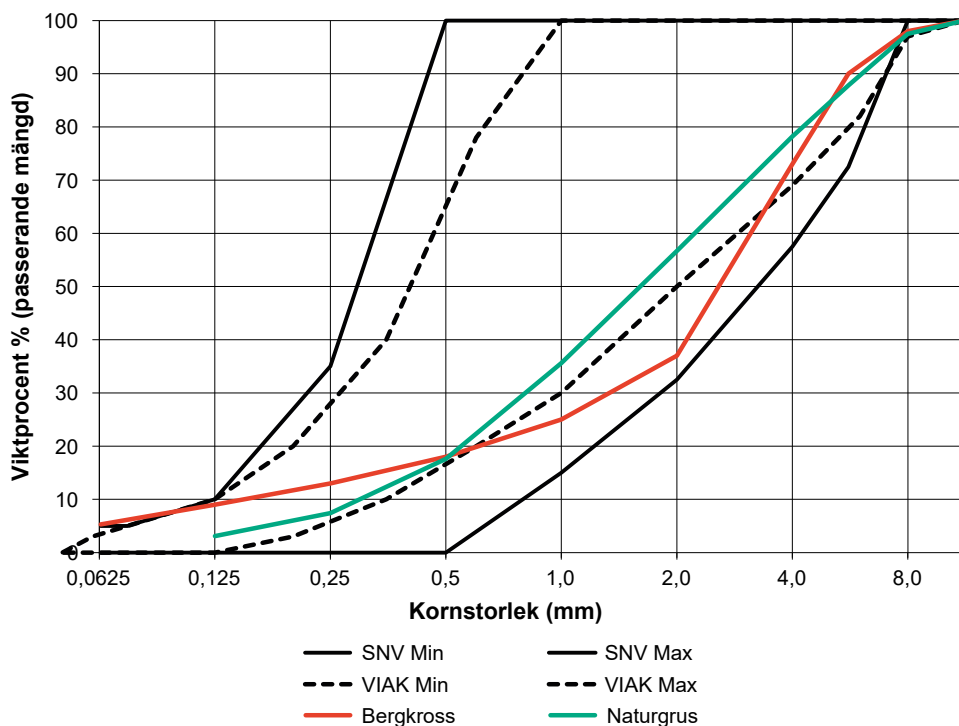
### Motivering

Referenser indikerar att igensättning (eventuellt relaterat till nedbrytning av filter) är ett problem som kan förekomma vid tillämpning av barkfilter. Bedömningen är dock associerad med stor osäkerhet då bedömningen delvis gjorts utifrån ett teoretiskt resonemang samt då de underliggande studierna inte utvärderat rening av (slamavskilt) hushålls- och industriavfall under omättade förhållanden.

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Jämförande studier av bergkross och naturgrus tyder på att den biologiska reningen i bergkross fungerar väl (god rening av BOD uppnås inom samma tidsspänn som naturgrus) (Elmefors & Ljung, 2013). Ulinder et al (2023) undersökte bergkross som filtermaterial i markbädd och observerade ingen tydlig skillnad av hydraulisk konduktivitet under en försökstid på 4 år. Det bergkross som användes som filtermaterial hade modifierats för att få lämpliga vattengenomsläpplighetsegenskaper, se Figur 13.



Figur 13. Kornstorleksfördelning hos det bergkross och naturgrus som användes som filtermaterial till de två markbäddarna i som undersöktes i Ulinder et al (2023) i relation till rekommenderade fält enligt Naturvårdsverket 1991 (heldragna linjer) och VIAK (streckade linjer).

### Bedömning

Livslängden har bedömts vara likvärdig som för naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".

### Motivering

Det förefaller inte finnas någon uppenbar risk för igensättning (jämfört med naturgrus). Bedömningen är dock associerad med stor osäkerhet då inga kvalitativa mätningar av livslängd identifierats. Grunden är ett teoretiskt resonemang samt mätdata över betydligt kortare tidsspänn jämfört med förväntad livslängd hos en naturgrusbädd.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Kholoma m.fl. (2020) undersökte rening av hushållspillvatten (bädd dimensionerad för fyra hushåll) i ett sandfilter förstärkt med biokol producerat från lövträ. Inga tecken på igensättning av filtren observerades efter 1 års drift. I studien nämns att biokol i viss mån smulades sönder vid hantering, vilket kan indikera risk för försämrad genomsläpplighet om materialet inte hanteras varsamt i samband med byggnation av avloppsanläggningen.

### Bedömning

Livslängden har bedömts lite sämre än hos naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".

### Motivering

Potentiell risk för försämrad genomsläpplighet, dock är bedömningen associerad med stor osäkerhet då mätdata representerar betydligt kortare tidsspann jämfört med förväntad livslängd hos en naturgrusbädd.

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt en leverantör av däckklipp finns det i USA en markbaserad anläggning med filter uppbyggt av däckklipp, i USA, som varit i drift i cirka 30 år och fortfarande fungerar som avsett (personlig kommunikation, Andreas Pettersson, 2022-08-25). Badila (2021) jämförde däckklipp och naturgrus som filtermaterial i drainfields (ett system där rening först sker i "trenches" med filtermaterial innan vattnet infiltreras ner i den naturliga marken) under en period på 18 månader. Studien visade att användning av däckklipp som "förstärkningslager" inte gav några signifikanta skillnader i reningseffekt av COD, fosfor eller ammoniak jämför med naturgrus. Naturgruset var dock i detta fall ett grovt material med kornstorlek runt 10–76 mm. Enligt Hartley Grimes m.fl. (2003) visade flera olika projekt likande reningsresultat för BOD, COD, Supenderad substans, ammoniumkväve, nitrat och fekala koliformer för däckklipp respektive naturgrus med reservation för att det ibland kunde ta några månader längre för reningen att stabilisera sig i däckklipp. Anläggningarna i studien var av varierande ålder men vissa av däckklippsanläggningarna var mer än åtta år. I de stater som godkänner däckklipp som ersättningsmaterial till naturgrus krävs att kornstorleken på däckklippen är ungefär lika som för naturgruset (i detta fall cirka 5 cm) (Hartley Grimes m.fl., 2003).

## Bedömning

Livslängden har bedömts likvärdig med den hos naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Referenserna indikerar att filter uppbyggt av däckklipp upprätthålla reningseffektivitet av organiskt material m.m. lika länge som en naturgrusbädd. Osäkerheten bedöms som måttlig eftersom det finns begränsat med underlag.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Tidigare omnämnd studie av Kholoma m.fl. (2020) undersökte även ett sandfilter förstärkt med krossad betong. Inte heller för krossad betong sågs tecken på igensättning efter 1 års drift.

Carneiro m.fl., (2022) utvärderade reningseffektiviteten hos bland annat krossad betong från byggavfall, vid en avloppsreningsanläggning för cirka 100 000 personer. Hydraulisk genomsläpplighet/ igensättning hos filterbäddarna utvärderades ej. Reningseffektiviteten var dock stabil under ett års drift (det vill säga ingen minskande trend).

Rahman m.fl. (2015) undersökte krossad betong som alternativ till naturmaterial (grusfraktioner) i tillämpning som permeabelt skikt vid dagvattenrening. De drog slutsatsen att krossad betong kan fungera som ett lämpligt ersättningsmaterial vid denna tillämpning, både hydrauliskt och med avseende på reningseffektivitet.

Kalciuminnehållet i betong kan potentiellt leda till risk för igensättning till följd av karbonatisering (en spontan, men långsam process där kalciumoxid, CaO, omvandlas till kalciumkarbonat, CaCO<sub>3</sub>) (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19).

## Bedömning

Livslängden har bedömts vara likvärdig som den hos naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Referenser indikerar ingen igensättning. Dock är bedömningen associerad med måttlig osäkerhet då mätdata representerar betydligt kortare tidsspann jämfört med förväntad livslängd hos en naturgrusbädd samtidigt som expert fört ett teoretiskt resonemang gällande eventuell ökad risk för igensättning.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Vid byggnation av infiltrationsanläggningar så används den lokala marken, i vilken vattnet får infiltrera i (dock utan uppsamling av renat vatten på det sätt som sker i markbäddar) (Naturvårdsverket, 2003). Morän är den vanligast jordtypen (SGU, 2020) vilket gör att det är rimligt att anta att morän ofta utgör det material som vattnet infiltrerar genom för infiltrationsanläggningar.

### Bedömning

Livslängden har bedömts vara likvärdig som den hos naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

### Motivering

Den befintliga användningen i infiltrationsanläggningar indikerar att materialet tekniskt bör kunna anpassas för att fungera som filtermaterial i markbäddar. Osäkerheten bedöms som måttlig eftersom faktiska mätdata från markbäddar saknas.

## 4.4.2 Reningseffektivitet

Totalt har 730 experimentella mätningar av in- och utgångskoncentrationer identifierats från 60 studier av de sju filtermaterialen. Vi har beräknat reningseffektiviteten från dessa koncentrationer enligt ekvation (3). Genomsnittliga reningseffektivitetsvärden beräknades för de olika föroreningsgrupperna. Reningseffektiviteten hos de olika filtermaterialen i relation till den hos naturgrus kategoriserades enligt ekvation (6) och (7). En övergripande slutsats är att för de flesta materialen och föroreningsgrupperna liknar reningsförmågan den hos naturgrus men begränsad datamängd gör att denna bedömning i många fall är relativt osäker.

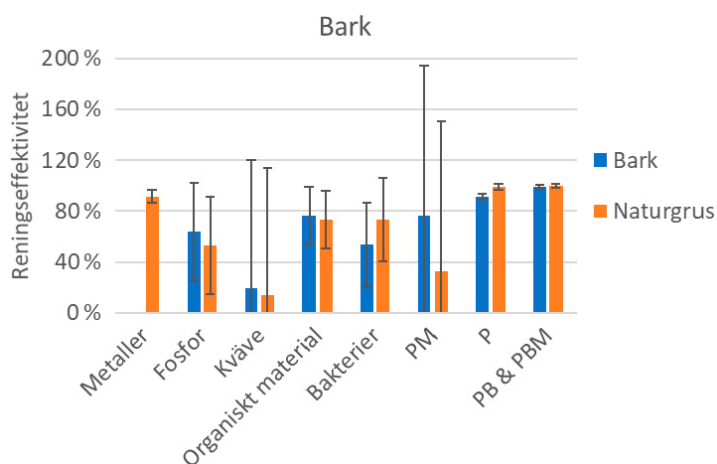
## BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

Inga studier hittades gällande reningseffektivitet hos ballast från tvättade schaktmassor. Detta material bedömdes därför likvärdigt med naturgrus (0) fast med mycket stor osäkerhet. Ballast från tvättade schaktmassor är dock i ursprung ett naturligt material. Tvättprocessen kombineras i många fall med våtsiktning som producerar olika kornstorleksfraktioner under tvättprocessen (Afzelius, 2020). Som beskrivet i föregående paragraf används endast den fraktion som garanterar en god genomsläpplighet. Denna fraktion har förmodligen liknande kemiska och mineralogiska egenskaper som naturgrus.



## BARK

Figur 14 visar genomsnittliga värdena av reningseffektivitet för bark inom de olika föroreningsgrupperna samt standardavvikelse. Här ska noteras att data gällande reningseffektiviteten med avseende på metaller saknades. Det kan observeras att bark för de flesta föroreningar har en liknande reningseffektivitet som naturgrus. Standardavvikelsen mellan olika mätningar är dock i vissa fall stor, vilket även kan observeras för de flesta övriga materialen. Den stora osäkerheten kan förklaras av den stora diversiteten i hur försöken har utförts. Projektet sammanfattade mätningar från kolonnförsök, pilotförsök och fullskaliga anläggningar där samtliga har utförts med olika dimensionering och vattenflöde och över ett varierande tidsspänn. I vissa fall hade dessutom inte ett enskilt filtermaterial studerats utan en blandning av det aktuella materialet och naturgrus. Projektet har behandlat studier med dessa blandningar på samma sätt som studier på enskilda filtermaterial. Tabell 9 sammanfattar bedömningar och osäkerhetsklasser kring reningseffektivitet av bark.



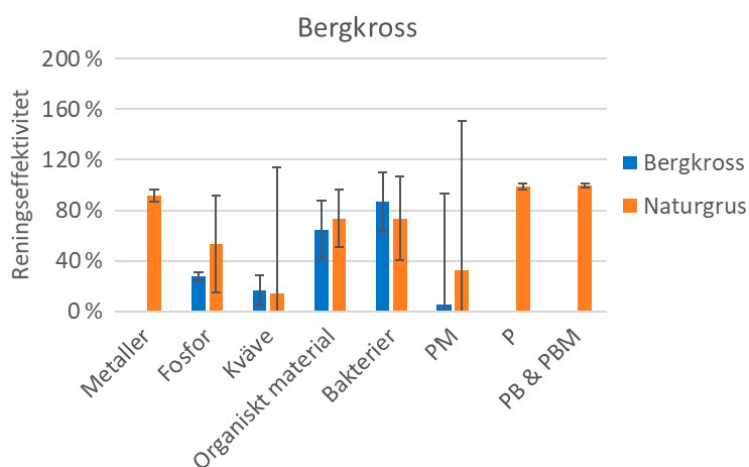
Figur 14. Reningseffektivitet för olika föroreningsgrupper hos bark i jämförelse med naturgrus. Felmarginalerna anger standardavvikelsen.

**Tabell 9. Bedömning och osäkerhet av reningseffektiviteten av bark i jämförelse med naturgrus**

Föroreningsgrupp	Bedömning	Osäkerhetsklass
Metaller	0	Mycket stor
Fosfor	1	Stor
Kväve	0	Stor
Organiskt material	0	Stor
Bakterier	-1	Måttlig
PM	2	Måttlig
P	0	Måttlig
PB & PBM	0	Måttlig

## BERGKROSS

Bergkross nämns ofta som ett möjligt ersättningsmaterial till naturgrus i markbaserade anläggningar. Figur 15 visar att bergkross i de flesta fall har en liknade reningseffektivitet som naturgrus. Dock saknas data gällande metaller och mikro-föroreningar i grupperna P och PB & PBM. Alla värden gällande reningseffektivitet i föroreningsgrupp PM togs från Ulinder et al (2023). Den stora variationen av olika ämnen i denna grupp förklarar den stora standardavvikelsen. Även Ulinder et al (2023) bedömde den generella reningseffektiviteten hos bergkross som likvärdig med naturgrus. Tabell 10 sammanfattar bedömningar och osäkerhetsklasser kring reningseffektivitet av bergkross.



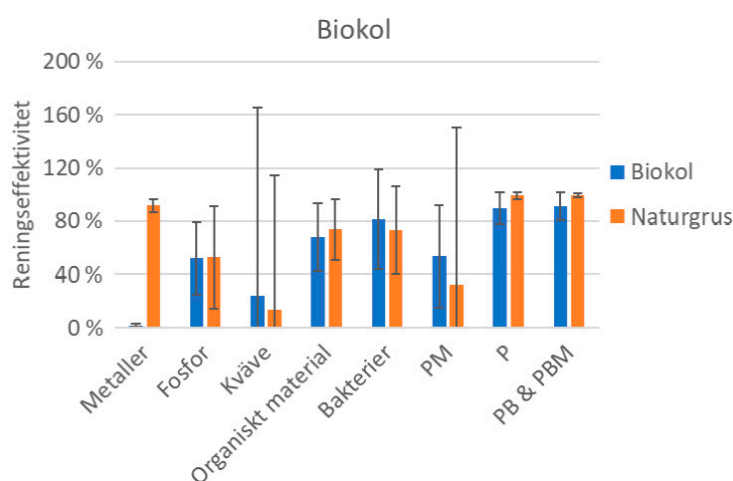
Figur 15. Reningseffektivitet för olika föroreningsgrupper hos bergkross i jämförelse med naturgrus. Felmarginalerna anger standardavvikelsen.

**Tabell 10. Bedömning och osäkerhet av reningseffektiviteten av bergkross i jämförelse med naturgrus**

Föroreningsgrupp	Bedömning	Osäkerhetsklass
Metaller	0	Mycket stor
Fosfor	-1	Stor
Kväve	0	Stor
Organiskt material	0	Måttlig
Bakterier	2	Stor
PM	-2	Stor
P	0	Mycket stor
PB & PBM	0	Mycket stor

## BIOKOL

Filtermaterial som kallas för biokol är egentligen en ganska mångfasetterad grupp av material. Tillverkningsproceduren av biokol är pyrolys men ursprungsprodukterna kan vara allting från ved till växtmaterial eller slam. Den stora variationen kan möjligen förklara den stora standardavvikelsen i Figur 16. Biokol används dessutom blandat med naturgrus i olika förhållanden vilket tillför ytterligare variation i utformningen av olika studier. Figur 16 indikerar att biokol i många fall har en liknande reningsförmåga som naturgrus förutom för metaller. Biokol har i många batchförsök visat en stark adsorptionsförmåga för de flesta metaller men i de flesta fall gällde det modifierad biokol. Omodifierad biokol kan ha en begränsad förmåga att adsorbera metaller (Wang m.fl., 2022). Tabell 11 sammanfattar bedömningar och osäkerhetsklasser kring reningseffektivitet av biokol.



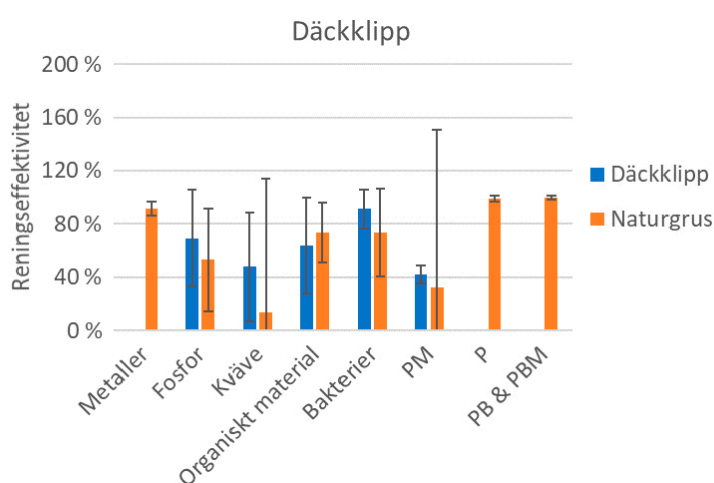
Figur 16. Reningseffektivitet för olika föroreningsgrupper hos biokol i jämförelse med naturgrus. Felmarginalerna anger standardavvikelsen

Tabell 11. Bedömning och osäkerhet av reningseffektiviteten av biokol i jämförelse med naturgrus

Föroreningsgrupp	Bedömning	Osäkerhetsklass
Metaller	-3	Måttlig
Fosfor	0	Liten
Kväve	0	Stor
Organiskt material	0	Liten
Bakterier	1	Måttlig
PM	1	Liten
P	0	Måttlig
PB & PBM	0	Måttlig

## DÄCKKLIPP

Mätningar av reningseffektivitet hos däckklipp saknas för metaller och de flesta organiska mikroföroreningar. Dataunderlag för andra föroreningsgrupper visar även här att reningseffektiviteten inte skiljer sig signifikant från naturgrus (Figur 17). De goda adsorptionsegenskaperna av däckklipp med avseende på organiska föroreningar nämns ofta (e.g. Hüffer m.fl. (2020)) men har studerats uteslutande i batchförsök. Vi kan dock med god säkerhet anta att däckklipp inte har sämre reningsförmåga än naturgrus mot organiska mikroföroreningar. Detta innebär dock inte nödvändigtvis att däckklipp inte släpper organiska och andra föroreningar som nämnt i avsnitt 4.6.4. Tabell 12 sammanfattar bedömningar och osäkerhetsklasser kring reningseffektivitet av däckklipp.



Figur 17. Reningseffektivitet för olika föroreningsgrupper hos däckklipp i jämförelse med naturgrus. Felmarginalerna anger standardavvikelsen

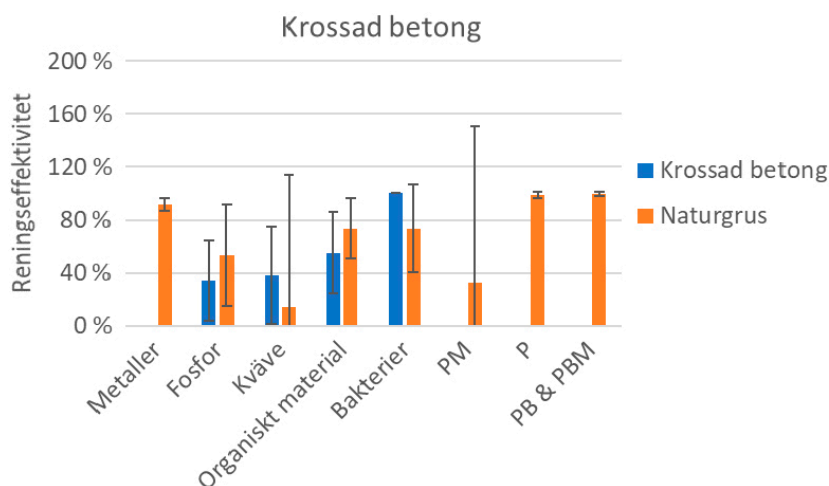
**Tabell 12. Bedömning och osäkerhet av reningseffektiviteten av däckklipp i jämförelse med naturgrus**

Föroreningsgrupp	Bedömning	Osäkerhetsklass
Metaller	0	Mycket stor
Fosfor	1	Liten
Kväve	1	Måttlig
Organiskt material	0	Liten
Bakterier	2	Måttlig
PM	0	Måttlig
P	0	Mycket stor
PB & PBM	0	Mycket stor

## KROSSAD BETONG

Det saknades data rörande flera föroreningsgrupper även för krossad betong, Figur 18. Utifrån befintligt dataunderlag kunde dock inga tydliga skillnader mot naturgrus observeras.

Tabell 13 sammanfattar bedömningar och osäkerhetsklasser kring renings-effektivitet hos krossad betong.



Figur 18. Reningseffektivitet för olika föroreningsgrupper hos krossad betong i jämförelse med naturgrus. Felmarginalerna anger standardavvikelsen

Tabell 13. Bedömning och osäkerhet av reningseffektiviteten av krossad betong i jämförelse med naturgrus

Föroreningsgrupp	Bedömning	Osäkerhetsklass
Metaller	0	Mycket stor
Fosfor	-1	Måttlig
Kväve	1	Måttlig
Organiskt material	-1	Måttlig
Bakterier	3	Stor
PM	0	Mycket stor
P	0	Mycket stor
PB & PBM	0	Mycket stor

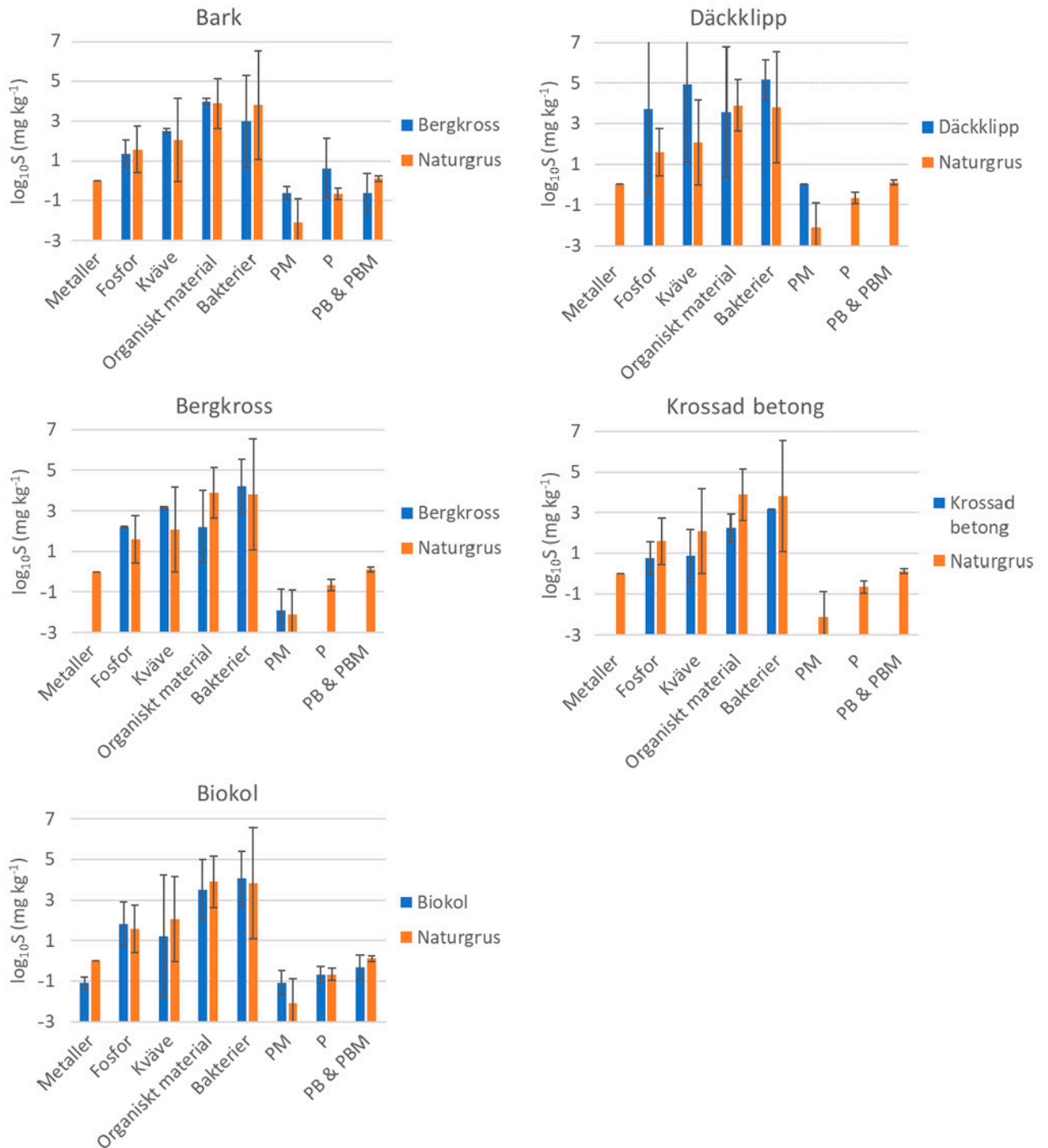
## MORÄN

Som nämnt tidigare kunde ingen data kring reningseffektivitet av morän hittas. Detta material antas dock ha en likadan reningsförmåga som naturgrus eftersom mineralogi och partikelstorleksfördelning i många fall är lika.

## LÅNGSIKTIG RENINGSEFFEKTIVITET

Som diskuterat i 4.4.1 har de flesta experimentella bedömningar erhållits av kortvariga kolonnförsök. Den reningseffektiviteten som då beräknas kommer dock att variera över tiden. Den största risken uppstår när vi inte är konservativa, det vill säga om vi inte tar hänsyn till att reningseffektiviteten kan avta. Detta förekommer till exempel när filtermaterialets yta har adsorberat så mycket av ett enskilt ämne att ytan mäts. Den adsorberade/avskilda massan  $S$  av olika föroreningsgrupper beräknades därför enligt ekvation (8) för att komplettera bedömningen av den möjliga livslängden av olika filtermaterial.  $S$  reflekterar dock inte den maximala massan som kan adsorberas av ett visst filtermaterial då de flesta experiment som granskades utfördes under en begränsad tidsperiod. Det är alltså långt ifrån säkert att filtermaterialen hann mätas med respektive förorening under denna tidsperiod.  $S$  är alltså en undre gräns för den maximalt möjliga massan som kan adsorberas/avskiljas. Jämförelsen av  $S$  med naturgrus kan därför användas för att bedöma om ett enskilt filtermaterial är klart sämre när det gäller adsorptionskapacitet.

Figur 19 visar att de olika filtermaterialen presterar likvärdigt med naturgrus när det gäller adsorptionskapacitet. Beräkningarna på däckklipp indikerar även en förhöjd adsorptionskapacitet i jämförelse med naturgrus men dessa data är förknippade med en stor osäkerhet.



Figur 19. Totalt adsorberade/borttagna koncentrationer av föroreningar under experiment med olika filtermaterial.

## 4.5 Sociala kriterier

I detta avsnitt beskrivs de sociala kriterierna och bedömningen för respektive filtermaterial motiveras med hänsyn till det underlagsmaterial och referenser som använts. I Tabell 14 presenteras en översikt över de bedömningar som gjorts, inklusive vilken grad av osäkerhet som respektive bedömning varit förknippad med.

Tabell 14. Sammanställning över hur filtermaterialen presterar med avseende på de sociala kriterierna samt den osäkerhet respektive bedömning är förknippad med.

Kriterium	Ballast		Bark		Bergkross		Biokol		Däckklipp		Krossad betong		Grovmorän	
	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet
<b>Social</b>														
Hälsa- och arbetsmiljörisker	0	Stor osäkerhet	-1	Måttlig osäkerhet	-1	Liten osäkerhet	-3	Liten osäkerhet	1	Måttlig osäkerhet	-1	Måttlig osäkerhet	0	Måttlig osäkerhet
Samhällelig acceptans	-1	Stor osäkerhet	2	Måttlig osäkerhet	0	Måttlig osäkerhet	1	Måttlig osäkerhet	-3	Stor osäkerhet	-1	Stor osäkerhet	0	Måttlig osäkerhet
Intressekonflikt resursanvändning	3	Liten osäkerhet	2	Måttlig osäkerhet	2	Liten osäkerhet	2	Måttlig osäkerhet	3	Liten osäkerhet	3	Liten osäkerhet	2	Liten osäkerhet

● Mycket stor osäkerhet ● Stor osäkerhet ● Måttlig osäkerhet ● Liten osäkerhet

### 4.5.1 Hälsa- och arbetsmiljörisker vid framställning av filtermaterial och byggnation av avloppsanläggning

**Avgränsning:** Detta kriterium har beaktat hälsa- och arbetsmiljörisker för de som arbetar med framställning av filtermaterialet samt motsvarande risker vid hantering av filtermaterialet i samband med byggnation av avloppsanläggningen. Ett exempel på risk som identifierats är damning (och associerade respiratoriska problem).

#### BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

##### Bakgrundsbeskrivning

Om schaktmassor används på annan plats än där de grävdes upp (vilket vore fallet vid användning som filtermaterial) klassas de generellt som avfall. Det betyder att krav tillkommer genom avfallslagstiftningen, där en lokalt anpassad riskutvärdering ofta krävs. Denna riskutvärdering kan ha olika omfattning och ibland omfatta labbutvärdering av hur mycket föroreningar materialet avger (Nordic Council of Ministers, 2021). Hantering av schaktmassor kan dock antas ske oavsett om filtermaterial ska framställas eller ej, därför har eventuella föroreningar i schaktmassorna inte beaktats ur perspektivet hälsa- och arbetsmiljörisker.

##### Bedömning

Hälsa- och arbetsmiljörisken har bedömts vara likvärdig som för naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".



## Motivering

Inga ytterligare risker har identifierats jämfört med naturgrus. Bedömningen är dock associerad med stor osäkerhet då den baseras på ett begränsat informationsunderlag. Risken för respiratoriska problem pga. damning vid anläggandet av avloppsanläggningen har bedömts som likvärdig i jämförelse med naturgrus då kornstorleksfördelningen bör vara jämförbar vid tillämpning som filtermaterial.

## BARK

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt en återförsäljare av bark för filterändamål finns inga kända ämnen i deras produkt som kan orsaka negativ hälsopåverkan (personlig kommunikation, Elver Åkesson, 2023-07-04). Om barkmaterialet är väldigt torrt och innehåller en större mängd småpartiklar kan detta orsaka damning. Dammet kan i sin tur verka irriterande i näsa och hals samt för huden, och potentiellt påverka personer som arbetar med materialet (Bartok, 2022).

### Bedömning

Hälsa- och arbetsmiljörisken har bedömts vara lite högre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen är baserad på möjlig risk för irritation av luftvägar och hud, den är dock baserad på ett begränsat informationsunderlag.

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Vid krossning av berg uppstår kvartsdamm som är hälsofarligt och kan leda till lungproblem. Detta är något som hanteras inom ramen för företagets arbetsmiljöarbete, dock är damningen oaktat detta en tillkommande risk i jämförelse med naturgrus (Cox, 2016).

### Bedömning

Hälsa- och arbetsmiljörisken har bedömts vara lite högre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen har utgått ifrån kända risker relaterade till kvartsdamm vid krossning.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Biokol som förvaras i torrt tillstånd kan självantända. Risken för självantändning varierar med biokolets sammansättning och partikelstorlek. Det rapporteras dock att biokol producerat från ligninhaltigt material, vid pyrolystemperatur 450 °C kan självantända redan vid en omgivningstemperatur på 20 °C (Fransson m.fl., 2020).

Damm kan bildas vid transport och hantering av biokol. Inandning av detta damm kan leda till respiratoriska problem, men dammet kan även leda till ökad explosionsrisk. Särskilt skyddsutrustning krävs för hantering av biokolet. Risken för dammexplosion (och självantändning) kan minskas genom att biokolet hålls fuktigt och ev. pelleteras (Fransson m.fl., 2020).

Biokol kan i vissa fall innehålla PAH, dioxiner och furaner, vilka är toxiska och långlivade. Förekomsten av dessa ämnen i biokol är även kopplad till de pyrolysförhållanden som tillämpats. PAHer förekommer främst vid snabb pyrolys och kort uppehållstid, medan PAHer avgår med pyrolysgaserna vid långsam pyrolys och längre uppehållstid (El-Naggar m.fl., 2019).

### Bedömning

Hälso- och arbetsmiljörisken har bedömts vara betydligt högre jämfört med naturgrus (-3). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Bedömningen grundar sig i att biokol är potentiellt toxiskt (beroende på framställning/pyrolysförhållanden), att det bedöms vara mer problematiskt med avseende på damning (jämfört med naturgrus) samt att det finns risk att materialet självantänder. Osäkerheten har bedömts vara liten då det finns många studier utförda, dock bör noteras att inte alla biokol är lika problematiska när det gäller toxicitetsaspekten.

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Bildning av damm vid hantering av däckklipp är lägre än vid hantering av naturgrus. Handskar samt skor med trampskydd bör användas vid hanteringen av materialet med tanke på potentiell risk för skador från däckens armering (personlig kommunikation, Andreas Pettersson, 2024-02-15). Inga direkta negativa hälsoeffekter har påvisats från det gummigranulat som används vid konstgräsplaner (framställt från uttjänta däck) (Wallberg m.fl., 2016).

### Bedömning

Hälso- och arbetsmiljörisken har bedömts vara lite lägre jämfört med naturgrus (1). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Däckklipp har bedömts medföra en något lägre risk än naturgrus eftersom risken för damning är lägre. Bedömningen är baserad på ett begränsat informationsunderlag.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Filtermaterial tillverkat av krossad betong kan potentiellt innehålla rester av bland annat metall, glas och isolering (Linus Brander, 2023-04-20).

### Bedömning

Hälso- och arbetsmiljörisken har bedömts vara lite högre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Rester av exempelvis glas skulle potentiellt kunna skada huden vid hantering av filtermaterial i samband med byggandet av en avloppsanläggning. Bedömningen är baserad på ett begränsat informationsunderlag.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Baserat på projektets kommunikation med experter på området är hälso- och arbetsmiljörisken för hantering av morän likvärdig med risken vid hantering av naturgrus (personlig kommunikation, David Eveborn och Otto Pile, 2024-05-30). Det finns dock en osäkerhet kring vilka processer som behövs för att modifiera morän så att det får rätt vattengenomsläpplighetsegenskaper och därmed om dessa processer ökar arbetsmiljörisken.

### Bedömning

Hälso- och arbetsmiljörisken har bedömts vara likvärdig som för naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Inga tydliga skillnader har kunnat identifieras i jämförelse med naturgrus. Materialets sammansättning är välkänd men det finns en osäkerhet kring vilka processer som krävs för att modifiera morän, vilket medför att osäkerheten bedömts som måttlig.

## 4.5.2 Samhällelig acceptans

**Avgränsning:** Detta kriterium har avsett att bedöma acceptansen hos allmänheten för att använda filtermaterialet i just en markbaserad avloppsanläggning (alltså huvudsakligen utifrån den enskilda fastighetsägarens perspektiv).

### BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

#### Bakgrundsbeskrivning

Ballast från tvättade schaktmassor är ett mineralbaserat material vars karaktäristiska egenskaper är mycket lika naturgrus vad gäller kornstorleksfördelning och kornform (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Ballast från tvättade schaktmassor kan innehålla såväl oorganiska som organiska föroreningar, vilket beskrivs närmare under avsnitt 4.6.4.

#### Bedömning

Samhällelig acceptans har bedömts vara lite sämre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".

#### Motivering

Ballast från tvättade schaktmassor har getts lägre poäng än naturgrus eftersom det kan finnas kännedom hos allmänheten om risk för förorening. På grund av likhet med naturgrus vad gäller grundinnehåll, karaktäristiska egenskaper och utseende bedöms skillnaden i acceptansen för materialet som liten jämfört med naturgrus. Osäkerheten har satts som stor på grund av att ballast från tvättade schaktmassor inte tidigare använts i vattenreningssammanhang.

### BARK

#### Bakgrundsbeskrivning

Bark används i dagsläget i privata trädgårdar för täckning och dekor (Hasselfors Garden, u.å.-a). Det är även ett naturligt, förnybart och cirkulärt material.

#### Bedömning

Samhällelig acceptans har bedömts vara måttligt bättre jämfört med naturgrus (2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

#### Motivering

Bark bedöms ha en hög acceptans och används redan i privata trädgårdar för andra ändamål. Faktiska mätningar av acceptans saknas dock vilket gör att osäkerheten sätts till måttlig.

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Bergkross är liksom naturgrus ett mineralbaserat material och förekommer i markbaserade anläggningar i dagsläget.

### Bedömning

Samhällelig acceptans har bedömts vara likvärdig som för naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

### Motivering

Bergkross förekommer idag i markbaserade anläggningar och är inte förknippat med motstånd hos fastighetsägarna. Faktiska mätningar av acceptans saknas dock vilket gör att osäkerheten sätts till måttlig.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Biokol används i dagsläget i privata trädgårdar som jordförbättrare (Hasselfors Garden, u.å.-b). Det är även ett naturligt, förnybart och cirkulärt material. Biokol används även till växtbäddar i stadsmiljö (Embrén & Alvem, 2018).

### Bedömning

Samhällelig acceptans har bedömts vara lite bättre jämfört med naturgrus (1). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

### Motivering

Biokol förekommer redan idag som jordförbättrare i privata trädgårdar samt i växtbäddar. Biokol bedöms vara mindre känt hos allmänheten än bark. Faktiska mätningar av acceptans saknas dock vilket gör att osäkerheten sätts till måttlig.

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Förbud mot skadliga ämnen i däck som exempelvis HA-oljor har lett till att däck idag inte innehåller lika många hälso- och miljöskadliga ämnen som tidigare (Svensk Däckåtervinning AB, u.å.-b). Det tidigare innehållet i däck påverkar dock allmänhetens inställning negativt (Azemi & Lindblom, 2016). Granulat från uttjänta däck används idag vid konstgräsplaner och vid lekplatser (Kemikalieinspektionen, 2023). Enligt Olshammar m.fl. (2021) kan spridningen av mikroplast från konstgräs med gummigranulat vara stor, vilket även har rapporterats i media (Sveriges Natur, 2017).

## Bedömning

Samhällelig acceptans har bedömts vara betydligt sämre jämfört med naturgrus (-3). Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".

## Motivering

Däckklipp bedöms ha låg acceptans hos allmänheten på grund av tidigare och nuvarande innehåll i däcken. Dataunderlaget bedöms vara litet och berör inte specifikt vad en enskild fastighetsägare anser om att använda däckklipp på sin tomt.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Betongkross består huvudsakligen av mineralbaserat material och bindemedel, vilket ofta utgörs av cement (personlig kommunikation, Linus Brander, 2023-04-20). Betongkross kan innehålla skadliga ämnen som exempelvis sexvärt krom, metaller, PAH och PCB, vilket beskrivs närmare under avsnitt 4.6.4.

## Bedömning

Samhällelig acceptans har bedömts vara lite sämre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".

## Motivering

Betongkross har getts lägre poäng än naturgrus eftersom det kan finnas kännedom hos allmänheten om risk för förorening av betong. På grund av likhet med naturgrus vad gäller grundinnehåll och utseende bedöms skillnaden i acceptansen för materialet som liten. Osäkerheten har satts som stor på grund av att ballast från betongkross inte tidigare använts i vattenreningssammanhang.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Grov morän är liksom naturgrus ett mineralbaserat material och är vanligt förekommande i infiltrationsanläggningar.

## Bedömning

Samhällelig acceptans har bedömts vara likvärdig som för naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Grov morän förekommer idag i markbaserade anläggningar och är inte förknippat med motstånd hos fastighetsägarna. Faktiska mätningar av acceptans saknas dock vilket gör att osäkerheten sätts till måttlig snarare än låg.

### 4.5.3 Intressekonflikt resursanvändning

Definition: Kriteriet har avsett att bedöma om resursen behövs för någon annan användning som är relevant ur ett samhällsperspektiv.

#### BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

##### Bakgrundsbeskrivning

Ballast från tvättade schaktmassor är en cirkulär produkt som inte innebär något ingrepp i naturen. Cirka 40 % av ballast från schaktmassor bedöms gå direkt till deponering (Miliute-Plepiene & Sundqvist, 2023). Ballast från tvättade schaktmassor används idag framför allt till obundna lager i mark som exempelvis dränering under huskroppar, underlag till parkeringsplatser med mera (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19).

##### Bedömning

Risken för intressekonflikt vid resursanvändning har bedömts vara betydligt lägre jämfört med naturgrus (3). Denna bedömning är associerad med "låg osäkerhet".

##### Motivering

Ballast från tvättade schaktmassor har idag ingen annan användning av värde ur ett samhällsperspektiv och inget ingrepp i naturen görs vid utvinning. Minsta osäkerhetsnivån är satt eftersom dataunderlaget bedöms som otvetydigt.

#### BARK

##### Bakgrundsbeskrivning

Bark är en cirkulär produkt som inte innebär något ingrepp i naturen. Under förutsättning att bark uppstår som restprodukt från skog förekommer ingen konflikt med andra samhällsviktiga områden. Däremot kan stor efterfrågan på olika typer av bioprodukter uppstå på grund av omställning till ett biobaserat samhälle. Detta kan medföra konkurrens mellan användning som filtermaterial i markbaserade anläggningar och andra användningsområden.

##### Bedömning

Risken för intressekonflikt vid resursanvändning har bedömts vara måttligt lägre jämfört med naturgrus (2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

##### Motivering

Konkurrens med andra användningsområden som är relevanta ur ett samhällsperspektiv saknas idag men skulle kunna uppstå i samband med omställning till ett biobaserat samhälle, vilket motiverar att bark bedöms vara "måttligt bättre" snarare än "betydligt bättre". Eftersom det saknas säkra dataunderlag på hur efterfrågan av bioprodukter kommer utvecklas i framtiden har osäkerhetsnivån bedömts som "måttlig".

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Krossning av berg påverkar till skillnad från uttag ur naturgrusförekomster inte Sveriges vattenförsörjning. Dock innebär bergtäkten, liksom grustäkten, ett ingrepp i naturen (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2003). I tätortsnära områden kan det även uppstå konflikter mellan markanvändning och etablering av nya bergtäkter (Göransson, 2015).

### Bedömning

Risken för intressekonflikt vid resursanvändning har bedömts vara måttligt lägre jämfört med naturgrus (2). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Berg är jämfört med naturgrus inte en resurs som är viktig för vattenförsörjningen. Att krossa berg är dock ett ingrepp i naturen, och viss intressekonflikt kan uppstå i tätortsnära områden, vilket gör att bergkross har fått poängen 2 i stället för 3. Samstämmigt underlag har gjort av osäkerheten bedöms som liten.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Användning av biokol innebär i sig inte att samhällsviktiga resurser förbrukas. Däremot kan stor efterfrågan på olika typer av bioprodukter uppstå på grund av omställning till biobaserat samhälle. Detta kan medföra konkurrens mellan användningsområdet filtermaterial i markbaserade anläggningar jämfört med andra användningsområden.

### Bedömning

Risken för intressekonflikt vid resursanvändning har bedömts vara måttligt lägre jämfört med naturgrus (2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

### Motivering

Konkurrens med andra användningsområden som är relevanta ur ett samhällsperspektiv saknas idag men skulle kunna uppstå i samband med omställning till ett biobaserat samhälle, vilket motiverar att biokol bedöms vara "måttligt bättre" snarare än "betydligt bättre". Eftersom det saknas säkra dataunderlag på hur efterfrågan av bioprodukter kommer utvecklas i framtiden har osäkerhetsnivån bedömts som "måttlig".



## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Däckklipp är en cirkulär produkt som inte innebär något ingrepp i naturen. Enligt förordning (2023:133) om producentansvar för däck ska minst 95 % av alla uttjänta däck samlas in och tas omhand på ett hälso- och miljömässigt godtagbart sätt. Idag materialåtervinns cirka 25 % av de insamlade däcken medan 65 % används till energiutvinning (Svensk Däckåtervinning AB, u.å.-a). Förutom som filtermaterial till små avloppsanläggningar används däckklipp idag exempelvis till husgrunder, energigrunder, lättfyllnad mot mur, gråvattenrening, gråvattenenergiutvinning och täcke till platt tak (personlig kommunikation, Andreas Pettersson, 2022-08-25).

### Bedömning

Risken för intressekonflikt vid resursanvändning har bedömts vara betydligt lägre jämfört med naturgrus (3). Denna bedömning är associerad med "låg osäkerhet".

### Motivering

Inga intressekonflikter med samhällsviktiga användningsområden uppstår vid användning av däckklipp. Användningen innebär inte heller ett ingrepp i naturen. Minsta osäkerhetsnivån är satt eftersom det finns tillräckligt med underlag för bedömningen.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Krossad betong är en cirkulär produkt som inte innebär något ingrepp i naturen. Krossad betong används idag som fyllnadsmaterial och som betongballast (Svensk Betong, u.å.). Det är dock vanligt att krossad betong deponeras (Skanska, u.å.).

### Bedömning

Risken för intressekonflikt vid resursanvändning har bedömts vara betydligt lägre jämfört med naturgrus (3). Denna bedömning är associerad med "låg osäkerhet".

### Motivering

Inga intressekonflikter med samhällsviktiga användningsområden uppstår vid användning av krossad betong. Användningen innebär inte heller ett ingrepp i naturen. Minsta osäkerhetsnivån är satt eftersom det finns tillräckligt med underlag för bedömningen.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Morän bedöms ha ett väldigt litet värde ur vattenförsörjningssynpunkt utifrån ett samhällsperspektiv (personlig kommunikation, Otto Pile och David Eveborn, 2024-03-05). Uttag av morän leder inte heller till konflikter med andra samhällsviktiga användningsområden. Dock innebär uttag av morän ett ingrepp i naturen.

### Bedömning

Risken för intressekonflikt vid resursanvändning har bedömts vara måttligt lägre jämfört med naturgrus (2). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Inga intressekonflikter med samhällsviktiga användningsområden uppstår vid uttag av morän. Uttag av morän är dock ett ingrepp i naturen vilket gör att morän har fått poängen 2 i stället för 3. Samstämmigt underlag har gjort att osäkerheten bedöms som liten.

## 4.6 Miljömässiga kriterier

I detta avsnitt beskrivs de miljömässiga kriterierna och bedömningen för respektive filtermaterial motiveras med hänsyn till det underlagsmaterial och referenser som använts. I Tabell 15 presenteras en översikt över de bedömningar som gjorts, inklusive vilken grad av osäkerhet som respektive bedömning varit förknippad med.

Tabell 15. Sammanställning över hur filtermaterialen presterar med avseende på de miljömässiga kriterierna samt den osäkerhet respektive bedömning är förknippad med.

Kriterium	Ballast		Bark		Bergkross		Biokol		Däckklipp		Krossad betong		Grov morän	
	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet
<b>Miljömässigt</b>														
Klimatpåverkan vid framställning	▼-1	●	▲0	●	▼-2	●	▲1	●	▼-1	●	▼-1	●	▼-1	●
Klimatpåverkan från transporter	▲0	●	▲2	●	▲0	●	▲2	●	▲2	●	▲0	●	▲0	●
Användning av icke-förnybara reusurser	▲3	●	▲3	●	▲0	●	▲3	●	▲3	●	▲3	●	▲0	●
Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast	▼-2	●	▲0	●	▼-1	●	▼-2	●	▼-3	●	▼-3	●	▲0	●

● Mycket stor osäkerhet ● Stor osäkerhet ● Måttlig osäkerhet ● Liten osäkerhet

### 4.6.1 Klimatpåverkan vid framställning av filtermaterial

Avgränsning: En grov bedömning av filtermaterialets klimatpåverkan i form av utsläpp av växthusgaser har gjorts baserat på vilka aktiviteter, i form av brytning och bearbetning, som krävs för att framställa materialet (i relation till brytning av naturgrus).

Enligt miljöproduktdeklarationer från Litauen, Norge och Danmark har ett medelvärde på 0,57 kg koldioxidkvalenter (CO<sub>2</sub>e)/ton material beräknats för naturgrus, se Tabell 16. Beräkningen har utgått ifrån att naturgrusmaterial med

kornstorlek 0–8 mm eller 0–4 mm bör kunna vara en lämplig sortering för naturgrus som används till filtermaterial, särskilt om fraktionen har betong som användningsområde. Enligt Naturvårdsverkets tidigare allmänna råd är betongsand 0–8 mm oftast en fraktion som uppfyller kraven för markbäddssand (Naturvårdsverket, 2003). Enligt Ulinder m.fl. (2019) är betongballastproduktion ett exempel på produktion som har liknande önskemål på materialet som vid användning till filtermaterial.

Tabell 16. Växthusutsläpp från naturgrus.

Produkt(er)	Totalt växthusutsläpp kg CO <sub>2</sub> e/ton	Land (källa)
Betonggrus 0–8 mm, betongsand 0–4 mm	1,5	Danmark (EPD International, 2022)
Sand 0–4 mm	0,928	Litauen (EPD International, 2021)
Gjutsand 0–8 mm (för betongändamål)	0,231	Norge (EPD-Norge, 2023b)
Tvättad gjutsand 0–8 mm (för betongändamål)	0,145	Norge (EPD-Norge, 2023c)
Gjutgrus 0–8 mm	0,0471	Norge (EPD-Norge, 2022)
Medelvärde	0,57	

Enligt tidigare antagen volymvikt för naturgrus motsvaras 0,57 kg CO<sub>2</sub>e/ton av 0,88 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>.

## BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt miljövarudeklaration från ett företag som bedriver ”långtgående behandling av schaktmassor” ligger växthusutsläppen på 1,83 kg CO<sub>2</sub>e/ton om diesel ersätts med förnybart bränsle (HVO) och eldrift. Enligt volymvikt för ballast från tvättade schaktmassor enligt Tabell 6 motsvaras 1,83 kg CO<sub>2</sub>e/ton av 2,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>.

Tvättning av schaktmassor för produktion av ballast kräver enligt experterfarenhet mindre energi än krossning av berg (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19).

### Bedömning

Klimatpåverkan vid framställning har bedömts vara lite högre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med ”stor osäkerhet”.

### Motivering

Bedömningen motiveras av det högre växthusgasutsläpp som rapporterats jämfört med naturgrus och att energiförbrukningen samtidigt rapporterats vara lägre än för krossning av berg som fått poäng -2. Osäkerheten har satts baserat på att underlaget för bedömningen är begränsat och miljöproduktdeklarationerna inte ger tillräckligt med bakgrund för att kunna avgöra om förutsättningarna är jämförbara för de olika materialen.

## BARK

### Bakgrundsbeskrivning

Inga uppgifter om växthusgasutsläpp har identifierats vid bearbetning av bark som restprodukt från skogsindustrin. Det är inte heller känt vilka processer som skulle behöva ingå för att få fram rätt egenskaper hos bark för användning som filtermaterial i markbaserade anläggningar.

Tallbark som idag används vid vattenreningssammanhang ("Zugol") upphettas så att terpenener avgår, vilket kräver viss insats av energi (personlig kommunikation, Elver Åkesson, 2023-07-04).

### Bedömning

Klimatpåverkan vid framställning har bedömts vara likvärdig med naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "mycket stor osäkerhet".

### Motivering

Bedömningen baseras på forskningsgruppens antagande om att utsläppen för bearbetning av bark som restprodukt från skog är ungefär samma som för brytning och bearbetning av naturgrus. Osäkerheten är stor då inga kvantitativa data identifierats (och exakt process för framställning av lämpligt filtermaterial inte är fastställd). Att barken används som filtermaterial innebär också att den inte används som biobränsle, det vill säga takten för utfasning av fossila bränslen kan potentiellt påverkas.

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt miljöproduktdeklarationer från Norge och Litauen har ett medelvärde på 3,03 kg koldioxidkvivalenter (CO<sub>2</sub>e)/ton material beräknats för naturgrus, se Tabell 17. Sammanställningen har utgått ifrån att bergkrossmaterial med kornstorlek 0–8 mm eller 0–4 mm bör kunna vara en lämplig sortering för bergkross som används till filtermaterial, särskilt om fraktionen har betong som användningsområde. Enligt antagen volymvikt för bergkross, se Tabell 6, motsvaras 3,03 kg CO<sub>2</sub>e/ton av 4,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>.

Tabell 17. Växthusutsläpp från bergkross.

Produkt(er)	Totalt växthusutsläpp kg CO <sub>2</sub> e/ton	Land (källa)
Bergkross 0–8 mm (för betongtillverkning, även 0–4 mm och 0–6 mm)	2,82	Norge (EPD-Norge, 2023a)
Bergkross 0–4 mm	2,66	Norge (EPD-Norge, 2017)
Bergkross 0–5 mm (tvättad)	3,64	Litauen (EPD International, 2021)
Medelvärde	3,03	

## Bedömning

Klimatpåverkan vid framställning har bedömts vara måttligt högre jämfört med naturgrus (-2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen motiveras av att växthusgasutsläppen enligt referenser beräknats vara betydligt högre än för framställning av naturgrus. Siffran är dock förknippad med måttlig osäkerhet eftersom data från bergkross respektive naturgrus delvis kommer från olika studier (och antaganden om exempelvis bränsleslag för arbetsmaskiner kan skilja sig åt mellan de olika studierna). Processerna för framtagande av bergkross skulle också kunna skilja sig åt mellan Sverige och de länder där miljöproduktdeklarationer hittats.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Biokol kan ses som en kolsänka och är enligt IPPC en teknik för att åstadkomma negativa växthusgasemissioner (Fransson m.fl., 2020). Effekten som kolsänka, ur ett hundraårsperspektiv, beräknas ligga kring 2,5 ton koldioxid per ton producerad biokol (Fransson m.fl., 2020). En studie som undersökte livscykelaspekter för produktion av biokol indikerade att kolsänkan som biokolet utgör kompenserar för utsläpp i samband med produktionen och nettoutsläppet blir då negativt eller nära noll (Azzi m.fl., 2022).

## Bedömning

Klimatpåverkan vid framställning har bedömts vara lite lägre jämfört med naturgrus (1). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen motiveras av att biokolet kan anses utgöra en kolsänka som helt eller delvis kompenserar utsläppen i samband med framställning. Osäkerheten har satts som måttlig eftersom ingen direkt jämförelse med naturgrusutvinning har identifierats.

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Produktion av däckklipp för användning som filtermaterial antas kräva klippning och tvättning av uttjänta däck. Växthusgasutsläppen hos däckgranuler (av typ SBR, för användning i exempelvis konstgräsplaner) har i en livscykelstudie kvantifierats till 120 kg CO<sub>2</sub>e/ton SBR, majoriteten av dessa utsläpp kopplades dock till transporter (Johansson, 2018). Dessutom är det sannolikt att tillverkningen av däckgranulat ger upphov till större energiutsläpp än klippning och tvättning av däckklipp som kan användas till markbaserade anläggningar. Projektgruppen har antagit att processen

för klippning och tvättning av däck liknar den process som krävs för bearbetning av ballast från tvättade schaktmassor, vilket i sin tur innebär att utsläppen är något högre än för naturgrus.

Genom att återanvända uttjänta däck kan även utsläpp av växthusgaser vid förbränning undvikas (personlig kommunikation, Andreas Pettersson, 2022-08-25). Givet att uttjänta däck är en existerande avfallsprodukt är det positivt att undvika sådana utsläpp. Dock har det inte betraktats som ett negativt utsläpp eftersom den ursprungliga råvaran för produktion av däck huvudsakligen är fossil.

Transport av material bedöms ha en stor inverkan på slutproduktens klimatpåverkan. När det gäller däckklipp sker transporter inte bara efter färdigställande av materialet, utan även innan framställning krävs en insamling av uttjänta däck. Dessa transporter kan utgöra en betydande del av transportarbetet och därmed ge ett betydande bidrag till växthusgasutsläppen (Johansson, 2018).

## Bedömning

Klimatpåverkan vid framställning har bedömts vara lite högre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med ”mycket stor osäkerhet”.

## Motivering

Bedömningen motiveras av att likheter med framställning av ballast från tvättade schaktmassor antagits finnas, och att det samtidigt krävs transportarbete för att samla in däck innan produktion av däckklipp. Osäkerheten är stor då bedömningen baseras på i huvudsak teoretiska resonemang.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

En tidigare studie har antagit att energiåtgången vid krossning av betong liknar den vid krossning av berg (Kadawo, 2018).

Enligt miljöproduktdeklaration från Nya Zeeland är utsläpp av växthusgaser 0,827 kg CO<sub>2</sub>e/ton krossad återvunnen betong (EPD Australasia, 2022). Om volymvikten för betongkross antas vara 0,575 ton/m<sup>3</sup>, enligt medelvärde med utgångspunkt från Tabell 6, motsvaras 0,827 kg CO<sub>2</sub>e/ton av cirka 1,3 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>.

En kinesisk studie fann att ersättning av jungfruligt material med krossad betong, vid efterpolering av avloppsvatten från en större avloppsreningsanläggning, inte påverkade växthusgasutsläppen hos anläggningen (byggnation och drift). Dock förknippades växthusgasutsläppen i detta fall huvudsakligen med utsläpp från konsumtion av bränsle vid anläggandet av avloppsanläggningen (Cao m.fl., 2021). Växthusgasutsläppen från framställning av själva betongkrossen specificerades inte.

Krossad betong kan betraktas som en kolsänka på grund av att koldioxid långsamt binds in i betongen (genom tidigare nämnd karbonatiseringsprocess). Ju mindre storlek på partiklarna och ju mindre fukt desto snabbare är inbindningen (personlig kommunikation Katarina Malaga, 2024-04-26). Teoretiskt sett kan cirka två tredjedelar av de utsläpp som sker vid betongtillverkning återabsorberas av betongen medan resterande utsläpp kommer ifrån uppvärmning av cementugnar (Selander m.fl., 2022). Cirka 7 % av de totala utsläppen vid betongtillverkningen tas upp vid rivning och krossning av betong och ytterligare 25–50 % kan tas upp om

rivningsmassorna hanteras på ett sätt som ger ökad exponering vid gynnsam luftfuktighet (Selander m.fl., 2022). Fukt uppges försämra inbindningen av koldioxid i betong. På grund av brist på data för aktuell tillämpning har effekten av karbonatisering bedömts som försumbar för användning av betongkross till markbaserade anläggningar.

## Bedömning

Klimatpåverkan vid framställning har bedömts vara lite högre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med ”stor osäkerhet”.

## Motivering

Bedömningen har gjorts utifrån att data på utsläpp visar något högre utsläpp än för naturgrus samt baserat på att krossning antas kräva viss energiinsats (och associerade växthusgasutsläpp). Effekten av karbonatisering har bedömts vara försumbar i sammanhanget på grund av brist på data. Osäkerheten är stor då endast en källa med kvantitativa data finns.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt Miliute-Plepiene & Sundqvist (2023) kan utvinning av morän bedömas förbruka 1,2 kg CO<sub>2</sub>e/ton. Enligt miljövarudeklaration för produktion av material 0–8 mm för betongändamål från grusig morän hos en täkt i Norge ligger utsläppen på 1,04 kg CO<sub>2</sub>e/ton (EDP-Norge, 2024). Det ger ett medelvärde på 1,12 kg CO<sub>2</sub>e/ton vilket med hjälp beräknas motsvara cirka 2,1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> om morän antas ha en volymvikt på 1,85 kg/ m<sup>3</sup>.

Utöver brytning kommer moränen sannolikt att behöva sorteras, blandas, och möjligen även krossas (större block), vilket gör att energiförbrukningen (och växthusgasutsläppen) kan antas vara något högre jämfört med naturgrus (personlig kommunikation, David Eveborn och Otto Pile, 2024-03-05).

## Bedömning

Klimatpåverkan vid framställning har bedömts vara lite högre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med ”stor osäkerhet”.

## Motivering

Bedömningen motiveras med att data på koldioxidutsläpp i medeltal ligger något högre än för naturgrus samt att ytterligare bearbetning troligen kommer att krävas jämfört med naturgrus. Stor osäkerhet har antagits eftersom det enligt projektets expertgrupp är osäkert i vilken utsträckning det går att hitta moräner som har acceptabla förutsättningar att användas utan bearbetning.

## 4.6.2 Klimatpåverkan från transporter

**Avgränsning:** Detta kriterium beaktar transport av filtermaterialet efter det att eventuell bearbetning har slutförts. Bedömningen har baserats på volymvikten hos filtermaterialet, utifrån antagandet att lägre volymvikt ger lägre bränsleförbrukning och därigenom lägre klimatpåverkan från transporter. Det nuvarande antalet produktionsplatser och dessas lokalisering har inte beaktats (då detta kan påverkas av framtida efterfrågan).

För uppgift om respektive materials volymvikt, se Tabell 6.

Klimatpåverkan från transporter kan, enligt tidigare studier, ofta överstiga klimatpåverkan från framställningen av ballastliknande produkter (Miliute-Plepiene & Sundqvist, 2023).

### BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

#### Bakgrundsbeskrivning

Den sortering av ballast från tvättade schaktmassor som studeras inom projektet har liknande egenskaper som naturgrus vad gäller kornstorleksfördelning och kornform (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Volymvikten antas därför vara likvärdig volymvikten hos naturgrus.

#### Bedömning

Klimatpåverkan från transporter har bedömts vara likvärdig som hos naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

#### Motivering

Trots att materialets typiska vikt inte kvantifierats bedöms osäkerheten som liten då materialets karaktär är känd.

### BARK

#### Bakgrundsbeskrivning

Bark är lättare än naturgrus (per m<sup>3</sup>). Litteraturdata (Tabell 6) indikerar dock en viss variation i volymvikt.

#### Bedömning

Klimatpåverkan från transporter har bedömts som måttligt lägre än hos naturgrus (2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

#### Motivering

Materialet är lättare än naturgrus. Viss variation finns dock i typisk volymvikt vilket ökar osäkerheten.



## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt kvantitativa data för volymvikt är volymvikten hos bergkross likvärdig med volymvikten hos naturgrus, se Tabell 6.

### Bedömning

Klimatpåverkan från transporter har bedömts vara likvärdig som hos naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialets typiska vikt är lik den typiska vikten för naturgrus.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Biokol kan vara betydligt lättare jämfört med naturgrus (per m<sup>3</sup>). Litteraturdata (Tabell 6) indikerar dock en viss variation i volymvikt.

### Bedömning

Klimatpåverkan från transporter har bedömts som måttligt lägre än hos naturgrus (2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

### Motivering

Materialet är lättare än naturgrus. Typisk volymvikt är dock varierande.

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Däckklipp är lättare jämfört med naturgrus (per m<sup>3</sup>) (Tabell 6).

### Bedömning

Klimatpåverkan från transporter har bedömts måttligt lägre än hos naturgrus (2). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialet är lättare än naturgrus och typisk volymvikt är väl definierad.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt kvantitativa data för volymvikt är volymvikten hos bergkross att likvärdig med volymvikten hos naturgrus, se Tabell 6.

### Bedömning

Klimatpåverkan från transporter har bedömts vara likvärdig som hos naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialets typiska vikt är lik den typiska vikten för naturgrus.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt kvantitativa data för volymvikt är volymvikten hos morän att något högre, men i stort likvärdig med naturgrus, se Tabell 6. Moränen behöver sannolikt sorteras, blandas och eventuellt bearbetas på annat sätt för att få rätt egenskaper som filtermaterial (personlig kommunikation, David Eveborn och Otto Pile, 2024-03-05). Bearbetningen bedöms kunna leda till att volymvikten för morän blir än mer likvärdig med naturgrus.

### Bedömning

Klimatpåverkan från transporter har bedömts vara likvärdig som hos naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialets volymvikt är likvärdig men något större än volymvikten för naturgrus. Skillnaden bedöms dock vara försumbar, särskilt med tanke på att bearbetning av morän förväntas få volymvikten att närma sig naturgrus än mer. Osäkerheten bedöms som liten då materialets karaktär är känd.

### 4.6.3 Användning av icke förnybara resurser

Avgränsning: Kriteriet har avsett att bedöma hur mycket icke förnybara resurser som behövs för att ett framställa respektive filtermaterial. Om resursen är återvunnen (före användning som filtermaterial) blir bedömningen fördelaktig jämfört med naturgrus eftersom inga jungfruliga resurser då behöver användas. Även jungfruliga resurser av biologiskt ursprung värderas som fördelaktiga jämfört med naturgrus då de anses förnybara (givet att uttaget inte överdrivs).

För samtliga material har bedömningen baserats på ett teoretiskt resonemang (och inga referenser anges därför i detta avsnitt), osäkerheten har dock bedömts som liten eftersom bedömningen baseras på materialens inneboende egenskaper.

## BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

### Bakgrundsbeskrivning

Ballast från tvättade schaktmassor är en återvunnen resurs.

### Bedömning

Användningen av icke förnybara resurser har bedömts vara betydligt mindre än vid användning av naturgrus (3). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialet har fått högsta poäng eftersom det är återvunnet. Eftersom det ligger i definitionen av materialet att det är återvunnet är osäkerheten låg.

## BARK

### Bakgrundsbeskrivning

Materialet bark antas utgöra en restprodukt från skogsindustrin. Detta antagande gör att materialet räknas som ett återvunnet material. Materialet är även att betrakta som förnybart.

### Bedömning

Användningen av icke förnybara resurser har bedömts vara betydligt mindre än vid användning av naturgrus (3). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialet har fått högsta poäng eftersom det är återvunnet. Eftersom det ligger i definitionen av materialet att det är återvunnet är osäkerheten låg.

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Bergkross är liksom naturgrus en jungfrulig resurs som består av mineral.

### Bedömning

Användningen av icke förnybara resurser har bedömts likvärdig som vid användning av naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Bergkross bedöms vara lika (icke-)förnybart som naturgrus eftersom båda materialen har är jungfruliga resurser som består av mineral. Eftersom detta ligger i definitionen av materialet är osäkerheten låg.

## BIOKOL

Biokol har tillverkats av olika ursprungsmaterial. Ursprungsmaterialet kan dock antas vara återvunnet (producerat från olika typer av biobaserade avfall) eller komma från en källa med hög förnybarhet (som exempelvis skogsråvara).

### Bedömning

Användningen av icke förnybara resurser har bedömts vara betydligt mindre än vid användning av naturgrus (3). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialet har fått högsta poäng eftersom dess ursprungsmaterial sannolikt är återvunnet eller kommer från en förnybar källa. Osäkerheten bedöms vara låg eftersom det inte är vanligt att jungfruliga material med låg förnybarhet används till som ursprungsmaterial.

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Däckklipp är en återvunnen resurs.

### Bedömning

Användningen av icke förnybara resurser har bedömts vara betydligt mindre än vid användning av naturgrus (3). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialet har fått högsta poäng eftersom det är återvunnet. Eftersom det ligger i definitionen av materialet att det är återvunnet är osäkerheten låg.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Krossad betong är en återvunnen resurs.

### Bedömning

Användningen av icke förnybara resurser har bedömts vara betydligt mindre än vid användning av naturgrus (3). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Materialet har fått högsta poäng eftersom det är återvunnet. Eftersom det ligger i definitionen av materialet att det är återvunnet är osäkerheten låg.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Morän är liksom naturgrus en jungfrulig resurs som består av mineral.

### Bedömning

Användningen av icke förnybara resurser har bedömts likvärdig som vid användning av naturgrus (0). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

### Motivering

Morän bedöms vara lika (icke-)förnybart som naturgrus eftersom båda materialen är jungfruliga resurser som består av mineral. Eftersom detta ligger i definitionen av materialet är osäkerheten låg.

## 4.6.4 Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast

**Avgränsning:** Detta kriterium har avsett att bedöma risken att filtermaterialen avger toxiska ämnen (organiska miljögifter och ett flertal metaller) samt mikroplaster vid kontakt med vatten.

## BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

### Bakgrundsbeskrivning

Risken för att ballast från tvättade schaktmassor är förorenat beror på var materialet kommer ifrån. Ballastmaterial som används för fyllnadsändamål och för dränering omfattas av standarden SS-EN 132 42, och ska CE-märkas enligt lag. Detta gäller både ballast framställd från "naturliga material" och återvunnen ballast. Kravet på CE-märkning efterlevs dock inte alltid av producenter och köpare (Afzelius, 2020). De krav som befintlig standard ställer på materialet utifrån toxicitet är dessutom otydliga, då farliga substanser enligt standard ska hanteras i enlighet med regelverk vid den plats där materialet ska användas (enligt SS-EN 933-11). Det saknas idag etablerade metoder för hur sådan utvärdering ska ske och mätdata med avseende på toxicitet kan därför inte deklarerar inom ramen för CE-märkningen (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2024-01-18). Utökning av standarden är dock under arbete.

Vid återvinning av schaktmassor för anläggningsarbeten bedöms materialets toxicitet ofta utifrån Naturvårdsverkets nivåer för "mindre än ringa risk". Om halterna överskrider dessa nivåer (eller riktvärden) bör återvinningen tillståndsprövas eller anmälas (Naturvårdsverket, 2023a). Studier har visat att vätsiktade schaktmassor kan innehålla PAH, koppar, bly och oljor i halter som överstiger nivåerna för "mindre än ringa risk", särskilt om massorna hämtats från tidigare industrimark (Afzelius, 2020).

### Bedömning

Risken för läckage har bedömts vara måttligt högre jämfört med naturgrus (-2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Heterogenitet och faktiskt uppmätta föroreningar motiverar att risken för läckage (av organiska miljögifter och metaller) bedömts som måttligt högre jämfört med naturgrus. Ingen uppenbar risk för läckage av mikroplaster har identifierats. Osäkerheten baseras på att risken potentiellt kan minskas genom begränsning av vilka schaktmassor som används, baserat på markanvändning vid den plats de hämtats (ev. industripåverkan) samt utökad provtagning av materialet (Afzelius, 2020).

## BARK

### Bakgrundsbeskrivning

Bark kan ha många gånger högre metallhalt om trädet växt i ett förorenat område, till exempel nära industrier (Blom & Skogsfjord, 2006). Vid försök med bark som filtermaterial för avskiljning av läkemedel från (förbehandlat) avloppsvatten noterades att barken avgav ämnen som gjorde att vattnet blev gult och doftade av tall (Krona, 2017). Ett organiskt ämne som identifierats som problematiskt är de terpenener som finns naturligt i trä, dessa avgår dock huvudsakligen vid torkning av materialet (Niklasson, 2015). Enligt en återförsäljare av bark för filterändamål finns inga kända hälsorisker med deras produkt (personlig kommunikation, Elver Åkesson, 2023-07-04).

### Bedömning

Skillnaden i risk för läckage jämfört med naturgrus har bedömts vara obefintlig (0). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

## Motivering

Trots potentiell risk för metallackumulering i bark (enligt ovan), så har risken för läckage bedömts som låg. Barkmaterial används redan idag vid tillämpningar där de genomströmmas av vatten, bland annat för marktäckning vid odling (Pásztory m.fl., 2016).

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Eftersom nya ytor frigörs i samband med krossning av berg möjliggörs vittring av materialet, vilken medför potentiell risk för läckage av metaller om sådana finns i ursprungsmaterialet (personlig kommunikation, Jon-Petter Gustafsson, 2024-03-04). Sulfidmineraller i bergarten bidrar till vittringsbenägenheten (SGU, 2022), medan hälsoskadliga metaller som kan förekomma är bl.a. arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, och zink (Elmefors m.fl., 2016). De flesta av dessa metaller är dock relativt ovanliga eller endast lokalt förekommande. Täktägare gallrar som regel den lokala lämpligheten hos material genom petrografisk analys (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Vid praktiska försök med bergkrossmaterial som filtermaterial (begränsat till fyra olika material) för dricksvattenbehandling identifierades ingen urlakning av metaller (Renman & Johansson, 2005).

Rester av sprängämnen kan förekomma, och ge tillskott av kväve i materialet (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19).

## Bedömning

Risken för läckage har bedömts vara lite högre jämfört med naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

## Motivering

Riskbedömningen motiveras av den potentiellt högre risken för läckage av metaller, medan ingen risk för läckage av organiska miljögifter eller mikroplaster föreligger. Notera dock att risken bör kunna minimeras genom välgrundat val av utgångsmaterial. Osäkerheten har bedömts som liten då det finns många historiska mätningar av berggrundens sammansättning, och då krossmaterialets vittringsbenägenhet är känd.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Risken för föroreningar i biokol beror på vilket råmaterial som använts vid framställningen av biokolet samt förhållandena vid pyrolys av materialet (temperatur och tid). Då pyrolys sker vid höga temperaturer är biokolet som regel renare (med avseende på organiska miljögifter och vissa metaller) än det råmaterial som det har producerats av (Fransson m.fl., 2020). PAHer (från bl.a. omvandling av tjära vid trä som råmaterial) kan förekomma om biokolet framställts vid lägre temperatur och med kortare uppehållstid (Fransson m.fl., 2020). Samtidigt som biokol kan innehålla metaller har det också visats ha potential att minska mobiliteten hos metaller så som Cu och Pb i jord (Gustafsson m.fl., 2020; Kuppusamy m.fl., 2016).

Det frivilliga certifieringssystemet European Biochar Certificate (EBC) kan tillämpas för att påvisa frånvaro av vissa toxiska ämnen så som PAHer, PCB, och metaller (EBC, 2024). Certifiering är idag ett krav i Schweiz, vid användning av biokol inom jordbruk.

## Bedömning

Risken för läckage har bedömts vara måttligt högre jämfört med naturgrus (-2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Risken för läckage av näringsämnen, metaller samt PAHer har bedömts som måttligt högre jämfört med naturgrus. För många typer av biokol finns gott om vetenskapliga studier som undersökt dess tillämpning som filter för olika typer av vattenrening. Dock är osäkerheten större när biokol här betraktas som ett uniformt material, då variationen mellan olika biokolsslag i praktiken är stor. Ett bidrag till osäkerheten är också att det i dagsläget inte finns några etablerade krav på biokolets sammansättning för tillämpning som filtermaterial (utöver frivilliga certifieringssystem som i första hand är utvecklade för jordbruksanvändning av biokol).

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Däck kan innehålla PAHer, vilka bl.a. kopplats till ökad cancerfrekvens. Tillsats av vissa oljor som innehåller PAH är förbjudet inom EU sedan 2010 (ECHA, 2019). Användningen av uttjänta däck som granulat i konstgräsplaner och vid lekplatser har undersökts, och ingen känd hälsorisk har associerats med vistelse i dessa miljöer. Tillåten mängd av åtta specifika PAHer i sådana granulat är begränsad genom EU-lagstiftning (Kemikalieinspektionen, 2023). Tillåten koncentration av PAHer är, med hänsyn till REACH, mer strikt när det gäller användning i konstgräsplaner än vid användning för andra ändamål inom landskapsarkitektur (ECHA, 2023). Utöver PAHer rapporteras miljöeffekterna vara oklara för vissa andra potentiella additiv vid däcktillverkning, så som bensotiazoler (acceleratorer) och benzendiaminer (åldersskydd) (Wallberg m.fl., 2016). En amerikansk rapport som undersökte däckklipp för filtrering av avloppsvatten uppmätte bl.a. aniliner och bensotiazoler i utgående vatten från filtren (Karanfil, 2011). Läckaget av organiska ämnen var vid dessa försök som störst under de första 12 timmarna av kontakt med avloppsvatten, men upphörde inte under den månad som försöken pågick.

Metaller som återfinns i däckens armering kan tänkas vara en möjlig källa till läckage. Halterna av bl.a. zink i utloppet från ett reningsfilter uppbyggt av däckklipp (som renade grävatten) var låga (Hu m.fl., 2014).

En annan risk som identifierats är potentiellt läckage av mikroplast. Inga mätningar vid avloppsanläggningar har påträffats. En utredning av användning av granulat producerat från uttjänta däck vid konstgräsplaner indikerade dock att ”stora mängder granulat försvinner” (och vart granulatet tog vägen kunde inte bestämmas) (Wallberg m.fl., 2016).

### Bedömning

Risken för läckage har bedömts vara betydligt högre jämfört med naturgrus (–3). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

### Motivering

Att risken bedömts som betydligt högre jämfört med naturgrus grundar sig i att det finns en potentiell risk med avseende på läckage av både organiska miljögifter och mikroplast. Risken för läckage av zink bedöms dock som liten. För PAHer finns som nämns EU-regleringar på plats, men då användning av däckklipp i markbaserade avloppsanläggningar i dagsläget inte är en etablerad praxis är regelverket dock något oklart med hänsyn till denna tillämpning och bedömningen har därför kopplats till ”måttlig” osäkerhet. Riskklassningen är också kopplad till möjlig användning av äldre däck med högre PAH-halter, samt potentiella miljöeffekter av andra additiv som fortfarande används i däck. Risken för läckage av mikroplast bör vara mindre från däckklipp än från de granulat som används exempelvis i konstgräsplaner, dock saknas underlag för att utesluta att även däckklipp avger mikroplast.



## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

I betong, särskilt äldre byggnader från 90-tal och tidigare, förekommer sexvärt krom, Cr(VI) som uppstått vid betongframställningen (Helsing, u.å.). Vid krossning av restbetong finns risk att Cr(VI), som är cancerframkallande, frigörs (personlig kommunikation, Linus Brander, 2023-04-20). Metaller kan förekomma i den kalksten, lera och sand som används som råvara för betongframställningen. Kontaminering med exempelvis oljor eller fetter kan också ha skett under betongens livstid (i byggnader), och betongen kan därför innehålla till exempel PAH och PCB. Rivningsbetong kan även innehålla rester av annat rivningsavfall så som tegel, porslin och armeringsrester (personlig kommunikation, Linus Brander, 2023-04-20).

I övrigt kan alkaliska ämnen lösas ut från betongens bindemedel (vanligen portlandcement) (personlig kommunikation, Linus Brander, 2023-04-20), och därigenom potentiellt orsaka högt pH i renat vatten.

### Bedömning

Risken för läckage har bedömts vara betydligt högre jämfört med naturgrus (-3). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

### Motivering

Riskbedömningen motiveras utifrån den komplexitet som finns hos materialet, framför allt gällande rivningsbetong och eventuell inblandning av annat rivningsavfall. Även risken för läckage av Cr(VI) har vägts in. Osäkerheten har bedömts som måttlig då bedömningen huvudsakligen bygger på underlag från en enskild expert. Risken beror också i hög grad på vilken betong som väljs, och i vilken mån det är möjligt att sortera olika betongkvaliteter. Rivningsbetong bedöms generellt ha en mer komplex sammansättning jämfört med restbetong.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Sammansättningen hos morän varierar kraftigt. Underlag gällande moränens sammansättning vid ett stort antal lokala provplatser finns dokumenterat hos SGU. SGU provtar moränjordar återkommande, med en provtäthet på cirka 1 prov per 7–6 km<sup>2</sup> (SGU, 2023b). Ett stort antal metaller ingår i denna dokumentation. Ett examensarbete utfört i Skellefteå och Piteå kommuner år 2018 indikerade att arsenik förekommer i naturliga moränjordar i Sverige i halter som överskrider NVs riktlinjer för känslig markanvändning. Förekomsten var dock inte högre i morän än i andra jordarter (Åbrink, 2018). Det förekommer även att halterna av bly och kadmium i moränjordar överstiger NVs riktlinjer för känslig markanvändning (Åbrink, 2018). Risken för läckage av metaller bedöms generellt vara likvärdig med risken för läckage av metaller från naturgrus, det vill säga beror på den lokala geologin (personlig kommunikation, David Eveborn och Otto Pile, 2024-03-05).

## Bedömning

Skilnaden i risk för läckage jämfört med naturgrus har bedömts vara obefintlig (0). Denna bedömning är associerad med ”liten osäkerhet”.

## Motivering

En risk för läckage av metaller har identifierats, denna risk har dock baserat på expertutlåtanden bedömts vara likvärdig med risken vid användning av naturgrus. Ingen risk för läckage av organiska miljögifter eller mikroplast föreligger.

## 4.7 Ekonomiska kriterier

I detta avsnitt beskrivs de ekonomiska kriterierna och bedömningen för respektive filtermaterial motiveras med hänsyn till det underlagsmaterial och referenser som använts. I Tabell 18 presenteras en översikt över de bedömningar som gjorts, inklusive vilken grad av osäkerhet som respektive bedömning varit förknippad med.

Tabell 18. Sammanställning över hur filtermaterialen presterar med avseende på de ekonomiska kriterierna samt den osäkerhet respektive bedömning är förknippad med.

Kriterium	Ballast		Bark		Bergkross		Biokol		Däckklipp		Krossad betong		Grovmorän	
	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet
<b>Ekonomiskt</b>														
Materialets kostnad	0		-1		0		-2		0		0		0	
Produktens mognadsgrad	-2		-3		-1		-3		-2		-3		-1	
Tillgängliga volymer	-2		2		2		-3		-1		1		2	

● Mycket stor osäkerhet ● Stor osäkerhet ● Måttlig osäkerhet ● Liten osäkerhet

### 4.7.1 Materialets kostnad

Avgränsning: Materialets kostnad har uppskattats per m<sup>3</sup>. Kostnaden har därefter bedömts relativt naturgrus. Vid poängsättningen har totalkostnaden för att anlägga en markbaserad avloppsanläggning ej beaktats. Kostnaden har inte relaterats till livslängden.

Priset för naturgrus ligger runt 180–280 kr/ton, se Tabell 19. Med en volymvikt enligt medelvärdet i Tabell 6 innebär detta ett pris på 290–430 kr/ m<sup>3</sup>.

Tabell 19. Pris på naturgrus som bedöms vara kunna vara lämpligt till filtermaterialsändamål (inklusive naturgrusskatt).

Produkt(er)	Pris (kr/ton)	Källa
Betongsand 0–4 mm	279	(AB Nybrogrus, u.å.)
Betonggrus 0–8 mm	187	(Heidelberg Materials, 2023)
Medelvärde	233	

## BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

### Bakgrundsbeskrivning

Kostnaden för ballast från tvättade schaktmassor ligger på 80–155 kr/ton, se Tabell 20. Räknat på en volymvikt enligt Tabell 6 motsvarar detta en kostnad på 124–240 kr/m<sup>3</sup>. Enligt Afzelius (2020) kan det dock vara svårt att styra kostnaden på grund av varierande sammansättning hos materialet.

Tabell 20. Kostnad för ballast från tvättade schaktmassor.

Produkt(er)	Pris (kr/ton)	Källa
Tvättade schaktmassor 0–4 mm	80–100	(Personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2024-02-28)
Tvättat betonggrus	155	(D.A. Mattsson, 2024)

Kornstorleksfördelningen hos ballast från tvättade schaktmassor 0–4 mm som tas fram hos PEAB överensstämmer till stor del med rekommendationer för naturgrus vid användning i markbaserade avloppsanläggningar (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19), vilket innebär att materialet potentiellt skulle kunna tillämpas som filtermaterial utan föregående justering. Dock är bedömningen att det finns risk för läckage av skadliga ämnen (se avsnitt 4.6.4 ”Läckage av skadliga ämnen”), vilket gör att ett system för kvalitetskontroll skulle behövas. Denna kvalitetskontroll förväntas bidra med extra kostnader för materialet.

### Bedömning

Skillnaden i kostnad jämfört med naturgrus har bedömts vara obefintlig (0). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

### Motivering

Kostnaden för ballast från tvättade schaktmassor ligger generellt något under kostnaden för naturgrus. Men för att materialet ska fungera för filterändamål krävs kvalitetssäkring, till exempel för att minimera risk för läckage av skadliga ämnen. Kvalitetssäkring medför sannolikt ökad kostnad av materialet och bedömningen är att kostnaden då blir relativt lik den för naturgrus. På grund av att det inte finns underlag kring kostnader för kvalitetssäkring har osäkerheten bedömts vara måttlig.

## BARK

### Bakgrundsbeskrivning

Olika typer av bark kan vara förknippade med olika stora kostnader. Medan täckbark 10–40 mm som säljs hos Heidelberg Materials Ballast Sverige har en kostnad som liknar kostnaden för naturgrus, har produkten Zugol<sup>4</sup> en kostnad som ligger tio gånger högre än naturgrus, Tabell 21. Bark lyfts som ett ekonomiskt alternativ till biokol för vattenmättade filter som används till vattenreningsändamål (Krona,

<sup>4</sup> Zugol består av furubark som har upphettats så att terpenerna avgår varpå barken mals ner (personlig kommunikation, Elver Åkesson, 2023-07-04).

2017). Det saknas produktspecifikation för användning av bark i markbaserade anläggningar. Därmed är det okänt vilken prisklass av material som är aktuell för ändamålet.

**Tabell 21. Kostnad för bark**

Produkt(er)	Pris (kr/m <sup>3</sup> )	Källa
Zugol	4 375	(Drivesy, u.å.)
Täckbark 10–40 mm	380–410	(Heidelberg Materials, 2023)

## Bedömning

Kostnad bedömts vara lite högre (-1) än hos naturgrus. Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".

## Motivering

Prisuppgifterna för bark varierar mycket beroende på vilken sorts bark som studeras, vilket är anledningen till att osäkerheten klassats som stor. Kostnaden för bark varierar mellan ungefär samma kostnad som naturgrus till cirka tio gånger priset för naturgrus. Det verkar vara de dyrare materialen som testats i vattenrenings-sammanhang och därför har bark fått något lägre poäng än naturgrus.

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Bergkross behöver sannolikt ofta modifieras för att få rätt vattengenomsläpplighets-egenskaper. Kostnaden ligger på 120–155 kr/ton motsvarande 180–220 kr/ton för bergkross som modifierats på ett sätt som bedöms ge förutsättningar att fungera som filtermaterial i markbaserade anläggningar, se Tabell 22. Det finns dock risk att modifiering av material kan medföra ännu högre kostnader för vissa täkter.

**Tabell 22. Exempel på uppskattad kostnad för bergkross som modifierats på ett sätt som bedöms ge förutsättningar att fungera som filtermaterial i markbaserade anläggningar.**

Produkt(er)	Pris (kr/ton)	Källa
Tvättad bergkross	120–140 (motsv. 180–220 kr/m <sup>3</sup> med volymvikt enligt Tabell 6)	(personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19)
Kubiserad tvättad bergkross 0–4 mm	155 (motsv. 220 kr/m <sup>3</sup> )	(personlig kommunikation, Thomas Björklund, 2023-01-16)

## Bedömning

Skillnaden i kostnad jämfört med naturgrus har bedömts vara obefintlig (0). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

## Motivering

Bergkross som justerats för att passa bättre till filterändamål är generellt något billigare än naturgrus. Men eftersom den generella skillnaden inte är så stor och eftersom pris på naturgrus varierar i landet har kostnaden på bergkross bedömts ligga i samma kategori som kostnaden för naturgrus. Osäkerheten har bedömts som liten på grund av bra underlag för vad ett justerat bergkross skulle kunna kosta.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Priset på biokol varierar mycket beroende på ursprung, substrat, kvalitet, användningsområde och om produkten är certifierad, se Tabell 23. Om vi antar att spannet på volymvikten hos biokol varierar mellan 0,08 ton/m<sup>3</sup> och 0,47 ton/m<sup>3</sup>, se Tabell 6, så innebär det att priset på biokol kan variera mellan 250 kr/m<sup>3</sup> till 44 161 kr/m<sup>3</sup>. Det saknas produktspecifikation för användning av biokol i markbaserade anläggningar. Därmed är det okänt vilken prisklass av material som är aktuell för ändamålet.

Tabell 23. Kostnad för biokol.

Produkt(er)	Pris (kr/ton)	Källa
Biokol till anläggningsjordar	4 500–6 000	(Söderqvist m.fl., 2021)
Aktivt kol producerat från kokosnöt	3 132–93 960 <sup>5</sup>	(Alhashimi & Aktas, 2016)

## Bedömning

Kostnad bedömts vara måttligt högre (-2) än hos naturgrus. Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".

## Motivering

Prisuppgifterna för biokol varierar mycket beroende på vilken sorts biokol som studeras, vilket är anledningen till att osäkerheten klassats som stor. Kostnaden för biokol verkar kunna ligga på allt emellan ungefär samma kostnad som naturgrus till cirka hundra gånger priset för naturgrus. Troligtvis skulle den produkt som passar i filtersammanhang varken utgöras av den billigaste eller den dyraste produkten som har studerats. På grund av att en källa lyfter att bark är billigare än biokol har en lägre poäng satts på biokol (se bakgrundsbeskrivning för bark).

<sup>5</sup> 0,3–9 USD/kg. Beräknat från växelkurs på 10,44 SEK/USD.

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

En relevant prisuppgift på 460 kr/ton<sup>6</sup> har hittats för däckklipp (Yang m.fl., 2018). Med antagen volymvikt på 0,355 ton/m<sup>3</sup> motsvarar detta cirka 160 kr/m<sup>3</sup>.

### Bedömning

Skillnaden i kostnad jämfört med naturgrus har bedömts vara obefintlig (0). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

### Motivering

Enligt den enda relevanta källa som hittats är kostnaden lägre än för naturgrus. Den aktuella rapporten är dock från 2018 och kostnader kan också tillkomma om nya krav ställs på materialet, vilket gör att kostnaden bedömts vara likvärdig med naturgrus. Eftersom enbart en relevant källa hittats bedöms osäkerheten som måttlig.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Kostnaden för krossad betong ligger på 80–103 kr/ton, se Tabell 24. Räknat på en volymvikt enligt Tabell 6 motsvarar detta en kostnad på 120–170 kr/m<sup>3</sup>. Kravspecifikation saknas för krossad betong. Krossad betong har ofta en högre halt material med kornstorlek mindre än 0,063 mm än naturgrus (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Detta gör att det sannolikt kommer krävas modifiering av materialet för att det ska ha rätt egenskaper som filtermaterial i markbaserad rening. Krossad betong kan också medföra risk för läckage av skadliga ämnen (se avsnitt 4.6.4 ”Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast”), vilket gör att ett system för kvalitetskontroll skulle behövas. Modifiering och kvalitetskontroll förväntas bidra med extra kostnader för materialet.

Tabell 24. Kostnad för krossad betong.

Produkt(er)	Pris (kr/ton)	Källa
Krossad och sorterad betong 0–4 mm	80–100	(Personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2024-02-28)
Betongkross 0–32 mm	103	(AB Nybrogrus, u.å.)

### Bedömning

Skillnaden i kostnad jämfört med naturgrus har bedömts vara obefintlig (0). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

<sup>6</sup> 0,04 Euro/kg. Beräknat från växelkurs på 11,5 SEK/Euro.

## Motivering

Kostnaden för krossad betong ligger generellt under kostnaden för naturgrus. För att materialet ska fungera för filterändamål krävs dock modifiering och kvalitets-säkring, till exempel för att minimera de risker för läckage av skadliga ämnen som materialet kan innebära. Kvalitetssäkring och modifiering medför sannolikt ökade kostnader för materialet och bedömningen är att kostnaden då blir relativt lik den för naturgrus. På grund av att det inte finns exakta uppgifter kring vad kostnader för kvalitetssäkring har osäkerheten bedömts vara måttlig.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Kostnaden för morän ligger på 80–103 kr/ton, se Tabell 25. Räknat på en volymvikt enligt Tabell 6 motsvarar detta en kostnad på 107–229 kr/m<sup>3</sup>. Bedömningen är att morän kommer behöva justeras i någon mån för att få lämplig vattengenomsläpplighet för användning som filtermaterial.

Tabell 25. Kostnad för morän enligt Swerock region ABCD-län 2021 (Swerock, 2021).

Produkt(er)	Pris (kr/ton)	Källa
Morän	67	Rimbo – Bergtäkt
Moränkross 0–16 mm	77	Dalboda – Naturgrustäkt
Moränkross 0–16 mm	109	Uppsala – Terminal

## Bedömning

Skillnaden i kostnad jämfört med naturgrus har bedömts vara obefintlig (0). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

## Motivering

Kostnaden för morän ligger generellt under kostnaden för naturgrus. För att materialet ska fungera för filterändamål krävs sannolikt en modifiering av materialet. Modifieringen medför sannolikt ökad kostnad av materialet och bedömningen är att kostnaden då blir relativt lik den för naturgrus. På grund av att det inte finns underlag kring kostnader för modifiering har osäkerheten bedömts vara måttlig.

## 4.7.2 Tillgängliga volymer

Avgränsning: Detta kriterium har avsett att bedöma hur mycket material som är tillgängligt i dagsläget, det vill säga den mängd material som idag används för andra tillämpningar eller som finns tillgängligt som en biprodukt från annan industri. Framtida potential för utvinning har inte tagits med i bedömning av kriteriet.

En uppskattning av nuvarande naturgrusutvinning för användning i markbaserad rening vid små avloppsanläggningar indikerar en volym av, grovt räknat, cirka 84 000 m<sup>3</sup> per år (för fullständiga beräkningar se Bilaga C). Om en åtgärdstakt på 5 % kan uppnås, en förutsättning för att anläggningar byts ut eller uppgraderas minst en gång var 20:e år, är uppskattningen att cirka 210 000 m<sup>3</sup> naturgrus, eller lämpligt ersättningsmaterial, skulle krävas per år.

## BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt en grov uppskattning gjord av Naturvårdsverket är den totala mängden schaktmassor i Sverige 60–80 miljoner ton per år (Miliute-Plepiene & Sundqvist, 2023). En tidigare studie bedömde att upp till hälften av allt jungfruligt ballastmaterial (t.ex. bergkross, naturgrus och morän) som används i Sverige idag skulle kunna ersättas med återvunnen ballast (Miliute-Plepiene & Sundqvist, 2023), bedömningen specificerades dock inte med avseende på materialets karaktär (lämpliga kornstorleksfördelningar).

Två kända stationer för uppgradering av schaktmassor som ger en kvalitet som passar för filtermaterial i markbaserade anläggningar, genom tvättning/siktning (våtsiktning), finns nationellt – den ena i Malmö och den andra i Sundsvall (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Årsproduktionen vid dessa två stationer rapporteras till drygt 200 000 ton, vilket (baserat på att volymvikten liknar den hos naturgrus enligt avsnitt 4.2) uppskattas motsvara drygt 130 000 m<sup>3</sup>. Produktionen vid varje station uppskattas motsvara en normalstor bergtäkt. Antalet bergtäkter i Sverige är dock mångdubbelt fler (som tidigare nämnts finns strax under 800 stycken).

### Bedömning

Tillgängliga volymer av ballast från tvättade schaktmassor har bedömts vara måttligt mindre än naturgrustillgången (-2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

### Motivering

Bedömningen motiveras av att den nuvarande produktionen av ballast från tvättade schaktmassor är begränsad. Osäkerheten har satts måttlig trots gott dataunderlag på grund av att det är okänt hur stor del av all ballast från schaktmassor som kan processas för att få fram bra fraktioner för filtermaterial till markbaserade anläggningar.

## BARK

### Bakgrundsbeskrivning

Bark som restprodukt från skogsindustrin finns tillgänglig i stora kvantiteter, enligt uppgift finns cirka 650 000 ton årligen endast i Norrbotten (*Biobaserade lim från bark för tillverkning av träpaneler*, 2020). Baserat på volymvikten hos bark enligt Tabell 6 motsvarar detta cirka 1,4–2,6 miljoner m<sup>3</sup>.

### Bedömning

Tillgängliga volymer av bark har bedömts vara måttligt större än naturgrustillgången (2). Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".



## Motivering

Bark finns i stora kvantiteter i Sverige idag men det är osäkert i hur stor omfattning denna bark skulle kunna användas som filtermaterial i markbaserade anläggningar. Osäkerheterna kring användbarhet gäller framför allt materialets vattengenomsläpplighet och hur snabbt det bryts ner, vilket skulle kunna innebära exempelvis att endast vissa träslag är lämpliga.

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Aktiva bergtäkter finns över hela landet, vilket ger förutsättningar för leverans av bergkross. Dock är utmaningen att framställa bergkross med rätt egenskaper, vilket kräver specialutrustning. Det gör att transportsträckorna kan bli långa (Ulinder m.fl., 2019). I Norra Sverige finns färre bergtäkter jämfört med söderöver (SGU, 2023a).

### Bedömning

Tillgängliga volymer av bergkross har bedömts vara måttligt större än naturgrustillgången (2). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

## Motivering

Bedömningen motiveras av att det finns stora mängder bergkross dock är det osäkert hur mycket av detta bergkrossmaterial som har lämplig vattengenomsläpplighet för att användas som filtermaterial i markbaserade anläggningar.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Den svenska kapaciteten för biokolsproduktion har uppskattats till 8 460 ton/år från år 2024 (AFRY och Landskapsarkitekterna i Lund, 2023), motsvarande runt 20 000 m<sup>3</sup> om biokolets densitet antas vara i det högre spannet enligt Tabell 6. Eller uppåt cirka 100 000 m<sup>3</sup> om biokolet har låg volymvikt. Ett flertal pyrolysanläggningar av varierande skala är för närvarande under etablering i Sverige, exempelvis planerar företaget Envigas att expandera sin produktion av biokol för att omfatta 25 000 ton/år till slutet av 2026 (med inriktning på ersättning av fossilt kol inom stålindustrin) (*Finnish Stainless-Steel Giant Invests in Swedish Biocarbon Company*, u.å.). Biokolstillgången kan alltså förväntas växa betydligt under kommande år.

### Bedömning

Tillgängliga volymer av biokol har bedömts vara betydligt mindre än naturgrustillgången (-3). Denna bedömning är associerad med ”stor osäkerhet”.

## Motivering

Bedömningen motiveras av att de volymer som produceras idag är små jämfört med naturgrusbehovet, det kan dock noteras att kapaciteten är under utbyggnad. Då biokol idag framställs för andra syften är osäkerheten stor gällande hur stor del av det producerade biokolet som kan användas för markbaserade avloppsanläggningar. Biokolets lämplighet kan variera beroende på vilket ursprungsmaterial som använts för dess produktion samt pyrolysförhållanden, vilka påverkar biokolets karaktär (exempelvis ytarea och pH, och därigenom adsorptionsförmågan).

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Den totala mängden däck som samlas in för återvinning i Sverige idag är, enligt en branschföreträdare, cirka 95 000 ton (personlig kommunikation, Andreas Pettersson, 2024-02-15). Baserat på volymvikt hos däckklipp, enligt Tabell 6, motsvarar detta cirka 270 000 m<sup>3</sup>. Branschföreträdare har även menat att den dubbla mängden skulle kunna framställas vid eventuell ökad efterfrågan på däckklipp.

### Bedömning

Tillgängliga volymer av däckklipp har bedömts vara lite mindre än naturgrus-tillgången (-1). Denna bedömning är associerad med "liten osäkerhet".

## Motivering

Den totala årsvolymen däckklipp täcker idag än naturgrusåtgången om en åtgärds-takt på 5 % ska uppnås för små avloppsanläggningar. Dock kommer inte alla däck kunna användas på dessa sätt (och återvinning till nya däck är prioriterat när så är möjligt). Tillgängliga volymen av däckklipp har därför bedömts som lite mindre än behovet av naturgrus. Bedömningens osäkerhet har satts som liten då uppgiften om tillgänglig volym bedöms som trovärdig.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Enligt en branshexpert är volymerna krossad betong som framställs idag troligtvis tillräckliga då material kan hämtas från städer runt om i landet (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Att restbetong uppkommer över hela landet kan vara en fördel jämfört med naturgrus, där tillgången på vissa platser i landet är begränsad.

### Bedömning

Tillgängliga volymer av krossad betong har bedömts vara lite större än naturgrus-tillgången (1). Denna bedömning är associerad med "stor osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen motiveras av att lokal tillgång potentiell kan vara bättre, dock är bedömningen associerad med stor osäkerhet eftersom mängderna krossad betong som finns tillgänglig idag inte kvantifierats.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

De totala tillgängliga volymerna av morän är mycket stora (SGU, 2023a) men det finns regionala skillnader i moränens sammansättning, vilket gör det osäkert hur stora mängder morän med lämpliga egenskaper som finns tillgänglig.

### Bedömning

Tillgängliga volymer av grov morän har bedömts vara måttligt större än naturgrus-tillgången (2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen baseras på att morän är mycket vanligt förekommande. Det är dock osäkert hur stor del av moränen som har rätt egenskaper.

## 4.7.3 Produktens mognadsgrad

Avgränsning: Detta kriterium har avsett att bedöma hur pass allmänt tillgänglig produkten är för försäljning; för tillämpning vid markbaserad avloppsrening eller filtrering av annat typ av vatten (exempelvis dagvatten). Lägre "poäng" har satts om filtermaterialet snarare är konceptuellt intressant (men inte tillgängligt för försäljning och/eller tidigare utvärderat som filtermaterial).

## BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

### Bakgrundsbeskrivning

Produkten finns idag inte tillgänglig (på marknaden) för vattenreningsändamål. Kornstorleksfördelningen hos materialet överensstämmer med rekommendationer för naturgrus vid användning i markbaserade avloppsanläggningar (se Figur 12), vilket innebär att materialet potentiellt skulle kunna tillämpas som filtermaterial utan föregående justering. Dock är bedömningen att det finns risk för läckage av skadliga ämnen (se avsnitt 4.6.4 "Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast"), vilket gör att ett system för kvalitetskontroll skulle behövas innan produkten är mogen för försäljning.

### Bedömning

Produktens mognadsgrad bedöms som måttligt sämre jämfört med naturgrus (-2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen grundar sig i den potentiella risken för läckage av skadliga ämnen. Osäkerheten har bedömts som måttlig eftersom dataunderlaget är begränsat.

## BARK

### Bakgrundsbeskrivning

Bark från medelhavstall används i modullösningar med filtermaterial för rening av avloppsvatten i Frankrike (personlig kommunikation, Siegfried Maunoir, 2022-10-05). Barksubstrat har testats för avloppsreningsändamål på den svenska marknaden, exempelvis för rening av vatten från biltvättar (Liliequist, 2004). Dock saknas kravspecifikation för hur produkten kan tillämpas vid markbaserad rening; bland annat med avseende på lämpliga storleksfraktioner av bark, eventuell betydelse av träslag, samt lämpliga bytesintervall för barkfilter (vid eventuell nedbrytning).

Det finns risk att materialet har begränsad hållfasthet, med följden att bädden kompakteras samt att vattengenomsläppligheten påverkas (se avsnitt 4.4.1 ”Livslängd”).

### Bedömning

Produktens mognadsgrad bedöms som betydligt sämre än hos naturgrus (-3). Denna bedömning är associerad med ”måttlig osäkerhet”.

## Motivering

Bedömningen motiveras av brist på kravspecifikation samt potentiella risker för igensättning. Osäkerheten har bedömts som måttlig då det underlag som finns inte gäller användning för avloppsvattenrening under svenska förhållanden.

## BERGKROSS

### Bakgrundsbeskrivning

Bergkross som ersättning till naturgrus vid markbaserad rening har utvärderats i kolonnförsök samt med avseende på hydrauliska egenskaper (Elmefors, Eveborn, m.fl., 2016; Elmefors & Ljung, 2013). Utvärdering har även skett vid en större markbädd i Sverige (Ulinder m.fl., 2021). Dessa studier har tagit fram förslag på kornstorleksgränser, vilket ger förutsättningar för att lokalt justera sammansättningen hos bergkross på lämpligt sätt. Det finns många bergtäkter runt om i Sverige, i dagsläget finns dock risk att alltför få bergtäkter kan göra de justeringar som behövs för att ge bergkross rätt egenskaper (Ulinder m.fl., 2019).

### Bedömning

Produktens mognadsgrad bedöms som lite sämre än hos naturgrus (-1). Denna bedömning är associerad med ”liten osäkerhet”.

## Motivering

Bedömningen grundar sig i att materialspecifikation finns tillgänglig, men tillgängliga försäljningsplatser är begränsade. Osäkerheten i bedömningen har antagits vara liten eftersom tidigare erfarenhet gällande utvärdering av detta material finns inom projektgruppen.

## BIOKOL

### Bakgrundsbeskrivning

Det finns (aktiverat) biokol på marknaden som säljs för tillämpning inom rening av avloppsvatten (Jacobi, u.å.), dock saknas kravspecifikation för hur materialet kan tillämpas vid markbaserad rening. Undersökning av system med biokolfilter i kassetter pågår dock (Dalahmeh, 2019).

Liksom för bark har även potentiell risk för minskad vattengenomsläpplighet beaktats (se avsnitt 4.4.1 "Livslängd"). Dessutom finns risk för läckage av skadliga ämnen (se avsnitt 4.6.4 "Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast"), vilken beror på utgångsmaterial för produktion av biokolet samt på produktionsförhållanden.

### Bedömning

Produktens mognadsgrad bedöms som betydligt sämre än hos naturgrus (-3). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen motiveras av brist på kravspecifikation samt potentiella risker för igensättning. Osäkerheten har bedömts som måttlig då det finns erfarenheter från tillämpning som filter för annat typ av vatten.

## DÄCKKLIPP

### Bakgrundsbeskrivning

Det finns i dagsläget ett svenskt företag som säljer däckklipp för användning i markbaserad avloppsrening. Enligt företaget själva kontrolleras däckklippen för att uppfylla krav enligt EUs Reach-lagstiftning (personlig kommunikation, Andreas Pettersson, 2022-08-25). Samtidigt har bedömningen gjorts att det finns risk för läckage av skadliga ämnen (se avsnitt 4.6.4 "Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast"); där bedömningen utgår generellt från användning av däckklipp och inte specifikt från det nämnda företagets produkter. Bedömningen har därför gjorts att fler leverantörer och en branschgemensam eller oberoende kravspecifikation krävs innan produkten bedöms vara fullt tillgänglig på marknaden.

### Bedömning

Produktens mognadsgrad bedöms som måttligt sämre än hos naturgrus (-2). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen motiveras främst av den potentiella risken för läckage av skadliga ämnen, och även av att det idag endast finns en känd leverantör av filtermaterial för aktuell tillämpning. Osäkerheten har bedömts som måttlig. Att erfarenhet av materialet finns i en svensk kontext minskar osäkerheten, dock leder osäkerheten gällande läckage av skadliga ämnen till att den sammantagna osäkerheten bedöms öka.

## KROSSAD BETONG

### Bakgrundsbeskrivning

Krossad betong säljs idag som en produkt som kan användas som bärlager i vägar (*Betongkross 0/32 mm*, u.å.). Det saknas kravspecifikation för användning av krossad betong till markbaserad avloppsvattenrening. Samtidigt är finmaterialhalten ofta hög (uppskattningsvis 15–20 %) jämfört med naturgrus (personlig kommunikation, Peter Martinsson, 2022-09-19). Dessutom bedöms det finnas risk för läckage av skadliga ämnen (se avsnitt 4.6.4 "Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast").

### Bedömning

Produktens mognadsgrad bedöms som betydligt sämre än hos naturgrus (–3). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen motiveras av brist på kravspecifikation samt risk för läckage av skadliga ämnen. Osäkerheten bedöms som måttlig på grund av att det saknas kravspecifikation i Sverige samtidigt som betongkross används till vattenrening i andra länder vilket skulle snabba på processen.

## GROV MORÄN

### Bakgrundsbeskrivning

Bedömningen är att morän kommer behöva justeras i någon mån för att få lämplig vattengenomsläpplighet för användning som filtermaterial, dock finns (som tidigare nämnts) specifikationer för lämplig kornstorleksfördelning hos mineralbaserade material som kan tillämpas. Inga studier har identifierats gällande morän som filtermaterial till markbäddar. Den lokala jordarten där infiltrationsanläggningar byggs utgörs sannolikt ofta av morän, med anledning av att cirka 75 % av landets yta täcks av morän (SGU, 2020).

### Bedömning

Produktens mognadsgrad bedöms som lite sämre än hos naturgrus (–1). Denna bedömning är associerad med "måttlig osäkerhet".

## Motivering

Bedömningen motiveras av att önskad sammansättning hos moränen anses känd, dock har inga tester av materialet i markbäddstillämpning tidigare skett. Osäkerheten bedöms vara måttlig då morän idag ofta förekommer vid infiltrationsanläggningar.

## 4.8 Viktning av kriterier

Bedömningen av filtermaterialen med avseende på de ingående kriterierna, det vill säga den ovan presenterade poängsättningen, ska vara objektiv och har här baserats på tillgänglig information i bland annat litteratur. Viktningen som görs för att beskriva hur betydelsefulla de olika kriterierna är utgör däremot en subjektiv del av multikriterieanalysen. Olika intressenter kan ha olika åsikter om hur stor vikt ett visst kriterium eller ett av de ingående huvudkriterierna ska ha. I denna analys hölls en workshop där projektgruppen diskuterade och tog fram ett utkast på viktning. Denna viktning presenterades för referensgruppen och synpunkter och förslag på justeringar efterfrågades. Baserat på inkomna synpunkter från referensgruppen diskuterade och uppdaterade projektgruppen viktningen. För transparens presenteras resultaten såväl som de underliggande bedömningarna utan viktning samt som viktade poäng, men då för både de ingående huvudkriterierna samt sammantaget med hänsyn till samtliga kriterier. Det genomfördes även en känslighetsanalys för att illustrera hur resultaten och rangordningen av filtermaterialen påverkas när viktningen ändras.

I Figur 20 presenteras viktningen av de fyra huvudkriterierna (tekniskt, socialt, miljömässigt och ekonomiskt) samt den slutgiltiga vikt detta ger de ingående delkriterierna. Viktningen av kriterierna inom de olika kategorierna kan således jämföras mellan varandra. Den bakomliggande viktningen av kriterierna inom respektive kategori samt viktningen av huvudkriterierna presenteras i Figur 21a–e. Summan av kriteriernas vikt summerar till 100 % för varje graf (a–e) i Figur 21. Av denna anledning ska delkriteriernas vikt inte jämföras mellan de fyra huvudkategorierna (Figur 21a–d) utan denna jämförelse görs med hjälp av Figur 20. Observera att beteckningarna ”P” i grafen avser persistenta organiska miljöföroreningar.

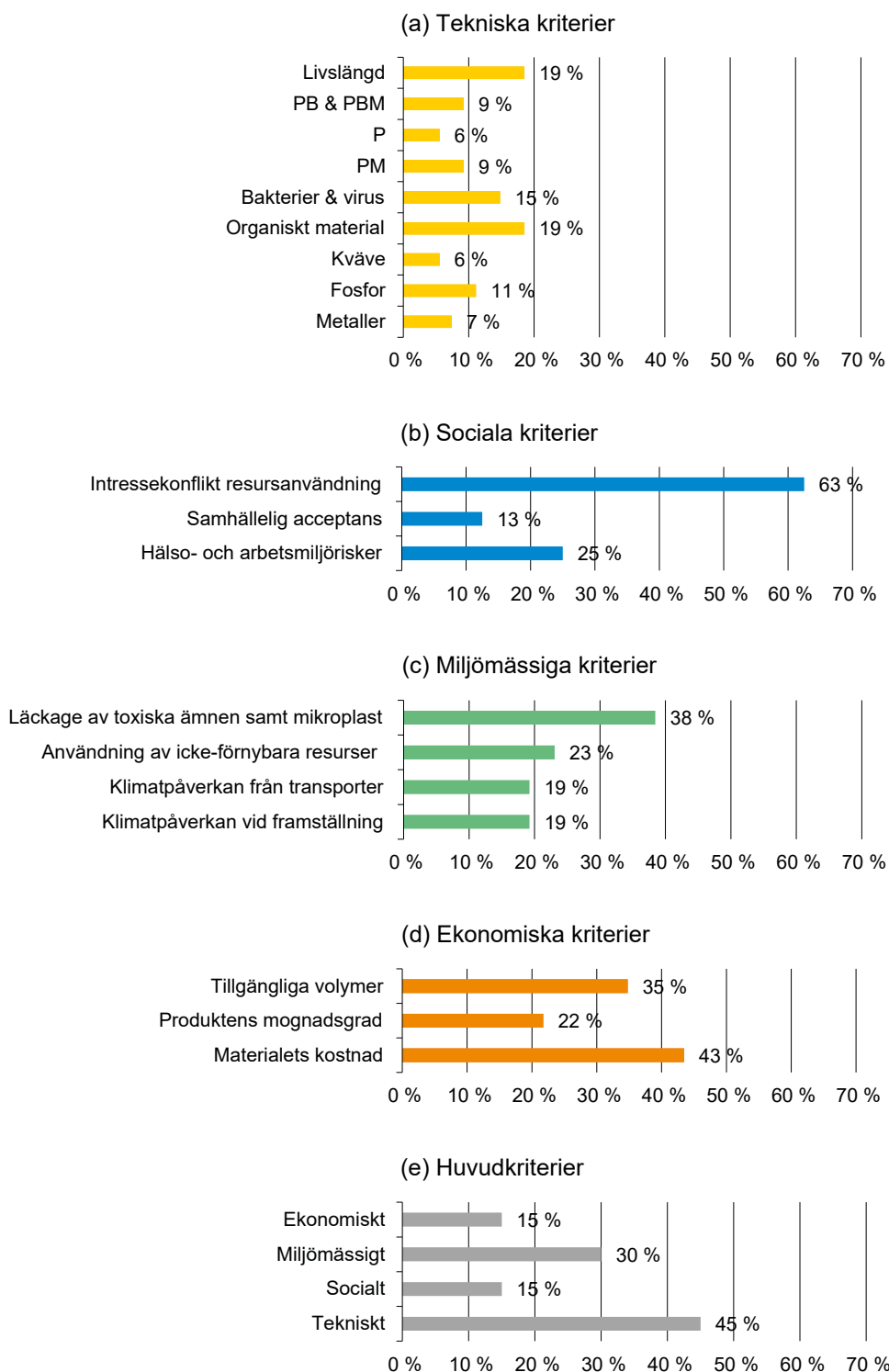
Viktningen är baserad på tanken om att samtliga huvudkriterier måste beaktas för att kunna identifiera hållbara alternativ till naturgrus. De tekniska egenskaperna och reningseffektiviteten speciellt har dock bedömts som mer relevant än övriga huvudkriterier. Notera att viktningen är gjord utifrån syftet att utvärdera och se vilka filtermaterial som har potential att kunna ersätta naturgrus. Analysen bygger inte på en detaljerad kravspecifikation där det exempelvis definierats vilken rening förmåga filtermaterialen måste kunna uppnå. Analysen är istället utformad för att kunna ta hänsyn till de för- och nackdelar som filtermaterialen är förknippade med och ge en helhetsbild som underlag för rekommendationer och förslag på ytterligare studier.

Bland de tekniska kriterierna har *livslängd* och *reduktionen av organiskt material* ansatts som de viktigaste, tätt följda av *reduktionen av bakterier och virus*. De sociala kriterierna är totalt tre stycken och *intressekonflikt resursanvändning* är den med klart högst vikt. Bland de ekonomiska kriterierna har *materialets kostnad* bedömts som viktigast men även *tillgängliga volymer* har en relativt hög vikt inom detta huvudkriterium. De miljömässiga kriterierna har viktats ganska lika, förutom läckage av toxiska ämnen som har störst vikt inom denna kategori och även högst vikt av samtliga delkriterier.



Figur 20. Illustration av vikningen av huvudkriterierna samt den slutgiltiga vikt detta ger till ingående delkriterier. Vikten för respektive delkriterium har här multiplicerats med vikten för det överordnade huvudkriteriet ( $v_k \cdot v_n$ ).





Figur 21. Viktningen av de ingående kriterierna i kategorierna (a) tekniskt, (b) socialt, (c) miljömässigt, och (d) ekonomiskt, samt viktningen av de fyra huvudkriterierna (e). Observera att följande beteckningar används i graf (a) för organiska mikroföroreningar: P – persistenta, PM – persistenta och mobila, PB & PBM – persistenta, mobila och bioackumulerande.

## 4.9 Sammantagen bedömning av potential

Som underlag för att beskriva filtermaterialens potential att utgöra ett hållbart alternativ till naturgrus i markbaserade avloppsanläggningar, presenteras nedan en sammanställning av de bedömningar (poängsättningen), som gjorts för respektive material och kriterium. Utöver detta presenteras även de viktade poängen som tar hänsyn till hur betydelsefulla de olika kriterierna antagits vara. Även en sammanställning av osäkerheterna i bedömningarna presenteras, liksom en känslighetsanalys som visar viktningen inverkan på resultaten.

### 4.9.1 Prestandamatrix och viktade poäng

I Tabell 26 presenteras en så kallad prestandamatrix som beskriver hur de sju filtermaterialen presterar med avseende på respektive kriterium. Detta är en sammanfattning av underlaget och bedömningarna som beskrivs i avsnitt 4.4–4.7. Den tillämpade bedömningsskalan beskrivs nedan. Notera att filtermaterialens effekt bedömts i relation till naturgrus. Syftet med detta är att lättare kunna identifiera med avseende på vilka kriterier/aspekter de analyserade materialen har för- respektive nackdelar jämfört med naturgrus. Osäkerheterna i bedömningarna presenteras i avsnitt 4.9.2.

- Stor positiv effekt (+3)
- Måttlig positiv effekt (+2)
- Liten positiv effekt (+1)
- Försumbar eller obefintlig effekt (0)
- Liten negativ effekt (-1)
- Måttlig negativ effekt (-2)
- Stor negativ effekt (-3)

De bedömda poängen för filtermaterialen i prestandamatrixen (Tabell 26) presenteras tillsammans med ikoner för att tydliggöra om respektive filtermaterial presterar likvärdigt med naturgrus (0 poäng och ett orange streck), sämre än naturgrus (negativt poäng och röd nedåtvänd triangel) eller bättre än naturgrus (positivt poäng och grön uppåtvänd triangel). Samtliga filtermaterialen bedöms likvärdiga med naturgrus med avseende på flera av kriterierna, men det finns också många kriterier där materialen bedömts förknippade med såväl positiva som negativa effekter. Det är endast för kriteriet *intressekonflikt resursanvändning* som samtliga filtermaterial bedömts prestera bättre än naturgrus. Anledningen till detta är utvinningen av naturgrus undviks och framställningen av de alternativa filtermaterialen inte bedöms vara relaterade till en resurs med motsvarande intressekonflikt. På motsvarande sätt är det endast för kriteriet *produktens mognadsgrad* som samtliga filtermaterial bedömts prestera sämre än naturgrus. Orsaken till detta är att de analyserade filtermaterialen idag inte utgör en etablerad produkt som säljs för användning i markbaserade avloppsanläggningar.

Tabell 26. Prestandamatrix som sammanfattar bedömningarna för respektive filtermaterial och kriterium. Poängskalan beskriver försumbar (0), liten (1), måttlig (2) och stor (3) effekt, och negativa värden (-) motsvarar en försämring och positiva (+) en förbättring jämfört med naturgrus.

	Ballast	Bark	Bergkross	Biokol	Däckklipp	Krossad betong	Grov morän
<b>Kriterium</b>							
<b>Tekniskt</b>							
Metaller	0	0	0	-3	0	0	0
Fosfor	0	1	-1	0	1	-1	0
Kväve	0	0	0	0	1	1	0
Organiskt material	0	0	0	0	0	-1	0
Bakterier & virus	0	-1	2	1	2	3	0
PM	0	2	-2	1	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0
PB & PBM	0	0	0	0	0	0	0
Livslängd	0	-2	0	-1	0	0	0
<b>Social</b>							
Hälso- och arbetsmiljörisker	0	-1	-1	-3	1	-1	0
Samhällelig acceptans	-1	2	0	1	-3	-1	0
Intressekonflikt resursanvändning	3	2	2	2	3	3	2
<b>Miljömässigt</b>							
Klimatpåverkan vid framställning	-1	0	-2	1	-1	-1	-1
Klimatpåverkan från transporter	0	2	0	2	2	0	0
Användning av icke-förnybara resurser	3	3	0	3	3	3	0
Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast	-2	0	-1	-2	-3	-3	0
<b>Ekonomiskt</b>							
Materialets kostnad	0	-1	0	-2	0	0	0
Produktens mognadsgrad	-2	-3	-1	-3	-2	-3	-1
Tillgängliga volymer	-2	2	2	-3	-1	1	2

I Figur 22a–d presenteras de viktade poängen för filtermaterialen uppdelat per huvudkriterium. Det är alltså poängen i Tabell 26 som kombinerats med viktningen i Figur 21a–d för de tekniska, sociala, miljömässiga respektive ekonomiska kriterierna (se avsnitt 4.8 för detaljer). Skalan för de viktade poängen går liksom bedömningskalan från -3 till +3. För att ett filtermaterial till exempel ska få +3 i viktad poäng ska det ha stor positiv effekt jämfört med naturgrus på samtliga kriterier som inkluderats.

Filtermaterialen presterar olika på de olika huvudkriterierna förutom när det gäller de sociala kriterierna där samtliga har positiva viktade poäng. De viktade poängen för det tekniska huvudkriteriet (Figur 22a) visar att ballast, bergkross och morän sammantaget är likvärdigt med naturgrus. För ballast och morän var det ett antagande som gjordes i bedömningen (se avsnitt 4.4 och Tabell 26) då dataunderlag för dessa filtermaterial saknades och de bedömdes ha egenskaper motsvarande naturgrus. Bergkross har vissa skillnader jämfört med naturgrus men de positiva och negativa effekterna tar ut varandra. Bark och biokol har ett något negativt

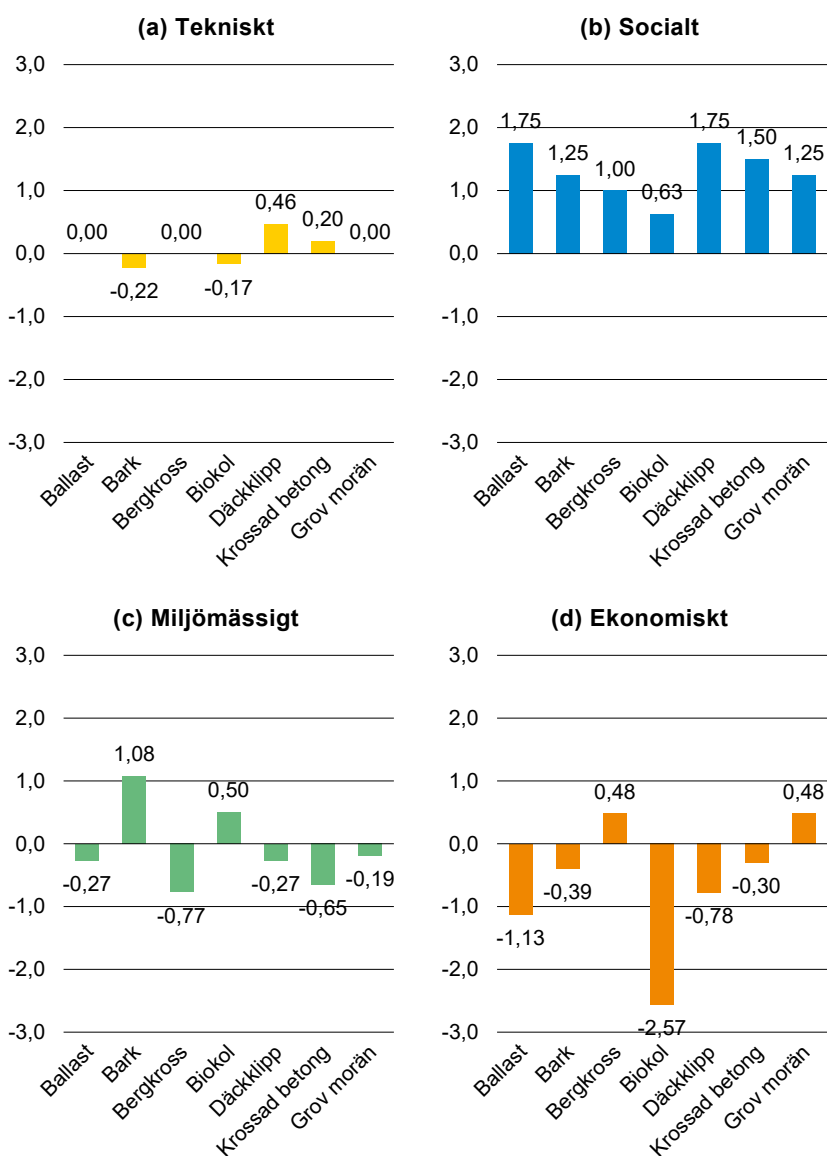
poäng. För bark beror detta framför allt på att materialet presterar sämre än naturgrus med avseende på livslängd och avskiljning av bakterier och virus, vilket är två av de högst viktade tekniska kriterierna (Figur 21a). Bark har dock positiva effekter kopplade till fosfor samt persistenta och mobila organiska mikroföroreningar (PM) men sammantaget blir det viktade poänget negativt. För biokol är anledningen en sämre effekt avseende livslängd och metaller. Avskiljningen av metaller är dock inte ett av de högst viktade kriterierna, men sammantaget ger detta ett negativt viktat poäng trots att biokol presterar bättre än naturgrus med avseende på bakterier och virus samt PM.

Däckklipp och krossad betong har positiva viktade tekniska poäng, vilket för däckklipp beror på positiva effekter kopplade till avskiljningen av bakterier och virus, fosfor samt kväve. Krossad betong presterar bättre än naturgrus med avseende på bakterier och virus samt kväve, men sämre avseende fosfor och organiskt material.

Anledningen till att samtliga filtermaterial har positiva viktade sociala poäng (Figur 22b) beror framför allt på att de alla presterar bättre än naturgrus på kriteriet intressekonflikt naturresurser, vilket är det klart högst viktade sociala kriteriet (b). Flera av kriterierna har negativa (oviktade) poäng på hälso- och arbetsmiljörisker samt samhällsacceptans, men dessa kriteriers lägre vikt gör att filtermaterialen sammantaget får positiva viktade sociala poäng.

På de miljömässiga kriterierna är det bark och biokol som har positiva viktade poäng (c). Bark presterar bättre än naturgrus med avseende på klimatpåverkan vid transporter och användning av icke-förnybara resurser, samt likvärdigt med naturgrus på de två resterande kriterierna. Biokol presterar bättre än naturgrus med avseende tre av de fyra kriterierna, men sämre på läckage av toxiska ämnen. Läckage av toxiska ämnen är det högst viktade miljömässiga kriteriet (Figur 21c), men biokol får på grund av övriga positiva effekter ett positivt viktat miljömässiga poäng. Att läckage av toxiska ämnen viktats högt är anledningen till att övriga filtermaterial får negativa viktade miljömässiga poäng då de bedömts prestera sämre än naturgrus. Vissa av filtermaterialen presterar bättre än naturgrus på några av de övriga kriterierna, men sammantaget blir den viktade poängen negativ.

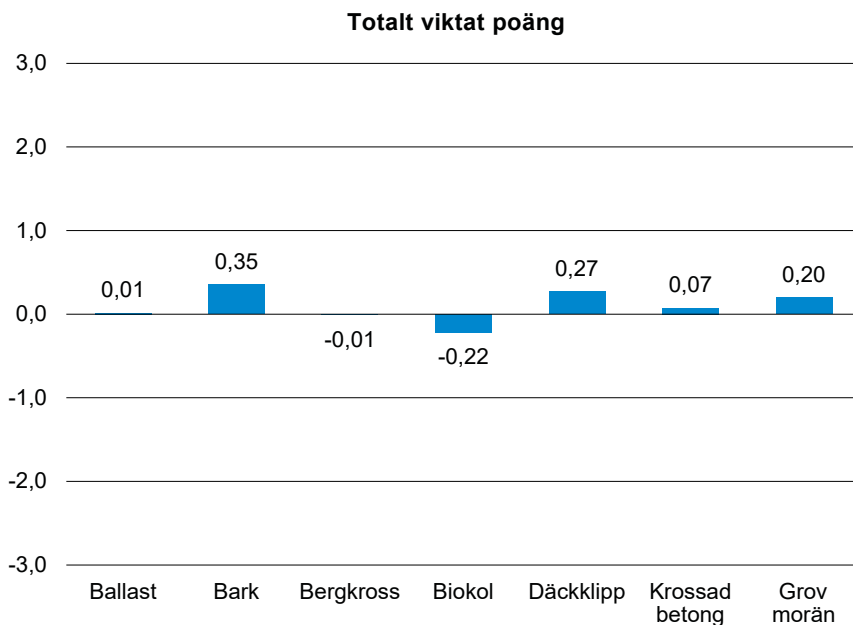
På de ekonomiska kriterierna presterar alla material sämre än naturgrus vad gäller produktens mognadsgrad och kostnaden för materialet, det högst viktade kriteriet (Figur 21d), har bedömts likvärdig med naturgrus för flera av materialen förutom bark och biokol som är dyrare. Tillgängliga volymer har bedömts bättre än naturgrus för bark, bergkross, krossad betong och grov morän, samt sämre för ballast, biokol och däckklipp. Sammantaget ger detta negativa viktade sociala poäng för samtliga filtermaterial förutom bergkross och grov morän (Figur 22d).



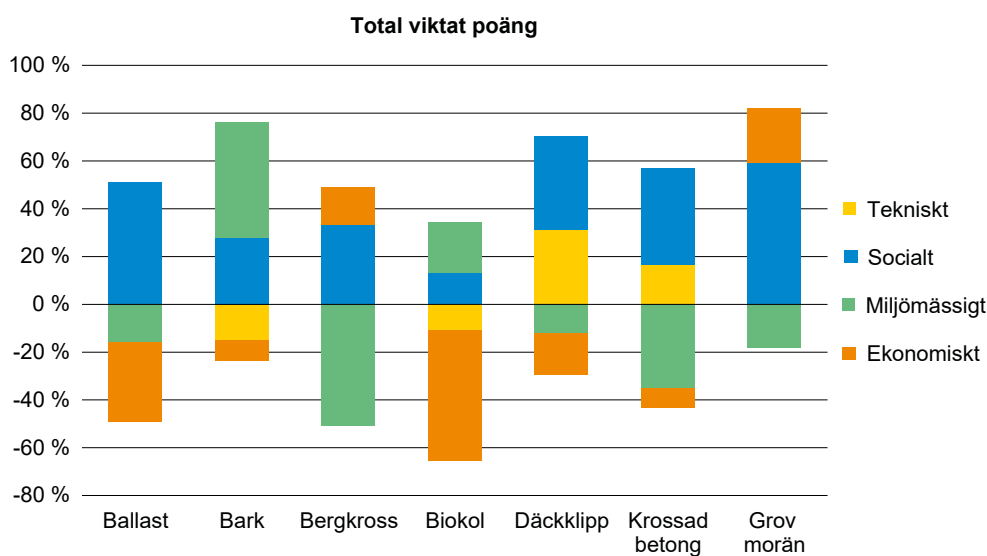
Figur 22. Viktade poäng för respektive huvudkriterium, (a) tekniskt, (b) socialt, (c) miljömässigt och (d) ekonomiskt, baserat på viktningen som presenteras i avsnitt 4.8.

Kombinationen av filtermaterialens poäng på samtliga kriterier samt viktningen (Figur 20) ger de viktade totalpoängen som presenteras i Figur 23. I Figur 24 presenteras respektive huvudkriteriums procentuella bidrag till filtermaterialens totala poäng. Eftersom filtermaterialen är förknippade med för- och nackdelar kopplade till de olika kriterierna blir skillnaderna i de viktade totalpoängen (Figur 23) mindre än vad som ses inom respektive huvudkriterium (Figur 22a–d). Sammantaget har bark, däckklipp och grov morän de högsta positiva viktade totalpoängen. Ballast, bergkross och krossad betong ligger nära noll och biokol har ett negativt värde. Resultaten i Figur 24 visar att bark framför allt har fördelar kopplade till de sociala och miljömässiga kriterierna. Däckklipp har fördelar kopplade till de sociala och tekniska kriterierna, och grov morän de sociala och ekonomiska kriterierna. Att biokol har ett negativt viktat totalpoäng beror framför allt på ett kraftigt negativt ekonomiskt poäng i relation till hur materialet presterar på övriga huvudkriterier.

Sammantaget kan sägas att filtermaterialen har olika för- och nackdelar, och samtliga material som ingår i multikriterieanalysen kan därför anses ha potential att kunna fungera som filtermaterial. Några av materialen framstår dock som mer fördelaktiga baserat på den viktning som tillämpats.



Figur 23. Viktad totalpoäng för de sju filtermaterialen baserat på samtliga kriterier.



Figur 24. Beskrivning av de ingående huvudkriteriernas bidrag (i procent) till den viktade totalpoängen för respektive filtermaterial.

## 4.9.2 Osäkerheter

Uppskattade osäkerhet i bedömningarna för respektive filtermaterial och kriterium presenteras i Tabell 27. Enligt beskrivningen i avsnitt 3.2 och skalan i Tabell 27 beskrivs osäkerheterna i fyra kategorier från liten till mycket stor. Syftet är att kvalitativt illustrera på vilken nivå osäkerheterna ligger för de olika materialen och kriterierna. Osäkerheter påverkar inte de kvantitativa resultaten som presenteras för multikriterieanalysen, utan Tabell 27 är ett komplement för att belysa och tydliggöra att informationsunderlaget varierar. Detta ska också beaktas då slutsatser dras kring vilket eller vilka material som har störst potential att kunna ersätta naturgrus samt var behovet av ytterligare studier är som störst.

Tabell 27. Sammanställning av osäkerheten i bedömningarna för respektive filtermaterial och kriterium.

Kriterium	Ballast	Bark	Bergkross	Biokol	Däckklipp	Krossad betong	Grov morän
<b>Tekniskt</b>							
Metaller	●	●	●	●	●	●	●
Fosfor	●	●	●	●	●	●	●
Kväve	●	●	●	●	●	●	●
Organiskt material	●	●	●	●	●	●	●
Bakterier & virus	●	●	●	●	●	●	●
PM	●	●	●	●	●	●	●
P	●	●	●	●	●	●	●
PB & PBM	●	●	●	●	●	●	●
Livslängd	●	●	●	●	●	●	●
<b>Social</b>							
Hälsa- och arbetsmiljörisiker	●	●	●	●	●	●	●
Samhällelig acceptans	●	●	●	●	●	●	●
Intressekonflikt resursanvändning	●	●	●	●	●	●	●
<b>Miljömässigt</b>							
Klimatpåverkan vid framställning	●	●	●	●	●	●	●
Klimatpåverkan från transporter	●	●	●	●	●	●	●
Användning av icke-förnybara resurser	●	●	●	●	●	●	●
Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast	●	●	●	●	●	●	●
<b>Ekonomiskt</b>							
Materialets kostnad	●	●	●	●	●	●	●
Produktens mognadsgrad	●	●	●	●	●	●	●
Tillgängliga volymer	●	●	●	●	●	●	●

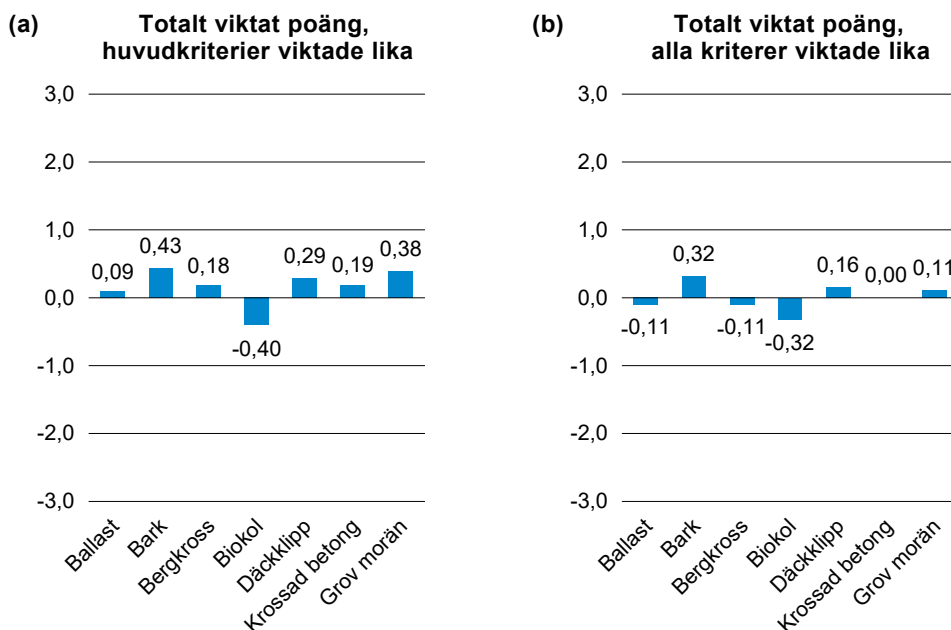
● Mycket stor osäkerhet ● Stor osäkerhet ● Måttlig osäkerhet ● Liten osäkerhet

Sammanställningen i Tabell 27 visar att det finns betydande osäkerheter kopplade till de tekniska kriterierna gällande reningseffektivitet och livslängd. Att bedömningarna för ballast och grov morän angetts som mycket osäkra beror på att det inte fanns några studier på materialens reningseffektivitet och de därför antagits likvärdiga med naturgrus. Många av de andra bedömningarna inom det tekniska huvudkriteriet har dock också bedömts relaterade till stora eller mycket stora osäkerheter.

Delkriterier inom de andra huvudkategorierna som är förknippade med betydande osäkerheter för flertalet av filtermaterialen är klimatpåverkan vid framställning, tillgängliga volymer, samhällelig acceptans och materialets kostnad.

### 4.9.3 Känslighetsanalys

För att illustrera hur känsliga de viktade totalpoängen i mulikriterieanalysen är för viktningen har två alternativa viktningar testats och resultaten illustreras i Figur 25a och b. Figur 25a visar resultaten då de fyra huvudkriterierna (tekniskt, socialt, miljömässigt och ekonomiskt) antagits lika viktiga (25 % vardera) och samma viktning som för resultaten i avsnitt 4.9.1 (se även Figur 22 a–d) använts inom respektive huvudkriterium. Resultaten i Figur 25b är baserade på antagandet att samtliga kriterier är lika viktiga, det vill säga delkriterierna inom respektive huvudkriterium har viktats lika och huvudkriterierna har viktats baserat på antalet ingående delkriterier så att samtliga delkriterier erhåller vikten 5,3 %. Dessa alternativa viktningar representerar inte några specifika synsätt utan syftar endast till att visa hur stor inverkan viktningen har på resultaten. När resultaten i Figur 25a och b jämförs med Figur 23 framgår det att de viktade totalpoängen ändras något, men rangordningen av materialen är densamma. Detta visar att viktningen givetvis påverkar resultaten men att de är tämligen robusta. Om viktningen mellan huvudkriterierna skulle ändras kraftigt kan rangordningen påverkas i större utsträckning, vilket är en av anledningarna till att resultaten också presenteras uppdelat per huvudkriterium (Figur 22 a–d).



Figur 25. Viktad totalpoäng för två alternativa viktningar av kriterierna: (a) huvudkriterierna viktad lika (25 %) och bibehållen viktning för delkriterierna inom respektive kategori (se a–d); (b) samtliga 19 delkriterier viktade lika (5,3 %).



#### 4.9.4 Osäkerhet och högt viktade kriterier

Som beskrivits i avsnitt 4.9.2 finns det osäkerheter förknippade med underlaget och därmed bedömningarna av hur de olika filtermaterialen presterar med avseende på de olika kriterierna. För att belysa detta ytterligare presenteras i Tabell 28 filtermaterialens bedömda poäng samt relaterade osäkerhet för de fyra kriterier som sammantaget har störst vikt i multikriterieanalysen. Viktningen som avses är den som presenteras i Figur 20 och som tar hänsyn till såväl viktningen inom som mellan huvudkriterierna ( $v_k \times v_h$ , se ekvation (1) och (2)). De fyra kriterierna som har störst vikt och därmed potentiellt störst inverkan på den viktade totalpoängen är:

- Läckage av toxiska ämnen samt mikroplaster (miljömässigt kriterium), vikt 11,5 %
- Intressekonflikt resursanvändning (socialt kriterium), vikt 9,4 %
- Livslängd (tekniskt kriterium), vikt 8,3 %
- Reningseffektivitetens med avseende på organiskt material (tekniskt kriterium), vikt 8,3 %

I de fall ett filtermaterial bedömts ha en negativ effekt jämfört med naturgrus, samtidigt som det finns påtagliga osäkerheter i underlagsinformationen, kan det vara extra viktiga att ytterligare undersöka det specifika kriteriet innan materialet föreslås som ersättning till naturgrus. Sammanställningen i Tabell 28 visar att i de fall filtermaterialen bedömts ha en måttlig eller stor negativ effekt (-2 respektive -3) har osäkerheten bedömts till måttlig eller stor. Däckklipp och krossad betong har de största negativa effekterna (-3) med avseende på läckage av toxiska ämnen och mikroplast, och dessa bedömning har båda måttlig osäkerhet. Bark och biokol har båda en negativ effekt (-2 respektive -1) med avseende på livslängd samtidigt som dessa bedömningar har en stor osäkerhet. Att ballast och grov morän är förknippade med mycket stor osäkerhet gällande reningseffektiviteten av organiskt material har tidigare förklarats och beror på ett generellt antagande om att dessa material presterar likvärdigt med naturgrus.

Tabell 28. Prestandamatrix som visar poäng samt osäkerhet för filtermaterialen med avseende på de fyra högst viktade kriterierna. Poängskalan beskriver försumbar (0), liten (1), måttlig (2) och stor (3) effekt, och negativa värden (-) motsvarar en försämring och positiva (+) en förbättring jämfört med naturgrus.

Kriterium	Ballast		Bark		Bergkross		Biokol		Däckklipp		Krossad betong		Grov morän	
	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet	Poäng	Osäkerhet
Läckage av toxiska ämnen samt mikroplast	▼-2	●	▲0	●	▼-1	●	▼-2	●	▼-3	●	▼-3	●	▲0	●
Intressekonflikt resursanvändning	▲3	●	▲2	●	▲2	●	▲2	●	▲3	●	▲3	●	▲2	●
Livslängd	▲0	●	▼-2	●	▲0	●	▼-1	●	▲0	●	▲0	●	▲0	●
Organiskt material	▲0	●	▲0	●	▲0	●	▲0	●	▲0	●	▼-1	●	▲0	●

Mycket stor osäkerhet
  Stor osäkerhet
  Måttlig osäkerhet
  Liten osäkerhet

## 4.10 Material utanför MKA:n

Som nämnt i avgränsningar, avsnitt 1.6 är det sannolikt att det finns fler material med potential att användas som filtermaterial än vad som djupstuderats inom detta projekt. En stor begränsning inom metodiken i detta projekt var exempelvis att projektet behövde hitta en expert på varje material som ingick i studien inom en viss tid.

Två exempel på material som inte var med i djupstudien men som verkar ha god reningsförmåga vid användning som filtermaterial för avloppsrening är krossad terracotta och Leca (Lightweight Expanded Clay Aggregates). Försök i Florida har visat goda reningsresultat hos krossad terrakotta, bland annat vad gäller fosforinbindning (personlig kommunikation, Petter Jenssen, 2024-08-15). Leca har använts som förstärkningsmaterial till infiltrationsanläggningar och förfilter till konstruerade våtmarker i Norge och uppvisat goda resultat i bägge fallen (personlig kommunikation, Petter Jenssen, 2024-08-15; Jenssen m.fl., 2005). Hamid m.fl., (2022) har jämfört reningseffektiviteten av Leca med naturgrus. Ammonium, nitrat och nitrat och fosfat renades tydligt bättre med Leca än med naturgrus (reningseffektivitet på 92 %, 61 %, 60 %, 64 % med Leca jämfört med 61 %, 60 %, 31 % och 27 % med naturgrus). Det kan dock förväntas att dessa reningsresultat är lika variabla som för de andra, mer utförligt studerade materialen.

## 5. Diskussion

Diskussionen inleds med att beskriva vilken information multikriterieanalysen ger och vad det urval av material som gjorts inom projektet innebär för de material som inte valts ut till djupstudierna. Därefter diskuteras möjligheter och utmaningar med de sju materialen som har djupstuderats följt av diskussion av osäkerheter i bedömningar och de avgränsningar som gjorts. Avslutningsvis lyfts förslag på områden för vidare utredning tillsammans med förslag på aktörer som kan driva utvecklingen framåt.

### 5.1 Vad säger multikriterieanalysen?

För att analysera och utvärdera materialens potential har arbetet strukturerats och genomförts som en multikriterieanalys. I analysen beaktas såväl tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska aspekter för att utvärdera filtermaterialen ur samtliga dimensioner av hållbarhet. Analysen ska ses som ett sätt att:

- strukturera information och bedöma vilka material som har störst potential att ersätta naturgrus trots de osäkerheter som finns kopplat till de olika kriterierna som beaktas,
- peka ut vilka kunskapsluckor som behöver fyllas för att minska osäkerheterna och möjliggöra så hållbara filtermaterial som möjligt i markbaserade anläggningar.

Den slutgiltiga bedömningen ska inte ses som ett skarpt val av vilket eller vilka material som ska användas som ersättningsmaterial till naturgrus. Bedömningen ska därmed inte heller ses som en mall för tillståndsprövning eller andra processer som drivs av myndigheter eller verksamhetsutövare och som innefattar val av filtermaterial.

Vid processer där ett skarpt val kring filtermaterial behöver fattas skulle vissa av de kriterier som finns i multikriterieanalysen i denna studie snarare utgöra ska-krav. Detta gäller exempelvis reningseffektivitet med avseende på organiskt material och näringsämnen samt risk för läckage av skadliga ämnen. Ska-kraven skulle i detta fall innebära att det är en förutsättning att materialen uppnår aktuella krav vad gäller reningseffektivitet och utsläpp av skadliga ämnen. Endast om ett material uppfyller dessa ska-krav går det vidare till bedömningen där andra kriterier ingår.

I denna studie har ska-krav inte använts av följande anledningar:

- Det finns stora osäkerheter i delar av det beslutsunderlag som tagits fram. När ska-krav tillämpas behöver sannolikt försiktighetsprincipen tillämpas, det vill säga om det är oklart om ett material klarar ett visst krav eller inte bör det tolkas som att materialet inte klarar kravet. Detta skulle kunna leda till att material som skulle kunnat ha god potential som filtermaterial utesluts.
- I vissa fall saknas också definierade kravgränser. Ett exempel på detta är att det saknas allmänna kravgränser för bakterieavskiljning i markbaserade anläggningar. Vad gäller läckage av skadliga ämnen saknas exempelvis kravgränser för PAH, PCB och metaller (exempelvis inom det frivilliga certifieringssystemet European Biochar Certificate). För ballast från tvättade schaktmassor är det otydligt vilka krav den befintliga standarden (SS-EN 132 42) ställer på materialet.

Den aktuella studien utesluter dock inte att de kriterier som ingår i analysen (multi-kriterieanalysen) kommer att kunna fungera som ska-krav. Exempelvis betraktar studien det som att ju större risker för läckage av skadliga ämnen ett material innebär desto mer omfattande kvalitetssäkring krävs för att säkerställa att materialet kan användas som filtermaterial i markbaserade rening. Om kraven i en etablerad kvalitetssäkring inte kan efterlevas ska det aktuella materialet inte användas som filtermaterial.

### 5.1.1 Skillnad mot tillståndsprovning

I en tillståndsprovning enligt miljöbalken av en liten avloppsanläggning är det främst kriterierna reduktion av organiskt material, bakterier, fosfor och kväve samt läckage av toxiska ämnen och mikroplast som är aktuella att bedömas (personlig kommunikation, Bodil Aronsson Forsberg och Åsa Gunnarsson, 2024-05-03). Även avfallshantering och livslängd är av intresse vid tillståndsprovning. Denna studie har haft ett bredare fokus och har som nämnts inte heller systematiskt tillämpat försiktighetsprincipen där osäkerheter finns kring resultatet för olika material inom olika kriterier. Det går därmed inte att säga att ett material får godkänt eller underkänt i en tillståndsprocess utifrån denna studie.

## 5.2 Urval av material till djupstudier

Många av de filtermaterial som initialt identifierades valdes bort på grund av avsaknad av expert, se avsnitt 4.1 "Identifierade filtermaterial samt urval av material". Det behöver dock inte innebära att materialet inte har potential som filtermaterial utan att det bedömdes som att kunskapsunderlaget var för litet för att kunna djupstudera materialet i denna studie.

Valet att utesluta reaktiva filtermaterial, som till exempel Polonite, i denna undersökning utesluter inte att materialet kan vara värdefullt att använda som komplement till en markbaserad anläggning för att uppnå bättre fosforrening.

Bland de material som valdes bort finns också material som exempelvis behöver transporteras från andra länder än Sverige, inte är effektiva för att rena BOD eller att inblandning av kompletterande material behövs för att materialet ska behålla strukturen, se avsnitt 4.1 "Identifierade filtermaterial samt urval av material". Det är inte uteslutet att de bortvalda materialen skulle kunna vara aktuella som ett av flera alternativa filtermaterial i framtiden, dock bedömer studien att det är de sju material från den förenklade bedömningen som bör vara i huvudfokus i en framtida utredning.

## 5.3 De djupstuderade materialens möjligheter och utmaningar

Resultatet från multikriterieanalysen visar att det totalt sett är liten skillnad mellan hur olika material presterar jämfört med varandra och jämfört med naturgrus. Materialet med högst poäng, bark, har en poäng på 0,35 och materialet med lägst poäng, biokol, har en poäng på -0,22 på skalan som ligger mellan -3 och 3, se Figur 23. Bark är dock endast lite bättre än naturgrus totalt sett medan biokol är

lite sämre än naturgrus. Skillnaden är dock större för individuella kriterier och för att erhålla ett sammanvägt poäng på exempelvis 3 måste materialet prestera mycket bättre än naturgrus (stor positiv effekt) på samtliga inkluderade kriterier.

I flera fall har material fått poängen -3, -2, 2 och 3 för vissa kriterier, se Tabell 26. Det förekommer därmed att filtermaterialens egenskaper har bedömts avvika betydligt från naturgrus i vissa avseenden. Dock tar effekten av dessa fördelar och nackdelar generellt sett ut varandra eftersom den tillämpade tekniken (linjär additiv) för multikriterieanalys tillåter compensation mellan kriterier då poängen viktas ihop. Krossad betong har exempelvis fått såväl betyg -3 som betyg 3 inom flera kriterier. När dessa kriterier vägs ihop tas dock effekterna av dem ut helt och hållet (eftersom viktningen av kriterierna inte skiljer sig så mycket åt) varpå totalpoängen blir 0,07 jämfört med naturgrus, det vill säga väldigt likvärdigt. Sammanfattningsvis har alla material sina för- och nackdelar, vilket beskrivs i avsnitt 5.3.1–5.3.7. Baserat på den sammanvägda bedömningen bör alla material ses som möjliga alternativ till naturgrus förutsatt att de uppfyller de ska-krav som ställs av relevant myndighet. Bark, däckklipp och morän har dock fått något högre sammanvägt totalpoäng än övriga material och kan därmed anses vara lite extra prioriterade att utreda vidare som filtermaterial i markbaserade anläggningar.

### 5.3.1 Bark

Det goda resultatet för bark (total sammanvägd bedömning 0,35) beror främst på att bark är det starkaste materialet inom de miljömässiga kriterierna (1,08) samtidigt som poängen inom de sociala kriterierna, liksom för de flesta andra material, är bra (1,25). Inom de ekonomiska och tekniska kriterierna är resultatet negativt men avvikelserna mot naturgrus är relativt liten (-0,39 respektive -0,22). Detta gör att det positiva resultatet dominerar för bark.

Sammantaget är bark ett starkt material som bedöms ha den högsta samhälleliga acceptansen av alla material, se Tabell 26. Bark används redan idag i privata trädgårdar och betraktas som ett naturligt, förnybart och cirkulärt material. Liksom de andra materialen klassas bark som förknippat med lägre intressekonflikt vid användning än naturgrus. I vissa fall har övriga material dock fått högre poäng än bark. Den något lägre poängen hos bark beror på att det pågår en omställning till ett biobaserat samhälle. I och med denna omställning kan det uppstå konflikter mellan användning av bark till markbaserade anläggningar och andra områden, till exempel produktion av bioenergi eller biokol.

Bark som restprodukt från skog är ett cirkulärt material vilket ger höga poäng inom kriteriet användning av icke-förnybara resurser. Även om bark inte skulle vara en restprodukt skulle det få höga poäng inom kriteriet på grund av att det är ett förnybart material. Den låga volymvikten hos bark ger ett högt betyg inom kriteriet klimatpåverkan från transporter. Bark har fått poängen 0 inom kriteriet klimatpåverkan vid framställning. Denna bedömning är dock förenad med stor osäkerhet eftersom det inte kunnat hittas data på koldioxidutsläpp från tillverkning av bark som är lämplig att använda som filtermaterial i markbaserade anläggningar. Det är saknas även information om vilka processteg som behövs för att ta fram bark som fungerar i markbaserade anläggningar vilket gör bedömningen än mer osäker.

Det finns stora volymer bark tillgängliga i Sverige idag. En stor osäkerhet vad gäller tillgängligheten för bark är dock att det är okänt vilken kravspecifikation bark bör uppfylla för att kunna fungera som filtermaterial i markbaserade anläggningar.

Detta är okänt på den nivån att det inte heller i dagsläget går att säga att det finns svenska produkter som kommer gå att använda till detta ändamål. Av denna anledning har produktens mognadsgrad bedömts som mycket sämre än för naturgrus. Idag varierar kostnaden för olika barkprodukter från ungefär samma kostnad per volymvikt till cirka tio gånger kostnaden för naturgrus. Detta ger en osäkerhet kring vad lämplig bark kostar. Det är även osäkert vilka krav som ska ställas på materialet för att till exempel kunna uppnå tillräcklig reningseffektivitet och minimera risk för läckage av skadliga ämnen, vilket också bidrar till osäkerhet kring kostnad för bark.

Bark har något sämre reningseffektivitet med avseende på bakterier och virus än övriga material (inkl. naturgrus). För att bark ska kunna ersätta hela filtermassan av naturgrus i en markbaserad anläggning behöver det avgöras om denna minskning i reningseffektivitet är acceptabel eller inte. Resultaten gällande reningseffektivitet för organiskt material, kväve och metaller är inte sämre än för naturgrus, men är förknippande med stor osäkerhet. För organiskt material och näringsämnen behöver det säkerställas att reningseffektiviteten är tillräcklig.

Bark är det material som har högst reningseffektivitet med avseende på organiska föroreningar som både är persistenta och mobila. Även om inte bark skulle kunna användas till att ersätta hela filtermassan av naturgrus skulle det baserat på reningseffektivitet fortfarande kunna vara intressant att använda bark som del av filtermaterialet i en markbaserad anläggning. På samma sätt har bark eventuellt också något bättre fosforrening än naturgrus vilket också skulle kunna vara en bra egenskap för att använda bark som ett delmaterial. Resultaten om fosforrening är dock som nämnts osäkra.

Bark är det material som fått lägst betyg vad gäller livslängd. Här antas nedbrytning av materialet kunna leda till att material behöver bytas ut relativt ofta dels på grund av att material försvinner, dels på grund av risk för att materialet sätts igen. I Frankrike används bark från medelhavstall i modullösningar för rening av hushållspillvatten. Hos dessa anläggningar behöver cirka 15 % av materialets volym fyllas på cirka vart tionde år. Det finns dock ingen kunskap om svenska barkprodukter skulle fungera för rening av hushållspillvatten i omättade filter under svenska förhållanden.

### 5.3.2 Däckklipp

Även däckklipp fick höga poäng i den sammanlagda bedömningen (0,27), se Figur 23. Däckklipp är det material som fått högst poäng inom de tekniska kriterierna (0,46) och ett av de två material som fått högst betyg för de sociala kriterierna (1,75). Det starka resultatet hos dessa två kriterier gör att däckklipp får ett relativt högt slutresultat trots övervägande negativt resultat inom de ekonomiska och miljömässiga kriterierna (-0,78 respektive -0,27).

Däckklipp har högre reningsresultat än naturgrus vad gäller rening av bakterier och virus samt även i viss mån fosfor och kväve, se Tabell 26. Inga dataunderlag har hittats för bedömning av reningseffektivitet för metaller och vissa typer av organiska föroreningar. Likaså saknas dataunderlag i bedömningen av klimatpåverkan vid framställning, vilket gör osäkerheten mycket stor. På grund av däckklippens låga volymvikt jämfört med naturgrus har klimatpåverkan vid transporter bedömts vara lägre än för naturgrus. Materialet bedöms inte heller leda till några intressekonflikter för resursanvändning ur ett samhällsperspektiv. Eftersom däckklipp är ett cirkulärt material har det fått höga poäng vad gäller användning av

förnybara resurser. Detta eftersom bedömningen av kriteriet har utgått ifrån att om ett material är återvunnet kommer inte jungfruliga resurser att tas i anspråk. Bedömningen har i detta fall utgått från antagandet att ökad återanvändning av däckklipp inte kommer att hindra att uttjänta däck används för framställning av nya däck. Antagandet motiveras med att majoriteten av uttjänta däck idag återvinns genom energiutvinning (förbränning) (Naturvårdsverket, 2023b), och att det är den återvinningskategorin som kan antas påverkas i första hand.

Även om innehållet i däck har förbättrats de senaste åren innehåller däck i sig skadliga ämnen vilket gör att det är svårt att bortse från risk för läckage av skadliga ämnen så länge detta inte kan säkerställas med absolutitet. Med bakgrund i detta kan projektet inte utesluta potentiell risk för läckage av såväl organiska miljögifter som mikroplast. På grund av nyhetsrapportering om risk för läckage av mikroplast i konstgräsplaner och fortsatt skepsis på grund av tidigare innehåll i däck bedöms allmänhetens acceptans för däckklipp också vara låg. Däckklipp för användning i markbaserade anläggningar säljs idag av ett företag som uppger att däckklippen kontrolleras för att uppfylla krav enligt EUs Reach-lagstiftning. Om nya företag etableras på marknaden finns det dock ingen branschgemensam kravspecifikation att följa. För att minska risk för läckage av skadliga ämnen, och öka acceptansen, behövs branschgemensam eller oberoende kravspecifikation och kvalitetskontroll av däckklipp. Denna kravspecifikation bör innehålla gränsvärden för läckage av skadliga ämnen. Det däckklipp som inte håller sig inom dessa gränsvärden ska inte användas som filtermaterial i markbaserade anläggningar.

För att summera kan däckklipp vara ett prioriterat material med flera fördelar under förutsättning att det går att kontrollera läckage av skadliga ämnen. Dock är däckklipp ett material som endast finns i begränsad volym. Den totala mängden däck som samlas in per år är cirka 270 000 m<sup>3</sup>. Enligt branschföreträdare skulle mängden kunna fördubblas om efterfrågan ökar. Med tanke på att volymen ersättningsmaterial som behövs för ersätta naturgrus uppskattas ligga på 84 000–210 000 m<sup>3</sup> per år är det rimligt att utgå ifrån att däckklipp som enskilt material inte kommer kunna ersätta hela volymen naturgrus. I första hand bör det undersökas hur stor del av de insamlade däcken som kan användas till att göra nya däck. För den andel däck som går till däckklipp finns även andra möjliga användningsområden.

### 5.3.3 Grov morän

Det goda resultatet hos morän, totalpoäng 0,20, beror främst på att morän finns i stora tillgängliga volymer. Morän är till skillnad från naturgrus inte viktigt för Sveriges vattenförsörjning och har därför högre poäng än naturgrus vad gäller intressekonflikt vid resursanvändning, se Tabell 26. Nackdelarna är få och små vilket bidrar till materialets positiva totalpoäng. Morän har endast fått negativa poäng för kriterierna klimatpåverkan vid framställning och produktens mognadsgrad och då endast liten negativ effekt.

De stora tillgängliga volymerna av morän har dock sina begränsningar. Det finns regionala skillnader på den generella tillgången på morän och dessutom bedöms morän på sina håll innehålla för mycket finmaterial för att fungera som filtermaterial enligt den tillämpning som definieras av detta projekt. Bland den grövre typ av morän som bör kunna vara lämplig som filtermaterial behöver sannolikt modifiering ske för att materialet ska vara lämpligt som filtermaterial i markbaserade anläggningar. Exempelvis är morän till sin karaktär ofta ojämnt

graderad (det vill säga har en stor spridning av olika kornstorlekar) vilket liksom för stor andel finmaterial också kan bidra till att vattengenomsläppligheten blir för låg. Sortering och blandning är processteg som sannolikt kan behöva ingå för att modifiera morän. Krossning kan eventuellt också behövas i vissa fall. Den osäkerhet som finns kring dessa processteg har bidragit till att osäkerheten bedömts som stor vad gäller klimatpåverkan för framställning av morän.

En stor osäkerhet hos morän är att det saknas dataunderlag om renings-effektivitet som är direkt tillämpbar på att använda morän som filtermaterial i markbäddar eller förstärkningslager i infiltrationsanläggningar. Dock sker rening av avloppsvatten genom morän vid många infiltrationsanläggningar i Sverige med anledning av att den befintliga marken består av morän. Därav har antagandet gjorts att reningseffektiviteten är motsvarande för morän som för naturgrus. Det är ett rimligt antagande men ingen självklarhet på grund av olika kravspecifikationer på markbäddar respektive infiltrationsanläggningar och det material som används till olika ändamål i respektive anläggning. Då anläggningstyperna har olika kravspecifikationer skulle det dock behöva säkerställas att reningseffektiviteten är tillräcklig för morän som används till filtermaterial i markbäddar och förstärkningslager i infiltrationsanläggningar.

Projektet anser att det är prioriterat att titta vidare på om grov morän kan vara ett alternativt filtermaterial till Naturgrus. SGU har kommenterat att nästa steg vore att bedöma om SGUs befintliga jordsartskarta är tillräcklig (personlig kommunikation Mattias Göransson, 2024-03-14). Om så inte är fallet bör SGU få i uppdrag att utföra mer detaljerade jordartsundersökningar.

#### 5.3.4 Krossad betong

Krossad betong hör till de material som fått en slutpoäng som ligger mycket nära naturgrus (0,07), se Figur 23. Krossad betong är relativt starkt vad gäller de tekniska och sociala kriterierna (0,20 respektive 1,5) och relativt svagt vad gäller de miljömässiga kriterierna (-0,65). Vad gäller de ekonomiska kriterierna är krossad betong lite sämre än naturgrus (-0,30) men bättre än flera av de andra materialen.

Sammanställningen av reningseffektivitet visar att krossad betong sticker ut med en mycket god reningseffektivitet av bakterier och virus, se Tabell 26. Det bör dock tilläggas att detta resultat är förknippat med stor osäkerhet. Det är också intressant att reningen av organiskt material samtidigt är något sämre hos krossad betong än hos naturgrus eftersom god rening av smittämnen ofta hänger samman med god rening av organiskt material hos naturgrus. Mekanismerna för reduktion/fastläggning av smittämnen respektive organiskt material är dock delvis olika vilket gör att resultatet inte bedöms som orimligt. Krossad betong verkar i övrigt ha något sämre fosforrening och något sämre kväverening än naturgrus. För organiska föroreningar och metaller saknas dataunderlag.

I övrigt ligger styrkorna hos krossad betong i att materialet är cirkulärt och därmed inte förbrukar några jungfruliga (icke förnybara) resurser. Användning av materialet anses inte heller orsaka någon intressekonflikt i relation till samhällsviktiga resurser eller funktioner.

Svagheter hos krossad betong ligger framför allt i att betong kan innehålla skadliga ämnen. Sexvärt krom, som är cancerframkallande, kan ha uppstått vid betongframställningen. Dessutom kan rivningsbetong ha förorenats av exempelvis PAH och PCB från den byggnad där betongen ingick. Liksom för övrigt med mine-



raliskt ursprung kan också metaller förekomma. Dessa risker behöver kontrolleras för att betong ska kunna användas som filtermaterial i markbaserade anläggningar. Krossad betong innehåller ofta en relativt hög finmaterialhalt (15–20 %) vilket sannolikt medför att det behövs modifiering av materialet för att inte vattengenomsläppligheten ska bli för låg för användning som filtermaterial i markbaserade anläggningar. För att uppnå önskad vattengenomsläpplighet och minimera risk för läckage av skadliga ämnen behövs kravspecifikation och kvalitetskontroll för krossad betong för ändamålet.

Begränsade dataunderlag har lett till stor osäkerhet inom kategorierna samhällelig acceptans, klimatpåverkan vid framställning och tillgängliga volymer. Vad gäller tillgängliga volymer finns dock ett expertutlåtande att volymerna krossad betong som uppstår i Sveriges städer troligen bör räcka för ändamålet filtermaterial i markbaserade anläggningar.

En övrig fråga som bör studeras vidare är livslängden hos krossad betong som filtermaterial. De studier som inkluderats tyder på god funktion under försökstiden. Studiernas försökstid har dock varit betydligt kortare än förväntad livslängd hos en markbaserad anläggning med naturgrus som filtermaterial. Samtidigt kan eventuellt karbonatisering i betongen bidra till igensättningseffekter över tid.

### 5.3.5 Ballast från tvättade schaktmassor

Ballast från tvättade schaktmassor hör till de material som fått en slutpoäng som ligger mycket nära naturgrus (0,01), se Figur 23. Ballast från tvättade schaktmassor är ett av de två starkaste materialen vad gäller de sociala kriterierna (1,75) medan resultatet är negativt för de ekonomiska och miljömässiga kriterierna (-1,13 respektive -0,27). För de tekniska kriterierna saknas dataunderlag om reningseffektivitet och bedömningen kring livslängd har stor osäkerhet, se Tabell 26. Såväl renings-effektivitet som livslängd uppskattas vara likvärdiga med naturgrus. Uppskattningen bedöms vara rimlig med tanke på att materialet bedöms vara mycket likvärdigt med naturgrus vad gäller innehåll, kornstorleksfördelning och kornform. Detta förutsätter dock att det exempel som studerats i projektet är representativt för ballastsorteringar som kan utvinnas ur tvättade schaktmassor, se Figur 12.

Styrkorna hos ballast från tvättade schaktmassor ligger främst i att det är ett cirkulärt material och därmed inte förbrukar några (icke förnybara) resurser. Användning av materialet anses inte heller orsaka någon intressekonflikt i relation till samhällsviktiga resurser eller funktioner.

Bland svagheter finns att ballast från tvättade schaktmassor kan vara förknippat med risk för läckage av skadliga ämnen. Riskerna innefattar främst PAH, metaller och oljor och kan variera mycket beroende på var schaktmassorna hämtats. Riskerna är exempelvis större vid tidigare industrimark. I dagsläget finns en standard för ballast från schaktmassor som används för fyllnadändamål och för dränering, SS-EN 132 42. För närvarande är dock kraven som ställs otydliga vad gäller toxiska ämnen. För att ballast från tvättade schaktmassor ska vara gångbart som filtermaterial i markbaserade anläggningar skulle krav också behöva anpassas till det användningsområdet.

Det finns stor osäkerhet vad gäller bedömningarna av klimatpåverkan vid framställning, hälso- och arbetsmiljörisker samt samhällelig acceptans. Ballast från tvättade schaktmassor har fått ett relativt lågt betyg vad gäller tillgängliga volymer. Detta baseras på producerade volymer av tvättade schaktmassor vid två kända

stationer för uppgradering av schaktmassor (där man framställer en produkt som skulle kunna passa att användas i markbaserade anläggningar). Totalt produceras cirka 130 000 m<sup>3</sup> tvättad ballast per år vid dessa stationer. Denna ballast har som nämnts egenskaper som är mycket likvärdiga med naturgrus vad gäller innehåll, kornstorleksfördelning och kornform. Den totala mängden återvunnen ballast uppges vara cirka 2 miljoner ton ballast per år, vilket motsvarar cirka 1,3 miljoner m<sup>3</sup> ballast per år räknat på en volymvikt på 1,55 ton/m<sup>3</sup>. Det är dock okänt hur stor andel av denna ballast som behandlas på ett sätt som gör att den skulle kunna passa för ändamålet markbaserade anläggningar och projektet har gjort antagandet att det endast rör sig om en mindre andel.

### 5.3.6 Bergkross

Bergkross hör till de material som fått en slutpoäng som ligger mycket nära naturgrus (-0,01), se Figur 23. Bergkross har ett positivt resultat inom de sociala och ekonomiska kriterierna (1,00 respektive 0,48) och negativt resultat inom de miljömässiga kriterierna. För de tekniska kriterierna blir den sammanvägda poängen 0,00 för bergkross.

Bergkross har bättre reningseffektivitet för bakterier och virus än naturgrus, se Tabell 26. Däremot är reningseffektiviteten för persistenta och mobila organiska föroreningar sämre än för naturgrus. Fosforreningen är också lite sämre för bergkross än naturgrus. Med den aktuella viktningen, där bakterier och virus fått något högre vikt än övriga ämnen, ger detta ett slutresultat där poängen tar ut varandra. Alla andra reningsresultat än resultaten för organiskt material är dock förknippade med stor eller mycket stor osäkerhet.

En styrka för bergkross är att det finns i relativt stora tillgängliga volymer. Jämfört med de flesta av de övriga materialen har utvärderingen av bergkross som filtermaterial till markbaserade anläggningar kommit relativt långt. Materialspecifikation finns och material som uppfyller specifikationen har testats i full skala. Det finns två huvudmetoder för att modifiera bergkross till att passa bättre som filtermaterial till markbaserade anläggningar, sortering och blandning respektive tvättning (Ulinder m.fl., 2019). Sortering och blandning är en billigare metod än tvättning och bör vara tillgänglig för de flesta täkter (Ulinder m.fl., 2019). Sortering och blandning kan till exempel gå till så att ett bergkrossmaterial med kornstorlek 0–8 mm delas upp i delsorteringarna 0–2 mm, 2–4 mm och 4–8 mm. Därefter blandas delsorteringarna för att uppnå önskad kornstorleksfördelning. Dock kommer ursprungsmaterialets egenskaper och taktens sorteringsmöjligheter att göra att vissa täkter har svårt att få fram ett bra material (Ulinder m.fl., 2019). Det kan även vara svårt att få jämn kvalitet på materialet med metoden (Ulinder m.fl., 2019). Tvättning går ut på att avlägsna det material som har en kornstorlek mindre än 0,063 mm. Det kan göras genom exempelvis vindsiktning och våtklassering. Utrustning för sådan bearbetning är dock dyr och därför endast rimlig för ett fåtal täkter (Ulinder m.fl., 2019). Filtermaterial till markbaserade anläggningar är ett för täkterna begränsat användningsområde vilket gör det mindre sannolikt att investeringar kan göras baserat på efterfrågan inom användningsområden. Det vore dock lämpligt att utreda möjligheterna till samproduktion med andra användningsområden, som exempelvis olika varianter av betongballast, annan typ av vattenrening, markbyggnad i städer, lekplatser och gjuterisand (Ulinder m.fl. 2019).

Liksom de andra materialen resulterar användning av bergkross i låg intressekonflikt med andra samhällsviktiga områden. Däremot bedöms klimatpåverkan som högre än för övriga material på grund av sprängning och krossning av berg. Krossningen leder till ökade risker för kvartsdamm vilket har bidragit till att ge ett något lägre betyg för hälso- och arbetsmiljörisker. De nya ytorna som frigörs vid krossning av berg är mer benägna att vittra än äldre ytor, vilket bidrar till en lite högre risk av läckage av skadliga ämnen om sådana finns i materialet. Liksom för allt ballastmaterial ska man alltid utreda lokal bergartssammansättning och vilka risker den aktuella bergarten är förknippad med.

### 5.3.7 Biokol

Biokol är det enda material som fått tydligt sämre resultat än naturgrus, även om skillnaden fortfarande är liten (-0,22), se Figur 23. Biokol har framför allt fått ett negativt resultat från de ekonomiska kriterierna (-2,57). Inom de tekniska kriterierna har biokol ett lite negativt resultat (-0,17) medan resultatet är positivt hos de sociala och miljömässiga kriterierna (0,63 respektive 0,50).

Det mycket negativa resultatet för de ekonomiska kriterierna beror på att biokol har måttlig eller stor negativ effekt på samtliga delkriterier, se Tabell 26. Tillgängliga volymer är i dagsläget små, cirka 20 000 m<sup>3</sup> per år om biokolets densitet antas vara i det högre spannet enligt Tabell 6. Dock är det mycket möjligt att volymerna ökar under kommande år i och med att ett flertal pyrolysanläggningar är på väg att etableras i Sverige. Det bedöms vara en bra bit kvar innan biokol kan användas som filtermaterial i markbaserade anläggningar eftersom det saknas kravspecifikation samtidigt som biokol kan vara förknippat med såväl risk för igensättning som risk för läckage av skadliga ämnen. Biokol är också ett relativt dyrt material per m<sup>3</sup> jämfört med naturgrus. Kostnaden är dock förknippad med stor osäkerhet eftersom olika typer av biokol kan ha alltifrån ungefär samma pris per m<sup>3</sup> som naturgrus till cirka 100 gånger högre pris. Vilken prisklass av biokol som passar som filtermaterial till markbaserade anläggningar är dessutom okänt.

Biokol har lite högre reningseffektivitet med avseende på bakterier och virus samt persistenta och mobila föroreningar än vad naturgrus har. Däremot har biokol mycket sämre reningseffektivitet vad gäller metaller jämfört med naturgrus. Dataunderlaget är relativt bra för alla ämnen förutom kväve. Livslängden för biokol har bedömts vara något lägre än naturgrus. Det baseras på en studie som undersökt ett sandfilter med biokol under ett år. Studien fann inga tecken på igensättning efter ett år, men däremot uppgavs att biokol i viss mån smulades sönder vid hantering, något som potentiellt skulle kunna bidra till risk för igensättning. Bedömningen är dock förenad med stor osäkerhet.

På grund av att biokol tillverkas från cirkulära eller förnybara ursprungsmaterial bedöms det inte förbruka några icke förnybara resurser. Biokol innebär inte heller i sig att samhällsviktiga resurser förbrukas. Däremot kan stor efterfrågan på olika typer av bioprodukter uppstå på grund av omställning till biobaserat samhälle, vilket kan medföra konkurrens mellan användningsområdet filtermaterial i markbaserade anläggningar och andra användningsområden. Den låga vikten hos biokol gör att materialet bedöms leda till mindre klimatpåverkan vid transporter än naturgrus.

Hälso- och arbetsmiljöriskerna bedöms vara höga för biokol eftersom biokol i vissa fall är toxiskt samtidigt som damning kan vara ett större problem för biokol än för naturgrus. Dessutom finns risk att materialet självantänder. Riskerna för läckage av PAH'er, metaller och näringsämnen anses vara högre än för naturgrus. Såväl risker för läckage av skadliga ämnen som hälso- och arbetsmiljörisker behöver kunna hanteras på ett godtagbart sätt för att biokol ska vara gångbart som filtermaterial i markbaserade anläggningar.

Flera kriterier relaterar till det antagande som gjordes när materialet valdes ut till djupstudien, det vill säga att biokol inte är lämpligt för att ensamt ersätta hela filtermassan av naturgrus i en markbaserad anläggning, på grund av exempelvis risk för söndermulning och högt pris. Däremot kan det vara bra som kompletterande material tillsammans med annat material, exempelvis för att förbättra reningseffektiviteten av smittämnen eller persistenta och mobila organiska mikroförureningar.

### 5.3.8 Osäkerheter och högt viktade kriterier

För att förstå möjligheter och utmaningar kring varje material är det viktigt att ta hänsyn till osäkerheterna i bedömningen. Detta gäller särskilt om osäkerheten för ett kriterium och material är stor eller mycket stor – eftersom materialet skulle kunna vara presterar betydligt sämre än vad det bedömts göra. För material som i nuläget redan presterar måttligt sämre eller mycket sämre än naturgrus för vissa kriterier så är det också viktigt att ta hänsyn till måttlig osäkerhet i bedömning, eftersom materialets prestation kan riskera att bli kritiskt dålig.

I ett försök att fånga hur osäkerheter påverkar viktiga kriterier osäkerheter och poäng för de fyra högst viktade kriterierna lyfts fram i avsnitt 4.9.4. Dessa kriterier utgörs av:

- Läckage av toxiska ämnen samt mikroplaster (miljömässigt kriterium)
- Intressekonflikt resursanvändning (socialt kriterium)
- Livslängd (tekniskt kriterium)
- Reningseffektivitetens med avseende på organiskt material (tekniskt kriterium)

Här framgår att däckklipp och krossad betong har de största negativa effekterna (-3) med avseende på läckage av toxiska ämnen och mikroplast, se Tabell 28. Osäkerheten har satts till måttlig i båda fallen. Bark och biokol har båda en negativ effekt (-2 respektive -1) med avseende på livslängd samtidigt som dessa bedömningar har en stor osäkerhet. Dessa bedömda negativa effekter och osäkerheter behöver kunna förbättras/kontrolleras genom kvalitetssäkring om för att materialen i fråga ska fungera som filtermaterial.

Det är här viktigt att koppla an till det faktum att bedömningen i detta projekt inte har använt sig av ska-krav (se avsnitt 5.1). Skulle ett skarpt val av material göras är det dock mycket möjligt att ska-krav kan behöva tillämpas, vilket i det fallet kan göra att material utesluts. Skulle ska-krav exempelvis tillämpas på risk för läckage av skadliga ämnen eller livslängd skulle det vara möjligt att till exempel däckklipp och bark skulle ha uteslutits som material, även fast de fått högst totalpoäng i bedömningen i denna rapport.

Osäkerheterna i bedömningen respektive de avgränsningar som gjorts beskrivs mer utförligt i avsnitt 5.4 respektive 5.5.

### 5.3.9 Utredningsbehov per material

I nedanstående listor beskrivs vad som huvudsakligen behöver utredas kring de material som ingått i djupstudien för att materialen ska kunna användas som filtermaterial.

#### BARK

En avgörande fråga för bark är om livslängden är tillräcklig. Följande är prioriterat att utreda för att kunna använda bark som filtermaterial:

- Finns det ett barkmaterial som kan tas fram nationellt och som har tillräckligt hög livslängd, det vill säga som inte börjar brytas ner inom relativt kort tid och därmed bidrar till risk för igensättning respektive läckage av nedbrytningsprodukter som exempelvis BOD?
- Har dessa barkmaterial i så fall godtagbar rening av bakterier och virus, organiskt material och näringsämnen?
- Vilken kravspecifikation ska i så fall gälla för barkmaterialet?
- Hur ser den nationella tillgången för bark ut med den aktuella kravspecifikationen?
- Vilket pris har bark med den aktuella kravspecifikationen och hur ser kostnaden ut vid hänsyn till livslängd?
- Om det bedöms möjligt att hitta bark med tillräcklig livslängd vore det även viktigt med jämförande studier av reningseffektivitet med enhetlig försöksuppställning (tillsammans med andra material).

#### DÄCKKLIPP

En avgörande fråga för däckklipp är om riskerna för läckage av skadliga ämnen kan kontrolleras. Följande är prioriterat att utreda för att kunna använda däckklipp som filtermaterial:

- En branschgemensam eller oberoende kravspecifikation och kvalitetskontroll av däckklipp behöver tas fram för att minska risk för läckage av skadliga ämnen (inklusive mikroplatser). Denna kravspecifikation bör innehålla gränsvärden för skadliga ämnen.
- Jämförande studier av reningseffektivitet med enhetlig försöksuppställning (tillsammans med andra material).

#### GROV MORÄN

En avgörande fråga för morän är tillgången på morän med tillräckligt god vattengenomsläpplighet (grov morän). Följande är prioriterat för att kunna använda morän som filtermaterial:

- Bedöma om SGUs befintliga jordsartskarta är tillräcklig för att avgöra var lämplig morän finns (grövre typ av morän).
- Om SGUs befintliga jordsartskarta är inte tillräcklig bör SGU få i uppdrag att utföra mer detaljerade jordartsundersökningar för att avgöra var lämplig morän finns.

- Den grövre morän som bedöms vara lämplig som filtermaterial behöver sannolikt ändå modifiering för att kunna användas som filtermaterial i markbaserade anläggningar. Det kan handla om sortering och blandning och eventuellt även krossning. Behoven av sådan modifiering behöver utredas.
- Möjligheterna till modifiering och hur dessa fördelar sig geografiskt i förhållande till behoven behöver också utredas.
- Jämförande studier av reningseffektivitet med enhetlig försöksuppställning (tillsammans med andra material).

## KROSSAD BETONG

En avgörande fråga för krossad betong är att kontrollera läckagerisker samt att det går att säkerställa tillräcklig vattengenomsläpplighet. Följande är prioriterat för att kunna använda krossad betong som filtermaterial:

- Kravspecifikation behövs tas fram för kunna kontrollera de risker för läckage av skadliga ämnen som kan vara förknippade med betong. Denna kravspecifikation bör innehålla gränsvärden för skadliga ämnen.
- Eftersom krossad betong i regel innehåller stor andel finmaterial behöver behovet av modifiering av materialet utredas.
- Utreda igensättningseffekter i krossad betong över tid (på grund eventuella effekter av karbonatiseringen hos materialet).
- Jämförande studier av reningseffektivitet med enhetlig försöksuppställning (tillsammans med andra material).

## BALLAST FRÅN TVÄTTADE SCHAKTMASSOR

En avgörande fråga för ballast från tvättade schaktmassor är att kontrollera läckagerisker. Följande är prioriterat för att kunna använda ballast från tvättade schaktmassor som filtermaterial:

- Kravspecifikation behöver tas fram för kunna kontrollera de risker för läckage av skadliga ämnen som kan vara förknippade med betong. Denna kravspecifikation bör innehålla gränsvärden för skadliga ämnen.
- Geografisk tillgänglighet hos schaktmassor med rätt behandling/egenskaper behöver utredas.
- Jämförande studier av reningseffektivitet med enhetlig försöksuppställning (tillsammans med andra material).

## BERGKROSS

En avgörande fråga för bergkross är möjligheter att modifiera bergkrossmaterial så att det får rätt vattengenomsläpplighetsegenskaper. Följande är prioriterat för att kunna använda bergkross som filtermaterial:

- Utredning av geografisk spridning av möjligheter till modifiering av bergkross.
- Utredning av möjligheterna till samproduktion med andra användningsområden, som exempelvis olika varianter av betongballast, för att ta fram ett material med rätt egenskaper.

## BIOKOL

Avgörande frågor för biokol är kostnad, risk för läckage av skadliga ämnen och arbetsmiljörisker så att det får rätt vattengenomsläpplighetsegenskaper. Följande är prioriterat för att kunna använda biokol som filtermaterial:

- Utredda möjligheterna att använda biokol tillsammans med andra material för att öka reningsförmågan (rent tekniskt samt ekonomiskt).
- Ta fram kravspecifikation på biokol så att risker för läckage av skadliga ämnen kan hanteras på ett godtagbart sätt.
- Ta fram rutiner för hantering av biokol så att arbetsmiljörisker kan hanteras på ett godtagbart sätt.
- Jämförande studier av reningseffektivitet med enhetlig försöksupställning (tillsammans med andra material).

## 5.4 Osäkerheter i bedömningen

Projektets resultat innefattar osäkerheter inom (1) bedömning utifrån respektive kriterium som inkluderats och (2) faktorer som ligger vid sidan av de kriterier som inkluderats i projektet. Osäkerheter finns också med tanke på att vissa faktorer inte kunnat tas med i bedömningen, detta diskuteras i avsnitt 4.5.

De osäkerheter som ligger inom den bedömning som projektet gjort kan delas in i:

- Osäkerheter inom varje kriterium i MKA:n på grund av begränsat dataunderlag eller motstridighet i dataunderlaget. Dessa osäkerheter har delats in i fyra osäkerhetsnivåer som beskrivs i avsnitt 3.2. En sammanställning av bedömda osäkerheter inom varje kriterium visas i Tabell 27.
- Osäkerheter kan finnas även om dataunderlaget har ansetts vara tillräckligt och samstämmigt. Eftersom dataunderlaget kommer från tidigare genomförda studier kan förutsättningarna för dessa studier variera. Det är heller inte alltid känt under vilka förutsättningar vissa dataunderlag tagits fram.
- I den totala bedömning av materialens potential som gjorts med hjälp av MKA har olika kriterier viktats. Viktningen har gjorts genom en subjektiv bedömning i projektet och utgör därmed en källa till osäkerhet.

### 5.4.1 Bedömda osäkerheter i MKA:n

De kriterier som är förknippade med stor eller mycket stor osäkerhet för minst två material i MKA:n utgörs av:

- Reningseffektivitet
- Livslängd
- Klimatpåverkan vid framställning
- Tillgängliga volymer
- Samhällelig acceptans
- Materialens kostnad

Gällande reningseffektivitet saknas helt dataunderlag för morän och ballast från tvättade schaktmassor, se Tabell 27. I dessa fall har resultatet antagits vara likvärdigt med naturgrus. Detta kan anses vara ett rimligt antagande, särskilt för ballast från tvättade schaktmassor där den typiska kornstorleksfördelningen bedöms vara mycket lik den för naturgrus. För morän skiljer sig den typiska kornstorleksfördelningen från naturgrus, och kommer antagligen i viss mån att göra det även efter modifiering. Detta skulle kunna leda till skillnader i reningseffektivitet och är något som skulle behöva undersökas vidare i framtiden.

Dataunderlag om reningseffektivitet saknas även för alla material utom bark och biokol för organiska föroreningar av grupperna P respektive PB & PBM. För organiska föroreningar av grupp PM saknas dataunderlag för restbetong. För metaller saknas dataunderlag för alla material utom biokol. När dataunderlag har saknats har reningseffektiviteten antagits vara likvärdig med naturgrus. Det saknas dock grund för det antagandet och ett alternativ hade kunnat vara att i stället basera antagandet från materialets reningseffektivitet för andra ämnen.

Vissa reningsresultat är också förknippade med stor osäkerhet. Det gäller exempelvis bakterierening för bergkross och krossad betong samt fosforering för bark och bergkross. För bark är även reningen av organiskt material förknippad med stor osäkerhet. Dessa reningsresultat är viktiga för funktionen hos ett filtermaterial i markbaserade anläggningar och dataunderlaget skulle behöva kompletteras för att få säkrare resultat.

Vad gäller livslängd är dataunderlaget förknippat med stor osäkerhet för ballast från tvättade schaktmassor, bergkross och biokol. Bedömningen har sammanställt studier som pågått i ett år eller längre. De flesta studier som ingår har dock bara löpt över ett eller ett fåtal år, vilket därmed är betydligt kortare tid än förväntad och önskad livslängd hos en markbaserad anläggning. Studier över längre tid skulle behövas för att fylla kunskapsluckorna.

För klimatpåverkan vid framställning saknas dataunderlag för bark och däckklipp. Det råder även stor osäkerhet för morän, krossad betong och ballast från tvättade schaktmassor. För bark saknas också kännedom om vilka processteg som behöver ingå för att få fram ett material som passar till markbaserade anläggningar. För tillgängliga volymer råder stor osäkerhet kring bark, biokol och krossad betong. Uppskattning av den samhälleliga acceptansen är förknippad med stor osäkerhet för ballast från tvättade schaktmassor, däckklipp och krossad betong. För både biokol och bark är prisspannet stort. Kostnaden beror på vilken variant av materialen som är passande för användning till markbaserade anläggningar, vilket inte är känt i dagsläget.

Alla nämnda osäkerheter skulle behöva minskas genom framtida studier, med särskild prioritering på reningseffektivitet, livslängd och tillgängliga volymer.

## 5.4.2 Osäkerheter på grund av olika förutsättningar

Detta projekt har syftat till att sammanställa data från projekt som gjorts tidigare. Detta gör att förutsättningarna kan vara olika för de studier som har studerats. Detta gäller exempelvis reningseffektivitet för olika ämnen där förutsättningar som typ av vatten, belastande flöde, koncentration av olika ämnen i inkommande vatten, materialdjup, materialegenskaper (kornstorlek, porositet m.m.) och eventuella blandningar av material samt studiens längd varierar. Ett annat exempel är klimatpåverkan vid framställning där det ofta inte har varit känt vilka processer som



ingått i de beräkningar av växthusgasutsläpp som hittats för olika material. Det har också ofta varit okänt vilket typ av bränsle som använts till de ingående processerna.

Olika förutsättningar gör att resultat från olika studier kanske inte alltid är jämförbara. Projektet föreslår därför kompletterande studier av filtermaterial där förutsättningarna kontrolleras för att vara så jämförbara som möjligt.

### 5.4.3 Osäkerheter på grund av viktningen

Den viktning som gjorts i studien är en subjektiv bedömning som påverkar den sammanvägda bedömningen av materialen. I den viktning som gjorts har de tekniska kriterierna viktats högst (45 %), följt av de miljömässiga kriterierna (30 %), se Figur 20. Läckage av toxiska ämnen (11,5 %), intressekonflikt vid användning (9,4 %), livslängd (8,3 %) och rening av organiskt material (8,3 %) är de individuella delkriterier som ansetts ha störst betydelse.

I känslighetsanalysen, se avsnitt 4.9.3, har resultaten från den aktuella viktningen i projektet jämförts med dels det fall där alla huvudkriterier viktats lika (utan ändring av delkriteriernas inbördes viktning), dels det fall där alla delkriterier viktats lika. Exemplet visar att resultaten från bedömningen är relativt robust – det är framför allt den sammanvägda poängen som ändras något medan rangordningen mellan filtermaterialen inte förändras väsentligt.

Robustheten i bedömningen beror till stor del på att det för flera delkriterier inte är så stor skillnad i poäng mellan de olika materialen. För tio delkriterier skiljer sig poängsättningen som mest bara två poäng mellan materialen.

Det finns dock delkriterier där skillnaden är stor mellan materialen, framför allt samhällelig acceptans och tillgängliga volymer. Dessa kriterier har relativt låg vikt i bedömningen. Skulle vikten ökas så skulle detta ha relativt stor påverkan på resultatet. En anledning till att dessa kriterier viktats lågt är dock att tillgängliga volymer och samhällelig acceptans bedöms kunna förändras mycket i framtiden.

## 5.5 Avgränsningar i bedömningen

Det finns också källor till avgränsningar/begränsningar i bedömningen, baserat på vägval inom projektet. Vilket göra att vissa aspekter ligger utanför den analys som projektet genomfört:

- Faktorer som inte beaktats på grund av avgränsningen av olika kriterier.
- Kriterier som uteslutits ur bedömningen eftersom de inte ansetts vara relevanta i nuläget.
- Kriterier som uteslutits ur bedömningen på grund av ett mycket begränsat kunskapsunderlag.

Vad gäller avgränsningar i vad som beaktats inom respektive delkriterium har exempelvis varken kriteriet tillgängliga volymer eller kriteriet klimatpåverkan vid transporter beaktat regionala skillnader i tillgänglighet för de olika materialen. Tillgängliga volymer avser endast totala volymer i Sverige och klimatpåverkan från transporter avser endast materialens volymvikt och inte hur långt de behöver fraktas. Lokal tillgång på material har dock stor påverkan på transportavstånd och därmed på kostnad och klimatpåverkan i en viss region. Detta fångas inte upp av multikriterieanalysen i nuläget och behöver utredas i framtida studier.

Materialens kostnad jämför enbart materialens kostnader med varandra och har inte studerat kostnader i relation till totalkostnad för anläggandet av en markbaserad anläggning. Här har även lokal tillgång, och därmed transportavstånd, sannolikt en betydande påverkan på kostnaden vid olika platser. Kostnaden för till exempel markarbeten kan också variera relativt mycket beroende på val av gräventreprenör.

Kriteriet användning av icke förnybara resurser hade kunnat delas in i två delar:

- Användning av icke förnybara resurser.
- Användning av jungfruligt material.

Anledningen till att denna indelning inte gjorts var att projektet anser att det bara är väsentligt om materialet kommer från en icke förnybar källa om det är ett jungfruligt material. Om materialet är återvunnet har projektgruppen bedömt att det inte är väsentligt hur pass förnybart ursprungsmaterialet är. Detta baseras på att projektet gör antagandet att användningen av materialet som filtermaterial inte kommer påverka den producerade mängden ursprungsmaterial för de material som är återvunna (före användning som filtermaterial).

Kriteriet produktens mognadsgrad fokuserar på hur pass tillgänglig för försäljning produkten är, vilket främst studerar produktens mognadsgrad ur ett ekonomiskt perspektiv. Den rent tekniska mognadsgraden har därmed inte studerats men är relevant för exempelvis vilken reningseffektivitet som uppnås och risker för läckage.

Återvinningsbarhet efter användning var ett delkriterium som övervägdes men som dock uteslöts ur multikriterieanalysen. Detta berodde delvis på grund av brist på dataunderlag men framför allt på grund av att projektet bedömde det som osannolikt att materialet kommer att grävas upp och återvinnas i dagsläget. Vid jämförelse av materialen vore det kanske mer problematiskt att däckklipp blir liggande lång tid i marken än de övriga materialen. Det är dock mycket möjligt att hanteringen av filtermaterial ändras i framtiden så att det blir vanligare att materialen byts ut. Avloppsanläggningar som inte används längre ska enligt 2 kap. avfallsförordningen (2020:614) klassas med avfallskod enligt bilaga 3 i samma förordning för att få information om hur avfallet ska hanteras med mera (Havs- och vattenmyndigheten, 2023). Det är alltså mycket möjligt att det i framtiden blir relevant att jämföra återvinningsbarheten hos olika material.

Biologisk mångfald hade varit relevant att ha med som kriterium i multikriterieanalysen men bedömdes av projektet vara för svårbedömt på grund av kunskapsbrist. En risk värd att nämna relaterat till biologisk mångfald är utarmning av livsmiljöer på grund av aktiviteter som tar mark i anspråk (exempelvis brytning av berg). En annan möjlig negativ effekt är konkurrens kring bioråvara (exempelvis vid användning av bark), med ökad exploatering av naturresurser som följd.

## 5.6 Framtidens filtermaterial

Detta projekt bedömer inte att det är möjligt att hitta ett enda material som ersätter naturgrus. Ersättning kommer i stället vara aktuell genom en portfölj av olika material som passar vid olika förutsättningar samt är tillgängliga vid olika platser i Sverige. Förutom att enstaka material kan utgöra hela filtermassan i en anläggning kan det också vara aktuellt att kombinera olika material, exempelvis tillsätta träflis till jord för ökad kväveinbindning (Clocchiatti m.fl., 2022) eller tillsätta

biokol till annat filtermaterial för ökad rening av mikroorganismer och organiska föroreningar. Nya filtermaterial kommer sannolikt också leda till behov att se över designen för markbaserade anläggningar i framtiden.

## 5.7 Förslag på bidrag

Som nämnt ovan finns många osäkerheter och ytterligare frågeställningar som behöver undersökas. Projektet föreslår följande områden för vidare utredning tillsammans med förslag på aktörer som kan driva utvecklingen framåt:

Möjliga bidrag från **forskningsaktörer**:

- Stora osäkerheter för de flesta material (och många ämnen) vad gäller renings-effektivitet. Följande aktiviteter skulle behövas:
  - Jämförande studier med enhetlig försöksuppställning.
  - Långtidsutvärdering med avseende på reningseffektivitet (och eventuell hydraulisk försämring).
- Standarder/utvärderingsprotokoll för återvunna material/"produktifierade" restprodukter.
- Utredning om tillgänglighet för olika material.

Möjliga bidrag från **industri/ tillverkare/ leverantörer** av material:

- Egna utvärderingar/oberoende tester av potentiella filtermaterial.
- Bidra med kunskap om materialens sammansättning och överensstämmelse med gällande krav (till exempel relaterade REACH-bestämmelser).
- (Ökad efterfrågan kan stimulera produktion/tillgång av vissa material).

Möjliga bidrag från **myndigheter**:

- Om SGU:s befintliga jordsartskarta är tillräcklig för att utvärdera tillgången på morän för ändamålet behövs en detaljerad jordartsundersökning av morän. Denna undersökning bör utföras av SGU.
- Tillsynsvägledning (HaV): tillgängliggöra kunskap om alternativa filtermaterial.
- Eventuell översyn av lagstiftning med anledning av att nya material för med sig nya risker. Finansiera fortsatta studier – exempelvis långvariga fältförsök (bedömningar av tekniska egenskaper är i detta projekt huvudsakligen baserat på kortare undersökningar).

## 6. Slutsatser

Studien har kommit fram till följande slutsatser:

1. Ersättning av naturgrus kommer inte kunna ske med ett enda material utan snarare genom en portfölj av olika material som passar vid olika förutsättningar samt är tillgängliga vid olika platser i Sverige.

Alla sju material som djupstudierats i detta projekt har sina för- och nackdelar. Förutom dessa material finns även sannolikt andra material som har potential men som inte djupstudierats på grund av begränsningar i detta projekt.

2. Den sammantagna bedömningen i djupstudien pekar på viss fördel för:
  - a) Bark
  - b) Däckklipp
  - c) Morän

Samtidigt lyfts viktiga osäkerheter upp i avsnitt 4.9.4 som bland annat berör bark och däckklipp.

3. Baserat på den sammanvägda bedömningen bör dock alla material som djupstudierats ses som möjliga alternativ till naturgrus förutsatt att de uppfyller de ska-krav som ställs av relevant myndighet. En lista över vad som framför allt behövs innan respektive material kan användas som filtermaterial finns i avsnitt 5.3.9.
  - a) För att kunna använda bark som filtermaterial krävs i synnerhet utredning om det finns svenska barkprodukter som kan uppnå förväntad reningseffektivitet och en acceptabel livslängd.
  - b) För att kunna använda däckklipp som filtermaterial krävs i synnerhet branschgemensam eller oberoende kravspecifikation och kvalitetskontroll av däckklipp för att säkerställa att materialet håller sig inom relevanta gränsvärden för läckage av skadliga ämnen.
  - c) För att kunna använda morän som filtermaterial krävs i synnerhet utredning om grov morän har rätt egenskaper för ändamålet och vilka justeringar av materialet som krävs.
  - d) För att kunna använda krossad betong som filtermaterial krävs i synnerhet att kravspecifikation och kvalitetskontroll tas fram för att säkerställa att det går att uppnå önskad vattengenomsläpplighet och minimera risk för läckage av skadliga ämnen.
  - e) För att kunna använda bergkross som filtermaterial krävs i synnerhet att det går att säkerställa att tillräckligt många täkter kan ta fram bergkrossmaterial med rätt vattengenomsläpplighetsegenskaper. Inom ramen för detta är det lämpligt att utreda samproduktion med andra användningsområden, till exempel betongballast.
  - f) Biokol bedöms inte vara lämpligt att ersätta hela filtermassan av naturgrus. Användning av biokol som komplement till annat filtermaterial kan dock med fördel utredas i syfte att förbättra reningseffektiviteten av specifika ämnen som exempelvis persistenta och mobila organiska mikroföroreningar.

4. För alla filtermaterial gäller följande:
  - a) Modifieringar kommer sannolikt krävas för att få fram rätt anpassningar av material för sammanhanget filtermaterial i markbaserade anläggningar.
  - b) För material med rätt egenskaper behövs jämförande studier av renings-effektivitet med enhetlig försöksuppställning.
  - c) Ökad kunskap om långsiktig reningsförmåga hos aktuell modifiering av respektive material vore önskvärt.
  - d) Kvalitetssäkring av material kommer att krävas för att säkerställa att framtaget material har rätt anpassning samt att de risker som materialet förknippas med är kompatibla med relevanta regelverk och ev. kravgränser.
  - e) Det är en utmaning att säkerställa tillgången av filtermaterial på alla platser i landet där behovet finns. För att kunna göra detta är det önskvärt att tillgången på alla sju materialen utreds.

## 7. Författarnas tack

Författarna av denna rapport vill rikta ett stort tack till Naturvårdsverket som finansierat projektet samt till deltagarna i projektets referensgrupp. Vi vill även rikta ett stort tack till alla personer som ställt upp i projektet som experter på olika material eller markbaserade anläggningar eller som bidragit till projektet på annat vis.

Författarna av rapporten genom Erik Sindhöj

Uppsala, 2024-05-31

## 8. Källförteckning

- AB Nybrogrus. (u.å.). *Produkt och prislista*. Hämtad 15 maj 2024, från <https://www.nybrogrus.se/produkter-priser/produktprislista/>
- Afzelius, A. (2020). *Från schaktmassa till ballastprodukt: Om möjligheten att uppgradera schaktmassor med våtsiktning*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-79509>
- Alhashimi, H. A., & Aktas, C. B. (2016). Life cycle environmental and economic performance of biochar compared with activated carbon: A meta-analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017(118), 13–26. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.016>
- Azemi, Q., & Lindblom, E. (2016). *Cirkulär ekonomi i däckbranschen*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-308837>
- Azzi, E. S., Karlton, E., & Sundberg, C. (2022). Life cycle assessment of urban uses of biochar and case study in Uppsala, Sweden. *Biochar*, 4(1), 18. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00144-3>
- Badila, C. A. (2021). *Evaluating the performance of tire derived aggregate (TDA) vs natural aggregate in septic system*. University of Manitoba.
- Bartok, J. (2022, november). *Dealing with dust*. Greenhouse Management. <https://www.greenhousemag.com/article/dealing-with-dust/>
- Bellamy, W. D., Hendricks, D. W., & Logsdon, G. S. (1985). Slow Sand Filtration: Influences of Selected Process Variables. *Journal American Water Works Association*, 77(12), 62–66. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1985.tb05659.x>
- Betongkross 0/32 mm*. (u.å.). [Företagshemsida]. Nybrogrus. Hämtad 23 april 2024, från <https://www.nybrogrus.se/produkter-priser/produktprislista/betongkross-032/>
- Biobaserade lim från bark för tillverkning av träpaneler*. (2020, maj 20). Högskolan i Borås. <https://www.hb.se/forskning/forskningsportal/projekt/biobaserade-lim-fran-bark-for-tillverkning-av-trapaneler/>
- Blom, M., & Skogsfjord, M. (2006). *Naturliga filtermaterial för reduktion av metaller i dagvatten* [Mälardalens Högskola]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:126583/FULLTEXT01.pdf>
- Brewer, C. E., & Levine, J. (2015). *Weight or Volume for Handling Biochar and Biomass?* The Biochar Journal. <https://www.biochar-journal.org/en/ct/71>
- Callery, O., Healy, M. G., Rognard, F., Barthelemy, L., & Brennan, R. B. (2016). Evaluating the long-term performance of low-cost adsorbents using small-scale adsorption column experiments. *Water Research*, 101, 429–440. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.093>
- Cao, Z., Zhou, L., Gao, Z., Huang, Z., Jiao, X., Zhang, Z., Ma, K., Di, Z., & Bai, Y. (2021). Comprehensive benefits assessment of using recycled concrete aggregates as the substrate in constructed wetland polishing effluent from wastewater treatment plant. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125551. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125551>

- Carneiro, M. A., Athayde Junior, G. B., Sena, R. F., Porto, C. A., & Kohlgrüber, V. (2022). Raw sewage treatment by a single-stage vertical flow constructed wetland: A case study in Brazil. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 12(5), 443–453. Scopus. <https://doi.org/10.2166/washdev.2022.038>
- Clocchiatti, A., Hannula, S. E., Maria P.J., H., Klein Gunnewiek, P. J. A., & de Boer, W. (2022). Utilizing woody materials for fungal-based management of soil nitrogen pools. *Applied Soil Ecology*, 181(2023). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104663>
- Cox, R. (2016, mars 16). *Kampen mot stendamm*. arbetsmiljöforskning.se. <https://arbetsmiljoforskning.se/kampen-mot-stendammet/>
- D.A. Mattsson. (2024). <https://www.damattsson.se/wp-content/uploads/2024/03/Prislista-2024.pdf>
- Dalalmeh, S. (2019). *Biokol i små avloppsanläggningar: Rening av övergödande ämnen och patogener i impregnerad biokol och tvåstegbiokolanläggningar vid olika belastning – Teknisk rapport (2019:104)*. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Daniel, E., & Grånäs, K. (2000). *Naturgrus eller morän (2000:2)*. Sveriges Geologiska Undersökning. <https://resource.sgu.se/produkter/pp/pp2000-2-rapport.pdf>
- DCLG. (2009). *Multi-criteria analysis: A manual*. Department for Communities and Local Government.
- De Feo, G., & Ferrara, C. (2017). A procedure for evaluating the most environmentally sound alternative between two on-site small-scale wastewater treatment systems. *Journal of Cleaner Production*, 164, 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.205>
- Drivesy. (u.å.). *Saneringsmedel 40 liter Zugol*. Hämtad 15 maj 2024, från <https://drivesy.se/produkt/saneringsmedel-40-lit-zugol/>
- EBC. (2024). *The European Biochar Certificate (EBC)*. European Biochar. <https://www.european-biochar.org/en>
- ECHA. (2019). *Annex to Background Document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing a restriction on Polycyclic-aromatic hydrocarbons (PAHs)*. <https://www.echa.europa.eu/documents/10162/44aa1af7-a159-1715-5e69-451d97fbb03a>
- ECHA. (2023). *Investigation of concentration limit for eight PAHs in loose rubber granules and mulches used in children's playground and other domestic applications to conclude whether the limit values set in Entry 50 of REACH Annex XVII are protective for very young children*. ECHA. [https://echa.europa.eu/documents/10162/17233/rest\\_pahs\\_children\\_investigation\\_report\\_en.pdf/51536e8a-990d-3b12-011c-51105ee30889?t=1687313125114](https://echa.europa.eu/documents/10162/17233/rest_pahs_children_investigation_report_en.pdf/51536e8a-990d-3b12-011c-51105ee30889?t=1687313125114)
- EDP-Norge. (2024). *Environmental product declaration—Barntjernmoen*. [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1351315-1704740564/EPDer/Byggevarer/Naturstein/NEPD-5753-5050\\_Barntjernmoen.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1351315-1704740564/EPDer/Byggevarer/Naturstein/NEPD-5753-5050_Barntjernmoen.pdf)
- Elmefors, E., Eveborn, D., & Tuveesson. (2016). *Bergkross och naturgrus som filtermaterial i markbäddar (2016–09)*. Svenskt Vatten Utveckling. [https://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport\\_2016-09.pdf](https://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2016-09.pdf)
- Elmefors, E., & Ljung, E. (2013). *Markbäddars uppstartstid och påverkan på bäddens funktion vid användning av krossat berg (Kretslopp och Avfall, rapport 48)*. JTI – Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik.



- Elmefors, E., Ljung, E., Schouenborg, B., Casserstedt, L., Döse, M., Nilsson, P., Wallman, S., & Göransson, M. (2016). *Informationsblad – Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar*. JTI – Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik.
- El-Naggar, A., El-Naggar, A. H., Shaheen, S. M., Sarkar, B., Chang, S. X., Tsang, D. C. W., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2019). Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: A review. *Journal of Environmental Management*, 241, 458–467. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.044>
- Embrén, B., & Alvem, B.-M. (2018). *Växtbäddar i Stockholms stad—En handbok 2017*. [https://leverantor.stockholm/globalassets/foretag-och-organisationer/leverantor-och-utforare/entreprenad-i-stockholms-stads-offentliga-rum/vaxtbaddshandboken/vaxtbaddar\\_i\\_stockholm\\_2017.pdf](https://leverantor.stockholm/globalassets/foretag-och-organisationer/leverantor-och-utforare/entreprenad-i-stockholms-stads-offentliga-rum/vaxtbaddshandboken/vaxtbaddar_i_stockholm_2017.pdf)
- EPD Australasia. (2022). *Environmental Product Declaration—Recycled Crushed Concrete Aggregates from Green Vision Recycling*. <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/9a6c2d12-0544-4811-ad18-08da599e304a/Data>
- EPD International. (2021). *Environmental Product Declaration—Aggregates from Vilniaus karjaeraim JSC*. <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/2d40c68d-6686-49f8-05a0-08d9b9685fa2/Data>
- EPD International. (2022). *Environmental Product Declaration for aggregates from Løng gravel pit – Sorø*. <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/89a126d8-3687-4ea0-dc8c-08daa1192ff0/Data>
- EPD-Norge. (2017). *Environmental Product Declaration—Bergkrossprodukter*. [https://www.epd-norge.no/getfile.php/139362-1679571052/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-1257-403\\_Crushed-Stone-Bergkrossprodukter\\_1\\_1.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/139362-1679571052/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-1257-403_Crushed-Stone-Bergkrossprodukter_1_1.pdf)
- EPD-Norge. (2022). *Environmental product declaration—Naturgrus, produsert ved avd Grasmo, Eidskog*. [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1327090-1668711308/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-3920-2867\\_Naturgrus--produsert-ved-avd-Grasmo-Eidskog.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1327090-1668711308/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-3920-2867_Naturgrus--produsert-ved-avd-Grasmo-Eidskog.pdf)
- EPD-Norge. (2023a). *Environmental Product Declaration—Bergkrossprodukter, viktat medelvärde*. [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1331222-1678216982/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-4241-3478\\_Bergkrossprodukter--genomsnitt.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1331222-1678216982/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-4241-3478_Bergkrossprodukter--genomsnitt.pdf)
- EPD-Norge. (2023b). *Environmental product declaration—Sand- og grusmasser, produsert ved Ryghkollen masseuttak*. [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1345691-1696594927/EPDer/Byggevarer/Naturstein/NEPD-5112-4441\\_Sand--og-grusmasser--produsert-ved-Ryghkollen-masseuttak.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1345691-1696594927/EPDer/Byggevarer/Naturstein/NEPD-5112-4441_Sand--og-grusmasser--produsert-ved-Ryghkollen-masseuttak.pdf)
- EPD-Norge. (2023c). *Environmental product declaration—Vasket sand og grus, produsert ved Ryghkollen Masseuttak*. [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1345707-1696596372/EPDer/Byggevarer/Naturstein/NEPD-5114-4446\\_Vasket-sand-og-grus--produsert-ved-Ryghkollen-Masseuttak.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1345707-1696596372/EPDer/Byggevarer/Naturstein/NEPD-5114-4446_Vasket-sand-og-grus--produsert-ved-Ryghkollen-Masseuttak.pdf)
- European Parliament. (2006). *Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)*.

- Eveborn, D., Lång, L.-O., & Hjerne, C. (2023). *Vägledning kring skyddsavstånd till enskild dricksvattenbrunn vid infiltration av avloppsvatten* (Dnr. 35-1416/2022). Sveriges Geologiska Undersökning.
- Finnish stainless-steel giant invests in Swedish biocarbon company.* (u.å.). Hämtad 18 april 2024, från <https://www.envigas.com/post/pressrelease-envigas-outokumpu-eng>
- Fransson, A.-M., Gustafsson, M., Malmberg, J., & Paulsson, M. (2020). *Biokol-handboken—För användare*. <https://biokol.org/publikationer/pdf/biokolhandboken>
- Garfi, M., Flores, L., & Ferrer, I. (2017). Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds. *Journal of Cleaner Production*, 161, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.116>
- Gongora, G. R. A., Lu, R. H., & El Hanandeh, A. (2021). Comparative life cycle assessment of aerobic treatment units and constructed wetlands as onsite wastewater treatment systems in Australia. *Water Science and Technology*, 84(6), 1527–1540. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.316>
- Gustafsson, J. P., Renman, A., Renman, G., & Poll, K. (2008). Phosphate removal by mineral-based sorbents used in filters for small-scale wastewater treatment. *Water Research*, 42(1–2), 189–197. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.06.058>
- Gustafsson, N., Nilsson, E., & Enell, A. (2020). *Rekommendationer inför fältstudie av biokol som åtgärdsteknik—Vilket biokol är bäst?* Statens geotekniska institut. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:swedgeo:diva-913>
- Göransson, M. (2015). *Ersättningsmaterial för naturgrus – kunskapssammanställning och rekommendationer för användningen av naturgrus* (SGU-rapport 2015:35). SGU. <https://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1535-rapport.pdf>
- Hamid, S. H. A., Lananan, F., Noor, N. A. M., & Endut, A. (2022). Physical filtration of nutrients utilizing gravel-based and lightweight expanded clay aggregate (LECA) as growing media in aquaponic recirculation system (ARS). *Aquacultural Engineering*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102261>
- Hartley Grimes, B., Steinbeck, S., & Amoozegar, A. (2003). Analysis of Tire Chips as a Substitute for Stone Aggregate in Nitrification Trenches of Onsite Septic Systems: Status and Notes on the Comparative Microbiology of Tire Chip Versus Stone Aggregate Trenches. *Small Flows Quarterly*, 4(4).
- Hasselfors Garden. (u.å.-a). *Produkter* [Företagshemsida]. Hasselforsgarden.se. Hämtad 05 januari 2024, från <https://www.hasselforsgarden.se/produkter/>
- Hasselfors Garden. (u.å.-b). *Så använder du biokol i din odling* [Företagshemsida]. Hasselforsgarden.se. Hämtad 14 maj 2024, från <https://www.hasselforsgarden.se/artikel/sa-anvander-du-biokol-i-din-odling/>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2019a). *Vägledning för provning av små avlopp—Markbaserade anläggningar och liknande*. <https://www.havochvatten.se/avlopp-och-dricksvatten/sma-avloppsanlaggningar/vagledningar-for-provning-och-tillsyn-av-sma-avlopp/vagledning-for-provning-av-sma-avlopp/processen-for-provning/granskning.html#h-Markbaseradeanlaggningarochliknande>

Havs- och vattenmyndigheten. (2019b, oktober 2). *Förstärkt infiltration och material i markbäddar*.

Havs- och vattenmyndigheten. (2023). *Hantering av avfall från anläggningar som tas ur bruk*. <https://www.havochvatten.se/avlopp-och-dricksvatten/sma-avlopps-anlaggningar/vagledning-for-provning-och-tillsyn-av-sma-avlopp/fordjupning/hantering-av-avfall-fran-anlaggningar-som-tas-ur-bruk.html>

Hedström, A. (2006). Reactive Filter Systems for Small Scale Wastewater Treatment. *Tidskriften Vatten*, 62, 253–263.

Heidelberg Materials. (2023). *Prislista Region Nord*. [https://www.ballast.heidelberg-materials.se/sites/default/files/2023-05/Heidelberg\\_prislista\\_region-nord\\_2023.pdf](https://www.ballast.heidelberg-materials.se/sites/default/files/2023-05/Heidelberg_prislista_region-nord_2023.pdf)

Helsing, E. (u.å.). *Krom i krossad återvunnen betong*. Hämtad 14 februari 2024, från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1426957/FULLTEXT01.pdf>

Hu, M., Zhang, T. C., Stansbury, J., Neal, J., & Zhou, A. (2014). Graywater reclamation by a shredded tire biofilter and a membrane bioreactor in series. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 140(1), 84–91. Scopus. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000778](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000778)

Hummeltorp. (u.å.). *Betongkross 0-16 mm*. Hämtad 30 maj 2024, från <https://hummeltorp.se/wp-content/uploads/2023/09/Betongkross.pdf>

Hüffer, T., Wehrhahn, M., & Hofmann, T. (2020). The molecular interactions of organic compounds with tire crumb materials differ substantially from those with other microplastics. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(1), 121–130. <https://doi.org/10.1039/c9em00423h>

Jacobi. (u.å.). *Aquasorb CS* [Företagshemsida]. Clean Water Store. Hämtad 18 april 2024, från <https://www.cleanwaterstore.com/technical/water-treatment-manuals/Jacobi-Aquasorb-CS-Carbon.pdf>

Jenssen, P. D., Mæhlum, T., Krogstad, T., & Vråle, L. (2005). High Performance Constructed Wetlands for Cold Climates. *Journal of Environmental Science and Health*, 40(6–7), 1343–1353. <https://doi.org/10.1081/ESE-200055846>

Johansson, K. (2018). *Life cycle assessment of two end-of-life tyre applications: Artificial turfs and asphalt rubber*. Ragn-Sells Däckåtervinning AB. [https://www.ragnsellstyrerecycling.com/globalassets/tyre-company/dokument/lca-konst-grasplaner-gummiasfalt-version-1.4\\_2018\\_rs.pdf](https://www.ragnsellstyrerecycling.com/globalassets/tyre-company/dokument/lca-konst-grasplaner-gummiasfalt-version-1.4_2018_rs.pdf)

Johansson Westholm, L. (2006). Substrates for phosphorus removal—Potential benefits for on-site wastewater treatment? *Water Research*, 40(1), 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.006>

Kadawo, A. (2018). *Livscykelanalys av återvunnen betongballast* [Borås Högskola]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1317273/FULLTEXT01.pdf>

Karanfil, T. (2011). *The Feasibility of Tire Chips as a Substitute for Stone Aggregate in Septic Tank Leach Fields*. [https://www.academia.edu/2734128/THE\\_FEASIBILITY\\_OF\\_TIRE\\_CHIPS\\_AS\\_A\\_SUBSTITUTE\\_FOR\\_STONE\\_AGGREGATE\\_IN\\_SEPTIC\\_TANK\\_LEACH\\_FIELDS](https://www.academia.edu/2734128/THE_FEASIBILITY_OF_TIRE_CHIPS_AS_A_SUBSTITUTE_FOR_STONE_AGGREGATE_IN_SEPTIC_TANK_LEACH_FIELDS)

- Kemikalieinspektionen. (2023, oktober). *Konstgräsplaner och fallskydd* [Text]. Kemikalieinspektionen. <https://www.kemi.se/hallbarhet/amnen-och-material/konstgrasplaner-och-fallskydd>
- Kholoma, E., Renman, A., & Renman, G. (2020). Filter media-packed bed reactor fortification with biochar to enhance wastewater quality. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(3). Scopus. <https://doi.org/10.3390/app10030790>
- Kinnunen, J., Rossi, P. M., Herrmann, I., Ronkanen, A.-K., & Heiderscheidt, E. (2023). Factors affecting effluent quality in on-site wastewater treatment systems in the cold climates of Finland and Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 404, 136756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136756>
- Krona, J. (2017). *Evaluation of a bark adsorbent for removal of pharmaceuticals from wastewater*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-315260>
- Kuppusamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & Naidu, R. (2016). Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: Current knowledge and future research directions. *Environment International*, 87, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.018>
- Leverenz, H. L., Tchobanoglous, G., & Darby, J. L. (2009). Clogging in intermittently dosed sand filters used for wastewater treatment. *Water Research*, 43(3), 695–705. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.10.054>
- Liljequist, T. (2004, april 14). *Barkfilter ersätter kemikalier i biltvätten*. Miljö och Utveckling. <https://miljo-utveckling.se/barkfilter-ersatter-kemikalier-i-biltvatten/>
- Lopsik, K. (2013). Life cycle assessment of small-scale constructed wetland and extended aeration activated sludge wastewater treatment system. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2013(10), 1295–1308. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0159-y>
- Länsstyrelsen i Stockholms län. (2003). *Krossat berg och återvunnet material ersätter grus* (Faktablad 2003:06). [https://catalog.lansstyrelsen.se/store/39/resource/2003\\_\\_13](https://catalog.lansstyrelsen.se/store/39/resource/2003__13)
- Markiewicz, A., Strömvall, A.-M., & Björklund, K. (2020). Alternative sorption filter materials effectively remove non-particulate organic pollutants from stormwater. *Science of the Total Environment*, 730. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139059>
- Miliute-Plepiene, J., & Sundqvist, J.-O. (2023). *Cirkulär hantering av schaktmassor: Miljönytta eller miljöpåverkan?* (C798). IVL. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-4266>
- Naturvårdsverket. (1987). *Infiltrationsanläggningar, Faktablad om enskilda avlopp*.
- Naturvårdsverket. (2003). *Små avloppsanläggningar. Hushållsvatten från högst 5 hushåll*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/4ac3a9/contentassets/2d348833d8a2442ebc2c9a51bfd01f27/faktablad-8147-sma-avloppsanlaggningar.pdf>
- Naturvårdsverket. (2022). *Rening av avloppsvatten i Sverige 2020*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/4acbd5/globalassets/media/publikationer-pdf/8800/978-91-620-8895-8.pdf>

- Naturvårdsverket. (2023a). *Masshantering och användning av massor i anläggningsarbete*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/atervinning-av-avfall-i-anlaggningsarbeten/#E-506822340>
- Naturvårdsverket. (2023b). *Återvinning av däck i Sverige*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/avfall/atervinning-av-dack-i-sverige/>
- Neumann, M., & Schliebner, I. (2019). *Protecting the sources of our drinking water: The criteria for identifying persistent, mobile and toxic (PMT) substances and very persistent and very mobile (vPvM) substances under EU Regulation REACH (EC) No 1907/2006*. German Environmental Agency.
- Niklasson, J. (2015). *Utsläpp av flyktiga organiska ämnen vid torkning av sågspån i en pneumatisk tork* [Karlstads Universitet]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:823580/FULLTEXT01.pdf>
- Nilsson, S., & Norman, J. (2015). *Kartläggning av barkdeponier i norra Sverige och undersökning av potentiella användningsområden för bark*. [https://stud.epsilon.slu.se/8829/1/nilsson\\_s\\_norman\\_j\\_160215.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/8829/1/nilsson_s_norman_j_160215.pdf)
- Nordic Council of Ministers. (2021). *Survey of the emergence and use of naturally occurring materials* (Tema Nord 2021:535). <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1593210/FULLTEXT02.pdf>
- Olshammar, M. (2021). *Datinsamling om teknikuppgifter för små avlopp* (SMED Rapport Nr 28 2021; Svenska MiljöEmissionsData). SMHI. [https://admin.smed.se/app/uploads/2022/03/V21-B09\\_Sm%C3%A5Avlopp\\_Slutrapport.pdf](https://admin.smed.se/app/uploads/2022/03/V21-B09_Sm%C3%A5Avlopp_Slutrapport.pdf)
- Olshammar, M., Graae, L., Robijn, A., & Nilsson, F. (2021). *Mikroplast från gjutet gummigranulat och granulärfria konstgräsytor* (C 610). IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Oppegård, F. D. (2014). *Small Scale Wastewater Treatment System at Høyås Farm in Ås, Norway*. Norwegian University of Life Sciences.
- Palm, O., Elmefors, E., Moraeus, P., Nilsson, P., Persson, L., Ridderstolpe, P., & Eveborn, D. (2012). *Läget inom markbaserad avloppsvattenrening: Samlad kunskap kring reningstekniker för små och enskilda avlopp*. Naturvårdsverket. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-9284>
- Pásztory, Z., Mohácsiné, I. R., Gorbacheva, G., & Börcsök, Z. (2016). The utilization of tree bark. *BioResources*, 3(11), 7859–7888.
- Rahman, M. A., Imteaz, M. A., Arulrajah, A., Piratheepan, J., & Disfani, M. M. (2015). Recycled construction and demolition materials in permeable pavement systems: Geotechnical and hydraulic characteristics. *Journal of Cleaner Production*, 90, 183–194. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.042>
- Renman, G., & Johansson, P.-O. (2005). *Bergkross som filtermaterial vid vattenbehandling* (Project report MinBaS Report 2:9). KTH. <http://www.minfo.se/minbas/30MinBaS-rapport-nr-2,9.pdf>
- SGI. (1970). *Morändag 1969*. Statens geotekniska institut. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:swedgeo:diva-261>
- SGU. (2020). *Morän—Spår av inlandsisen*. Sveriges Geologiska Undersökning. <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/inlandsisen/moran-spar-av-inlandsisen/>

- SGU. (2021, oktober 1). *Grus, sand och krossberg 2020*. <https://www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2021/oktober/statistik-for-grus-sand-och-krossberg-2020/>
- SGU. (2022). *Geologi och gruvdrift*. Sveriges Geologiska Undersökning. <https://www.sgu.se/mineralnaring/svensk-gruvnaring/geologi-och-gruvdrift/>
- SGU. (2023a). *Grus, sand och krossberg 2022* (Periodiska publikationer 2023:3). SGU. <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/pp/pp202303rapport/pp2023-3-rapport.pdf>
- SGU. (2023b, november). *Kartvisaren Markgeokemi, regional provtagning*. Sveriges Geologiska Undersökning. <https://www.sgu.se/produkter-och-tjanster/kartor/kartvisaren/geokemikartvisare/markgeokemi-regional-provtagning/>
- Simpson, D. R. (2008). Biofilm processes in biologically active carbon water purification. *Water Research*, 42(12), 2839–2848. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.02.025>
- Skanska. (u.å.). *Gamla hus blir till nya vägar*. Hämtad 15 maj 2024, från <https://www.skanska.se/4903a1/siteassets/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/grus-och-kross/vart-miljoarbete/betongkross.pdf>
- skatteverket.se, S. (u.å.). *Naturgrusskatt*. Skatteverket. Hämtad 13 mars 2024, från <https://www.skatteverket.se/foretag/skatterochavdrag/punktskatter/naturgrusskatt.4.18e1b10334e8bc80005337.html>
- Snabb Grus AB. (u.å.-a). *Beräkning av stenmjöl kvarsit 0-8 mm*. Hämtad 30 maj 2024, från <https://www.snabbgrus.se/shop/maengd-beraeknar.asp?groupid=34&productid=1028>
- Snabb Grus AB. (u.å.-b). *Naturgrus 0-8 mm*. Hämtad 15 maj 2024, från <https://www.snabbgrus.se/p/natur-grus-0-8-mm-411.asp>
- Staffas, L., Sidvall, A., & Munthe, J. (2015). *Råvaruströmmar från skogen—Tillgång och samband*. IVL Svenska Miljöinstitutet. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-440>
- Svensk Betong. (u.å.). *Återvinning*. Hämtad 15 maj 2024, från <https://www.svenskbetong.se/om-betong/platsgjutet/hallbart-byggande/atervinning>
- Svensk Däckåtervinning AB. (u.å.-a). *Användning av återvunnet material* [Företagshemsida]. Hämtad 15 maj 2024, från <https://www.sdab.se/cirkulaer-anvaendning/#>
- Svensk Däckåtervinning AB. (u.å.-b). *Gummigrus ersätter sten* [Företagshemsida]. Hämtad 14 maj 2024, från <https://www.sdab.se/articles/gummigrus-ersaetter-sten/>
- Sveriges Natur. (2017, januari 23). *Konstgräsplaner sprider mikroplast i miljön*. <https://www.sverigesnatur.org/aktuellt/konstgrasplaner-sprider-mikroplast-miljon/>
- Swerock. (u.å.). *Sandseryd Bergtäckt—Vårt produktutbud*. Hämtad 30 maj 2024, från <https://swerock.se/kontakt/jonkoping/sandseryd-bergtakt/>
- Swerock. (2021). *Prislista råvaruförsäljning*. <https://www.cleardesign.se/broschyr/Swerock-prislista-ABC-2021/Swerock-prislista-ABC-2021.pdf>
- Söderqvist, H., Norberg, V., & Turnstedt. (2021). *Marknaden för biokol i Öresundsregionen*. 2050 Consulting. <https://2050.se/wp-content/uploads/2021/03/2050-Marknaden-for-biokol-i-Oresundsregionen.pdf>
- Thomas, H. C. (1944). Heterogeneous Ion Exchange in a Flowing System. *Journal of the American Chemical Society*, 66(10), 1664–1666. <https://doi.org/10.1021/ja01238a017>

- Tillväxt- och regionplaneförvaltningen. (2017). *Tekniska försörjningssystem för masshantering och täkter* (KUNSKAPSUNDERLAG 2017:7). Stockholms läns landsting. [http://www.rufs.se/globalassets/h.-publikationer/2017/kunskapsmaterial\\_tekniska\\_system\\_masshantering\\_takter.pdf](http://www.rufs.se/globalassets/h.-publikationer/2017/kunskapsmaterial_tekniska_system_masshantering_takter.pdf)
- Ulinder, E., & Englund, M. (2020). *Markbaserade avloppsanläggningar för över 50 personequivalerter* (2020–9). Svenskt Vatten Utveckling. <https://vav.griffel.net/filer/svu-rapport-2020-09.pdf>
- Ulinder, E., Englund, M., Döse, M., Eveborn, D., Göransson, M., Nilsson, P., & Wallman, S. (2019). *Kvalitetssäkring av bergkross och naturgrus som filtermaterial i markbäddar* (RISE-rapport 2019:92). RISE Research Institutes of Sweden AB. <https://www.havochvatten.se/download/18.5b3194f816e1e7bd6bc262e6/1708695560678/slutrappport-kvalitets-sakring-bergkross.pdf>
- Ulinder, E., Sönegård, E., Fridholm, H., Tuveson, M., & Norin, E. (2021). *Bergkross och naturgrus som filtermaterial i markbäddar* (2021–6). Svenskt Vatten Utveckling. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/bergkross-och-naturgrus-som-filtermaterial-i-markbaddar/>
- Ulinder, E., Wallström, J., Nordin, A., Almqvist, L., Tuveson, M., & Fridholm, H. (2023). *Reduktion av läkemedelsrester och smittämnen i kommunala markbäddar – En fullskalestudie* (2023–2).
- US EPA. (2004). *Constructed Treatment Wetlands*. United States Environmental Protection Agency. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30005UPS.PDF?Dockkey=30005UPS.PDF>
- US EPA. (2012). *Estimation Programs Interface Suite for Microsoft Windows* (Version 4.11) [Software].
- VA-guiden. (2022, februari 17). *Bergkross i små avloppsanläggningar*. Avloppsguidens Användarförening. <https://avloppsguiden.se/wp-content/uploads/2022/03/Infoblad-bergkrossverlutskrift.pdf>
- Valentini, F., & Pegoretti, A. (2022). End-of-life options of tyres. A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 5(4), 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2022.08.006>
- Vidal, B. (2018). *On-site sanitation systems—An integrated assessment of treatment efficiency and sustainability*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-71120>
- VVS-fabrikanterna. (2023). *Andelen åtgärdade små avlopp minskar – men tillsammans kan vi undvika negativ påverkan på vår miljö*. <https://www.vvsfabrikanterna.se/custom/kommunundersokning/Riks/Riks.pdf>
- VVS-fabrikanterna. (2024). *Andelen åtgärdade små avlopp minskar – men tillsammans kan vi undvika negativ påverkan på vår miljö*. <https://www.vvsfabrikanterna.se/nyheter-o-press/pressmeddelanden/andelen-atgardade-sma-avlopp-minskar--men-tillsammans-kan-vi-undvika-negativ-paverkan-pa-var-miljo>
- Wallberg, P., Keiter, S., Juhl Andersen, T., & Nordenadler, M. (2016). *Däckmaterial i konstgräsplaner* (UPPDRAGSNUMMER 1156336000). Sweco Environment AB. [https://www.sdab.se/media/1120/daeckmaterial\\_i\\_konstgraesplaner.pdf](https://www.sdab.se/media/1120/daeckmaterial_i_konstgraesplaner.pdf)

- Wang, Y., Li, H., & Lin, S. (2022). Advances in the Study of Heavy Metal Adsorption from Water and Soil by Modified Biochar. *Water*, 14(23), 3894. <https://doi.org/10.3390/w14233894>
- Yang, Y., Zhao, Y., Liu, R., & Morgan, D. (2018). Global development of various emerged substrates utilized in constructed wetlands. *Bioresource Technology*, 261, 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.085>
- Yin, X., Liu, X., & Wang, S. (2018). *Preliminary analysis of engineering properties and engineering utilization of moraine deposits*. 128. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/128/1/012040>
- Zedník, O., & Dunajský, M. (2022). *Modification by washing of recycled aggregates from construction and demolition waste for vertical subsurface flow constructed wetlands*. Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2-11 July, Albena, Bulgaria.
- Zheng, S., Bawazir, M., Dhall, A., Kim, K. E., He, L., Heo, J., & Hwang, G. (2021). Implication of Surface Properties, Bacterial Motility, and Hydrodynamic Conditions on Bacterial Surface Sensing and Their Initial Adhesion. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.643722>
- Zugol. (u.å.). *Produkter – Zugol* [Företagshemsida]. Hämtad 22 april 2024, från <https://zugol.se/produkter/>

## 8.1 Personlig kommunikation

- Aronsson Forsberg, Bodil & Gunnarsson, Åsa, HaV, 2024-05-04
- Aronsson Forsberg, Bodil, HaV, 2022-06-20
- Björklund, Thomas, Br Björklunds Grus AB, 2024-01-16
- Brander, Linus, RISE, 2023-04-20
- Eveborn, David, SGU, 2024-03-25
- Eveborn, David & Pile, Otto, SGU, 2024-03-05 & 2024-05-30
- Jenssen, Petter D., NMBU, 2024-08-24
- Gunnarsson, Carina, RISE, 2022-09-19
- Gustafsson, Jon-Petter, SLU, 2024-03-04
- Göransson, Mattias, SGU, 2024-03-14
- Malaga, Katarina, RISE, 2024-04-26
- Martinsson, Peter, Swerock, PEAB, 2022-09-19, 2024-01-18 & 2024-02-28
- Maunoir, Siegfried, Premier Tech, France, 2022-10-05
- Pettersson, Andreas, Wieder Tech, 2022-08-25 & 2024-02-15
- Pile, Otto, SGU, 2024-03-07
- Åkesson, Elver, Absorbenta Miljö AB, 2023-07-04



## 8.2 Planerade publikationer från projektet

Sindhøj, E., Sylwan, I., Ulinder, E., Cornelis, G., Dahlberg, A.-K., Farquarson, L., Gustafsson, J.P., Hübinette, M., Lindhe, A., Löffler, P., Malm, M. & Wiberg, K. (u.å). Potential sustainable alternatives to natural sand and gravel as a filter media in soil treatment systems in Sweden (under arbete).

# Bilaga A. Söksträng

I denna bilaga presenteras söksträng för den inledande litteratursökningen i Scopus.

## README

Title: Search strings

Description: This l file describes the search strings that will be used to find articles and grey literature to include in the literature reviews of the project.

## Search string

### Potential filter media for soil absorption systems

Database: Scopus

Database provider: Elsevier

No	Search string
	<b>Soil absorption systems</b>
1	<b>TITLE ABS KEY</b> ("wastewater treatment" OR "wastewater system*" OR "wastewater unit*" OR "wastewater facilit*" OR "wastewater disposal") OR ("waste water treatment" OR "waste water system*" OR "waste water unit*" OR "waste water facilit*" OR "waste water disposal")
2	<b>TITLE ABS KEY</b> ("sewage treatment" OR "sewage system*" OR "sewage unit" OR "sewage facilit*" OR "sewage disposal")
3	<b>TITLE ABS KEY</b> ("septic system" OR "septic tank" OR "septic drain*" OR "septic field")
4	<b>TITLE ABS KEY</b> ("blackwater treatment" OR "blackwater system*" OR "gr*ywater treatment" OR "gr*ywater system*" OR "gr*ywater filtration" OR "gr*ywater infiltration")
5	<b>TITLE ABS KEY</b> ("stormwater treatment" OR "stormwater facilit*" OR "stormwater disposal" OR "stormwater filtration" OR "stormwater infiltration")
6	<b>TITLE ABS KEY</b> ("infiltration treatment" OR "infiltration system*" OR "infiltration unit" OR "infiltration facilit*" OR "infiltration disposal" OR "infiltration field" OR "infiltration bed" OR "infiltration site" OR "infiltration basin*")
7	<b>TITLE ABS KEY</b> (drain*field OR "drain* field" OR drain*bed)
8	<b>TITLE ABS KEY</b> ("seepage bed" OR "seepage field" OR "seepage system" OR "percolation system" OR "percolation trench" OR "infiltration trench")
9	<b>TITLE ABS KEY</b> ("soil treatment" OR "soil filtration" OR "soil infiltration" OR "subsurface treatment" OR "subsurface flow")
10	<b>TITLE ABS KEY</b> ("land*based treatment" OR "land treatment system" OR "land filtration" OR "land infiltration")
11	<b>TITLE ABS KEY</b> (OWS OR OWSs OR OWT OR OWTs OR OWTs OR STS OR WSAS OR SAS)
	<b>Filter media</b>
12	<b>TITLE ABS KEY</b> ("filter medi*" OR "filter material" OR "filter bed" OR "filter substrate*" OR "filtration medi*" OR "filtration material" OR "filtration bed" OR "infiltration medi*" OR "infiltration material" OR "drainage medi*" OR "drainage material")
	<b>Combination of search strings</b>
13	(1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6 OR 7 OR 8 OR 9 OR 10 OR 11) AND 12

No	Search string
	<b>Limit to language: English, Danish, Norwegian, Swedish, German</b>
14	AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO(LANGUAGE, "Danish") OR LIMIT-TO(LANGUAGE, "Norwegian") OR LIMIT-TO( LANGUAGE, "Swedish")) OR LIMIT-TO( LANGUAGE, "German")) <b>Only English and German were viable options.</b>
	<p><b>Search string copied from Scopus</b></p> <p>((TITLE-ABS-KEY(("wastewater treatment" OR "wastewater system*" OR "wastewater unit*" OR "wastewater facilit*" OR "wastewater disposal") OR ("waste water treatment" OR "waste water system*" OR "waste water unit*" OR "waste water facilit*" OR "waste water disposal"))) OR (TITLE-ABS-KEY(("sewage treatment" OR "sewage system*" OR "sewage unit*" OR "sewage facilit*" OR "sewage disposal" OR "septic system" OR "septic tank" OR "septic drain*" OR "septic field" OR "blackwater treatment" OR "blackwater system*" OR "gr*ywater treatment" OR "gr*ywater system*" OR "gr*ywater filtration" OR "gr*ywater infiltration"))) OR (TITLE-ABS-KEY("stormwater treatment" OR "stormwater facilit*" OR "stormwater disposal" OR "stormwater filtration" OR "stormwater infiltration" OR "infiltration treatment" OR "infiltration system*" OR "infiltration unit" OR "infiltration facilit*" OR "infiltration disposal" OR "infiltration field" OR "infiltration bed" OR "infiltration site" OR "infiltration basin*" OR "drain*field" OR "drain* field" OR "drain*bed")) OR (TITLE-ABS-KEY("seepage bed" OR "seepage field" OR "seepage system" OR "percolation system" OR "percolation trench" OR "infiltration trench" OR "soil treatment" OR "soil filtration" OR "soil infiltration" OR "subsurface treatment" OR "land*based treatment" OR "land treatment system" OR "land filtration" OR "land infiltration" OR OWS OR OWSs OR OWT OR OWTs OR OWTs OR STS OR WSAS OR SAS))) AND (TITLE-ABS-KEY("filter medi*" OR "filter material" OR "filter bed" OR "filter substrate*" OR "filtration medi*" OR "filtration material" OR "filtration bed" OR "infiltration medi*" OR "infiltration material" OR "drainage medi*" OR "drainage material")) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE,"English") OR LIMIT-TO ( LANGUAGE,"German" ) )</p>

\* = An asterisk represents any group of characters, including no character

“ = Citation Marks searches for an exact phrase

TITLE-ABS-KEY = Title or Abstract or Keywords

Resultat för sökningen hos Scopus: 1 529 artiklar

# Bilaga B. Urval av material

I Tabell B1 beskrivs vilka sju material som valdes ut till djupstudier inom projektet, samt motivering till urvalet. Urvalet gjordes efter bedömning av underlag som togs fram i början av projektet.

**Tabell B1. Motivering för de sju material som valdes ut för djupstudier utifrån bedömning av tretton material.**

Material	Vidare till djupstudier	Motiv
Slagg	Nej	Kategori 2. Begränsad tillgång på ”bra sorts” slagg. Även konkurrens med andra användningsområden. Bra på P-rening men kan troligen inte ”ta” BOD utan BOD måste renas innan slaggen nås (också för att skydda slaggen). Oklart var rätt sorts stålverk finns (mest i norra Sverige?) vilket kan begränsa tillgången.
Kokosnötssubstrat	Nej	Kategori 1. Finns inte i Sverige. Lång transport (sjötransport har dock relativt låg miljöpåverkan). Skulle öka vår sårbarhet att bli beroende av ett material som inte finns i Sverige. Vanligt att använda till aktivt kol vilket kan ge viss konkurrens. En begränsad marknad även om det kan finnas potential för att öka produktionen. Lite begränsat med studier från litteratursökningen.
Torv	Nej	Kategori 2. Osäkerheter framtida tillgång största motivet till att materialet ej går vidare. Klassas som kategori 2 eftersom annat material också behövs för att hålla kvar strukturen). Torvbrytning – en kolsänka som grävs upp, kan bli problem i framtiden.
Däckklipp	Ja	Kategori 1. Potential till god rening av många ämnen. God värme-hållande förmåga kan vara positivt för rening och anläggande. Mindre transporter krävs än för grusmaterial. Ett restmaterial (skiljer sig från bergmaterialprodukter). Finns i Sverige. Begränsad tillgång på materialet. Ny fabrik är dock på gång. Begränsad mängd artiklar i litteraturstudien. Risk för läckage av skadliga ämnen. Svårigheter med acceptans är möjligt.
Bergkross	Ja	Kategori 1. Ligger nära naturgrus. Jämförbar rening med naturgrus för många ämnen. Bör kunna fylla samma funktion. Finns i Sverige i stora mängder. Forskningsgruppen har mycket erfarenhet om bergkross vilket i viss mån väger upp mot få artiklar. Risk för urlakning av arsenik måste beaktas.
Ballast från tvättade schaktmassor	Ja	Kategori 1. Intressant om kvalitetssäkrat – vilket krävs för att garantera att materialet är rent (förutom risker för läckage kan materialet även ha svårigheter med acceptans). Potential till god kornstorleksfördelning – det vill säga likheter med naturgrus (men kan bero mycket på typ av material, heterogent ursprung kan ge svårigheter). Finns bara vid två anläggningar idag och kan inte transporteras så långt innan transporten ger stor påverkan. Cirkulärt material. Finns i Sverige.
Morän	Ja	Kategori 1. Ligger nära naturgrus (förutom risk för mer finmaterial). Finns i Sverige. Bör kunna fylla samma funktion. Utan att bearbeta så är det dock en liten andel av all morän som kan användas. Bra att ta med i bedömning eftersom det är en lokal resurs.
Betongkross	Ja	Kategori 1. Osäkert om vattengenomsläpplighet. Bättre tillgång än schaktmassor. Finmaterial kan behöva avlägsnas. Igensättningseffekter kan vara ett problem men kan minskas med nya bindemedel? Restprodukt. Begränsat med litteratur men lite finns. Finns i Sverige.

Material	Vidare till djupstudier	Motiv
Biokol	Ja	Kategori 2. Valdes ut trots klassning som kategori 2 p.g.a. bevisat goda egenskaper för reduktion av organiska föroreningar. Pyrolys av slam kan öka mängderna. Finns i Sverige (potentiellt god tillgång men beror på vilket typ av biokol som är aktuell). Kopplad till bra klimatpåverkan (medel till lång koldioxidsänka).
Musselskal	Nej	Kategori 2. Ev. intressant om tillgång finns men bedöms finnas på begränsade platser. Osäkerheter kring reningspotentialen. Svårigheter att tvätta bort organiska rester/hygienisera (klassas säkert som ABP).
Zeoliter	Nej	Kategori 2. Ej intressant till denna tillämpning. Kanske bättre att använda vid sidan av markbädd. Utnyttja jonbytaregenskaper. Verkar inte finnas svenska zeoliter utan måste importeras. Dyrt material där tillgången inte bedöms som alltför stor.
Bark som restprodukt från skog	Ja	Kanske potential till kategori 1. Restprodukter från skogen. Svensk produkt med potential. Förhoppningen är att hitta något med lika goda egenskaper som den franska tallbarken.
Moduler av plast	Nej	Kategori 2. Plast är en fossilbaserad produkt som inte är återvunnen i dagsläget (möjligheter till plaståtervinning kanske dock finns?). Moduler av plast är redan en produkt som finns inom rening av små avlopp, vilket gör materialet mindre intressant att undersöka här. Risk för läckage av mikroplatser?

# Bilaga C. Hur mycket naturgrus behövs per år?

Som underlag till bedömning för ett antal kriterier inom projektet har det gjorts en uppskattning av det årliga behovet av filtermaterial (naturgrus eller ersättningsmaterial) till markbaserade avloppsanläggningar. Uppskattningen består av två fall där det ena handlar om hur stor mängd filtermaterial som kan uppskattas gå åt per år vid en önskvärd åtgärdstakt och det andra om hur stor mängd filtermaterial som uppskattas gå åt vid dagens åtgärdstakt.

Antal avlopp i Sverige med WC i Sverige är idag 718 000 medan antal fastigheter med enbart BDT är 141 000 (Olshammar, 2021). Totala antalet anläggningar är därmed cirka 859 000. Teknikfördelningen för avlopp inklusive WC var cirka 16 % markbäddar och 34 % infiltrationsanläggningar enligt den senaste enkäten som gick ut till fastigheter med små avloppsanläggningar (under 200 pe) (Olshammar, 2021). Enligt kommunikation med en erfaren entreprenör används typiskt 18–20 m<sup>3</sup> filtermaterial till en markbädd.

Enligt enkät från VVS-fabrikanterna låg åtgärdstakten för små avlopp på 1,9 % under 2023 (VVS-fabrikanterna, 2024) medan den låg på 2,3 % under 2021 (VVS-fabrikanterna, 2023). Med utgångspunkt från antagandet att en markbaserad avloppsanläggning håller i cirka 20 år så skulle åtgärdstakten behöva ligga på 5 % per år. Enligt Palm m.fl. (2012) kan dock markbaserade anläggningar hålla i 30–40 år ur ett hydrauliskt perspektiv förutsatt att de är dimensionerade och byggda på rätt sätt. Beräkningen baseras dock på en åtgärdstakt på 5 % för att få med en säkerhetsmarginal.

## Önskat antal åtgärdade anläggningar per år

Om vi utgår från att icke-fungerande anläggningar skulle åtgärdas under en period på 20 år och att man i övrigt även skulle upprätthålla 5 % åtgärdstakt på korrekt byggda anläggningar som passerat bedömd livslängd så skulle det innebära att:

$$A_{\text{öa}} = \dot{A}_{\text{ök}} \times (A_{\text{wc}} + A_{\text{bdt}}) \quad (9)$$

där:

$A_{\text{öa}}$  = antal anläggningar som vore önskvärt att åtgärda varje år

$\dot{A}_{\text{ök}}$  = önskad åtgärdstakt

$A_{\text{wc}}$  = totalt antal anläggningar med WC

$A_{\text{bdt}}$  = totalt antal anläggningar med BDT

Uppskattningar med källa:

$\dot{A}_{\text{ök}} = 5 \% = 0,05$  (VVS-fabrikanterna, 2023)

$A_{\text{wc}} = 718\,000$  anläggningar (Olshammar, 2021)

$A_{\text{bdt}} = 141\,000$  anläggningar (Olshammar, 2021)

Detta ger:

$$A_{\text{öa}} = 0,05 \times (718\,000 \text{ anl.} + 141\,000 \text{ anl.}) = 42\,950 \text{ anl.}$$

Det vill säga: det vore önskvärt att 42 950 anläggningar (såväl WC som enbart BDT) åtgärdas varje år.

## Antal åtgärdade anläggningar i nuläget

Om vi i stället räknar på dagens åtgärdstakt så skulle det innebära att uppskattningsvis:

$$A_{\text{då}} = \dot{A}_{\text{d}} \times (A_{\text{wc}} + A_{\text{bdt}}) \quad (10)$$

där:

$A_{\text{då}}$  = antal anläggningar som åtgärdas varje år i dagsläget

$\dot{A}_{\text{d}}$  = dagens åtgärdstakt

$A_{\text{wc}}$  = totalt antal anläggningar med WC

$A_{\text{bdt}}$  = totalt antal anläggningar med BDT

Uppskattningar med källa:

$$\dot{A}_{\text{d}} = 2 \% = 0,02 \quad (\text{avrundad uppsättning utifrån VVS-fabrikanterna (2024) och VVS-fabrikanterna (2023)})$$

$$A_{\text{wc}} = 718\,000 \text{ anläggningar} \quad (\text{Olshammar, 2021})$$

$$A_{\text{bdt}} = 141\,000 \text{ anläggningar} \quad (\text{Olshammar, 2021})$$

Detta ger:

$$A_{\text{då}} = 0,02 \times (718\,000 \text{ anl.} + 141\,000 \text{ anl.}) = 17\,180 \text{ anl.}$$

Det vill säga: uppskattningsvis 17 180 anläggningar byts ut varje år med nuvarande åtgärdstakt.

## Önskad mängd naturgrus

Mängd naturgrus (det vill säga filtermaterial) som behövs per år vid önskvärd förändringstakt kan uppskattas:

$$M_{\text{öa}} = A_{\text{öa}} \times a_{\text{m}} \times M_{\text{m}} + A_{\text{öa}} \times a_{\text{i}} \times a_{\text{if}} \times M_{\text{if}} \quad (11)$$

där:

$M_{\text{öa}}$  = mängd naturgrus som behövs varje år för att uppnå önskad förändringstakt

$A_{\text{öa}}$  = antal anläggningar som vore önskvärt att åtgärda varje år

$a_{\text{m}}$  = andel av alla avloppsanläggningar som utgörs av markbäddar

$M_{\text{m}}$  = mängd naturgrus som behövs för en markbädd

$a_{\text{i}}$  = andel av alla avloppsanläggningar som utgörs av infiltrationer

$a_{\text{if}}$  = andel av alla infiltrationer som är förstärkta

$M_{\text{if}}$  = mängd naturgrus som behövs till förstärkning av en infiltration

Uppskattningar med källa:

$$A_{\text{öa}} = 42\,950 \text{ anläggningar} \quad (\text{beräknat enligt ovan})$$

$$a_{\text{m}} = 18 \% = 0,18 \quad (\text{Olshammar, 2021})$$

$$M_{\text{m}} = 20 \text{ m}^3 \quad (\text{Enligt avstämning med erfaren entreprenör})$$

$$a_{\text{i}} = 34 \% = 0,34 \quad (\text{Olshammar, 2021})$$

Uppskattningar utan källa:

$$a_{if} = 50 \% = 0,5$$

$$M_{if} = \frac{2 \times M_m}{5} \quad (12)$$

Detta ger:

$$M_{\text{då}} = 42\,950 \text{ anl.} \times 0,18 \times 24 \text{ m}^3 + 42\,950 \text{ anl.} \times 0,34 \times 0,5 \times \frac{2 \times 20 \text{ m}^3}{5} = 211\,142 \text{ m}^3 \approx 210\,000 \text{ m}^3$$

Det vill säga mängden markbäddssand (det vill säga filtermaterial) som behövs/år vid önskvärd förändringstakt är 210 000 m<sup>3</sup> vilket motsvarar cirka 330 000 ton om man antar att volymvikten för naturgrus ligger på 1,55 ton/m<sup>3</sup>.

## Mängd naturgrus per år i nuläget

Mängd markbäddssand (det vill säga filtermaterial) som går åt per år vid nuvarande åtgärdstakt kan uppskattas:

$$M_{\text{då}} = A_{\text{då}} \times a_m \times M_m + A_{\text{då}} \times a_i \times a_{if} \times M_{if} \quad (13)$$

där:

$M_{\text{då}}$  = mängd naturgrus som går åt per år med nuvarande förändringstakt

$A_{\text{då}}$  = antal anläggningar som åtgärdas varje år

$a_m$  = andel av alla avloppsanläggningar som utgörs av markbäddar

$M_m$  = mängd naturgrus som behövs för en markbädd

$a_i$  = andel av alla avloppsanläggningar som utgörs av infiltrationer

$a_{if}$  = andel av alla infiltrationer som är förstärkta

$M_{if}$  = mängd naturgrus som behövs till förstärkning av en infiltration

Uppskattningar med källa:

$$A_{\text{då}} = 17\,180 \text{ anläggningar} \quad (\text{beräknar enligt ovan})$$

$$a_m = 18 \% = 0,18 \quad (\text{Olshammar, 2021})$$

$$M_m = 20 \text{ m}^3 \quad (\text{Enligt avstämning med erfaren entreprenör})$$

$$a_i = 34 \% = 0,34 \quad (\text{Olshammar, 2021})$$

Uppskattningar utan källa:

$$a_{if} = 50 \% = 0,5$$

$$M_{if} = \frac{2M_m}{5} \quad (13)$$

Detta ger:

$$M_{\text{då}} = 17\,180 \text{ anl.} \times 0,18 \times 24 \text{ m}^3 + 17\,180 \text{ anl.} \times 0,34 \times 0,5 \times \frac{2 \times 20 \text{ m}^3}{5} = 84\,457 \text{ m}^3 \approx 84\,000 \text{ m}^3$$

Det vill säga mängden markbäddssand (det vill säga filtermaterial) som behövs/år vid nuvarande förändringstakt är cirka 84 000 m<sup>3</sup> vilket motsvarar cirka 130 000 ton om man antar att volymvikten för naturgrus ligger på 1,55 ton/m<sup>3</sup>.



Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

# Filtermaterial i markbaserade avloppsanläggningar

## Hållbara alternativ till naturgrus

Traditionellt har vi använt naturgrus i hushållens markbaserade avloppsanläggning. Men naturgrus är också en ändlig resurs, som även har en stor betydelse för Sveriges dricksvattenförsörjning. Därför behöver vi hitta alternativ till naturgruset som filtermaterial.

Syftet med studien har varit att hitta material som kan ersätta naturgruset. Främst utifrån dess hållbarhet, samt även utvärdera vilka ytterligare studier som behövs för att bättre utvärdera alternativen. Forskarna undersökte först 35 stycken möjliga filtermaterial, vilka sedan avgränsades till sju för en vidare djupstudie: ballast från tvättade schaktmassor, bark, bergkross, biokol, däckklipp, krossad betong och grov morän. Den slutliga sammanvägningen skedde genom en multikriterieanalys (MKA).

Alla material, utom biokol, bedömdes som likvärdiga eller ha en högre hållbarhet än naturgrus. Samtliga material har både för- och nackdelar. Att biokol bedömdes ha lägre hållbarhet har främst att göra med den höga kostnaden och en lägre tillgänglighet. Forskarna framhåller även att ytterligare forskning behövs för att fastställa vilket/vilka material som är bäst lämpade för markbaserade anläggningar.

Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag som finansierar forskning till stöd för Naturvårdsverkets och Havs- och vattenmyndighetens kunskapsbehov.



Havs  
och Vatten  
myndigheten