

Slutrapport Projekt NV-06919-21

Rening av dagvatten i biofilter:

Effekt av biokol som tillsats i filtermaterialet

Godecke Blecken
Maria Viklander

Luleå tekniska universitet
Institutionen för Samhällsbyggnad och Naturresurser
Forskargruppen VA-teknik
Dag&Nät, DRIZZLE
97187 Luleå



Förord

Detta projekt har utförts under åren 2021-2022 och finansierats av Naturvårdsverket.

Projektet hade inte varit möjligt utan samarbetet med Växjö kommun som byggt biofilteranläggningen i nära dialog med författarna på LTU. Arbetet har genomförts inom ramen för forskningsklustret Dag&Nät och Vinnova:s kompetenscentrum DRIZZLE på LTU. Författarna tackar Robert Furén, Katharina Lange, Ali Beryani, Kerstin Nordqvist och Peter Rosander för stöd vid planering, installation och provtagning. Dessutom tack till Ove Eriksson för all hjälp med provtagning.

Luleå i augusti 2022

Godecke Blecken

Innehållsförteckning

1. Introduktion	6
2. Syfte	6
3. Metod och genomförande.....	7
4. Resultat och diskussion	9
5. Slutsatser och rekommendationer	21

1. Introduktion

Vägdagvatten är förorenat med en rad olika ämnen. Reningstekniker för dagvatten implementeras i ökande takt i Sverige och hela världen. En sådan reningsteknik är dagvattenbiofilter (ibland även kallat växt- eller regnbäddar). Dagvattenbiofilter är en relativt ny, men numera mycket populär reningsteknik i Sverige.

Filtermaterialet står för den allra största andelen av reningen¹. Ofta används relativt näringsfattiga sandbaserade filtermaterial för att rena dagvattnet. Det har visats att dessa material har en bra förmåga att rena t ex. sediment, metaller, fosfor och/eller mikroplaster².

På senare år har det föreslagits att implementera biokol som tillsats i dagvattenbiofilter, både av forskare³ och verksamhetsutövare (t ex. kommuner⁴ och industrin⁵). Sannolikt är biokol till nytta för dagvattenrening, dock bygger de flesta vetenskapliga studierna endast på laboratorieförsök³. Praktiska erfarenhet och studier vid fältanläggningar saknas, såväl internationellt som under svenska förhållanden. Vissa studier visar på att biokol som tillsats har en mycket stor potential³, medan andra studier inte kunna visa på en signifikant inverkan av biokol för adsorption av metaller⁶.

Trots denna kunskapsbrist anläggs idag idag i Sverige många anläggningar med biokol där biokoltillsatser ofta lyfts fram som en ytterst relevant tillsats i filtermaterialet.

2. Syfte

Syftet med detta projekt är att leverera ny kvantitativ kunskap om effekten av biokol på rening av dagvatten i biofilter genom att undersöka två biofilter för dagvattenrening med biokol och två filter utan biokol.

¹ Muthanna m fl. (2007). Snowmelt pollutant removal in bioretention areas. *Water Research* 41(18), 4031-4072.

² Svenskt Vatten Utveckling (2019). Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten. Larm, T., & Blecken, G. SVU rapport 2019-20.

Lange m fl. (2021). Removal of rubber, bitumen and other microplastic particles from stormwater by a gross pollutant trap – bioretention treatment train. *Water Research* 202, 117457

³ Mohanty m fl.. (2018). Plenty of room for carbon on the ground: Potential applications of biochar for stormwater treatment. *Science of the Total Environment*, 625, 1644-1658. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.037

⁴ T ex.: Stockholm Stad: <https://vaxer.stockholm/projekt/olof-gjodingsgatan/> och Haninge kommun: https://www.haninge.se/globalassets/forvaltningsspecifikt-globalt-innehall/stadsbyggnadsforvaltningen/dagvatten/haninge_lod_storre_fastighet_digital1.pdf

⁵ T ex.: <https://biokol.org/wp-content/uploads/biokolshandboken.pdf>, <https://www.hasselforsgarden.se/produkter/regnbaddar/>, <https://www.baramineraler.se/anlaggning/regnbaddar-och-dagvatten/hekla-regnbadd/>

⁶ Søberg m fl. (2019). Dissolved metal adsorption capacities and fractionation in filter materials for use in stormwater bioretention facilities. *Water Research* X, 4, 100032

3. Metod och genomförande

Anläggning

2019 har fyra biofilter byggts av Växjö kommun längs en väg i Västra industriområdet. Vägen har en relativ hög trafikbelastning eftersom den är en av huvudinfartsvägarna till området. En stor del av trafiken är tyngre lastbilstrafik.

Två biofilter har en yta på ca 1,65 x 20 m (33 m²) och två på ca 1,65 x 40 m (66 m²). De behandlar dagvattnet från en sträcka av ca. 300 m respektive 150 m av vägen.



Figur 1. Vänster: två av filtren. Höger: Filter vid högt flöde och bräddning.

Biofiltren har utformats och dimensionerats gemensamt av LTU och Växjö kommun utifrån nationella och internationella vetenskapliga erfarenheter med dagvattenbiofilter. Resultaten av tidigare forskningsresultat från LTU har beaktats. Filtermaterialet är ett sandbaserat material, vilket som har utvecklats av LTU för att klara kraven i det (kalla) svenska klimatet. Olika studier har visat att materialet har en mycket bra reningsförmåga avseende totala och lösta metaller, fosfor, sediment, patogener, mm.⁷

Två av anläggningarna har byggts med endast detta filtermaterial och två har byggts med en tillsats av 10% biokol (Tabell 1). Denna uppsättning möjliggör en direkt jämförelse av filtren med och utan biokol.

Tabell 1. Sammansättning av filtermaterial för de två olika filtren, med respektive utan biokol.

Sandfraktioner/filtermaterial	Utan biokol	Med biokol
Biokol >2 mm	-	10 %
0,5-0,5 mm	25 %	25 %
0,5-1 mm	25 %	25 %
1-2 mm	25 %	25 %
2-4 mm	10 %	10 %
AMA jord B	15 %	5 %

⁷ Se t ex. Søberg (2019). Bioretention for stormwater quality treatment: Effects of design features and ambient conditions. Doktorsavhandling vid LTU och Lange (2021). Metal and microplastic treatment in stormwater bioretention. Doktorsavhandling vid LTU

Provtagning

Mellan maj 2021 och februari 2022 har 15 regn provtagits. En flödesproportionell provtagning har genomförts för utflödet från respektive filter. Vid varje provtagningsspunkt har ett samlingsprov tagits och analyserats, dvs. för varje regn har den flödesviktade medelkoncentrationen tagits fram. Provtagning för inflöde har genomförts vid ett filter, då förhållandena längs gatan anses ungefär lika varför provet kan anses vara representativt. Då ingen tillförlitlig flödesmätning kunde utföras vid inloppet till biofiltret utfördes provtagningen regnproportionellt.

Kemiska analyser

Varje prov har analyserats för följande parametrar:

- Totala och lösta (<0,45 µm) metaller
- Kväve och kvävefraktioner,
- Total och löst fosfor samt fosfat
- TSS
- Turbiditet
- Klorid
- TOC och DOC
- pH

Alla analyser har genomförts av ett ackrediterat laboratorium (ALS Scandinavia) med standardmetoder. Av metallerna redovisas Cu, Pb och Zn i denna rapport. Även Cd analyserades men redovisas ej i denna rapport då många värden var under detektionsgränsen.

Medan "nyare" föroreningar som mikroplaster och PFAS har uppmärksammats mycket under de senaste åren, så är det viktigt att inte glömma av de mer "klassiska" föroreningarna. Vi har valt att fokusera på dessa "klassiska" föroreningar, då de finns ett stort antal tidigare studier av dessa ämnen publicerade⁸ vilket möjliggör jämförelser med denna studie.

Analys av data

Dagvattenkoncentrationerna (medelvärde över 15 regn) har jämförts med koncentrationerna i utflödet från filtren med respektive utan biokol. Ingen statistisk skillnad kunde påvisas mellan de två anläggningarna med respektive utan biokol, dvs de har kunnat användas som duplikat.

För att ta reda på om och hur koncentrationerna skiljer sig från varandra, dvs. om utflödet har renats (har signifikant lägre föroreningskoncentrationer än dagvattnet) och om biokol har en effekt på reningen har statistiskt test utförts med One-Way-ANOVA (analysis of variance). Ett p-värde <0,05 indikerar att det finns en statistiskt signifikant skillnad mellan dagvattnet i utflödet från filtret utan biokol och i utflödet från filtret med biokol. R² (mellan 0 och 100) beskriver hur mycket av variationen i indata som beskrivs av dessa faktorer. Vilka av grupperna (dagvatten, utflöde med biokol, utflöde utan biokol) som skiljer sig signifikant har därefter testats med ett Tukey-test (Tabell 2).

Datat har även illustrerats i låddiagram (box plots). Dessa diagram visar medianvärdet, undre och övre kvartilen (dvs "lådan") samt minimum och maximum (sträcken ovanför och nedanför lådan). Statistiska utliggare (outliers) är markerade med *.

⁸ Se t. ex. litteraturstudien Kratky m fl. (2017). A critical literature review of bioretention research for stormwater management in cold climate and future research recommendations. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 11(4)

4. Resultat och diskussion

Dagvatten

Koncentrationerna i dagvattnet visas separat för metaller, näringsämnen och andra ämnen i tabellerna och figurerna i avsnitten nedan. Sammanfattningsvis kan det konstateras att alla koncentrationer ligger på nivåer som man vanligtvis kan förvänta sig i t ex stads- eller trafikmiljöer. Därmed anses dagvattnet i denna studie vara av sådan karaktär att resultaten (inom rimliga ramar) kan generaliseras och inte bara gäller specifikt för det undersökta området i Växjö.

Påverkan av biokol

I Tabell 2 visas resultaten av ANOVA. Denna metod undersöker skillnaden mellan två grupper (dvs. dagvatten jämfört med filter 1, dagvatten jämfört med filter 2 och filter 1 jämfört med filter 2). Om det inte finns någon statistisk skillnad mellan två grupper får dessa grupper samma bokstav (t ex. A och A för totalfosfor i Tabell 2), finns det däremot en skillnad får grupperna två olika bokstäver (t ex A och B för total Cu eller löst fosfor i Tabell 2).

Generellt visar ANOVA-resultaten att många ämnen (alla metaller förutom löst Pb och till viss del löst Cu i biokol-filtret samt TSS och turbiditet) renas av biofiltren. Samma gäller för totalkväve, dock med lägre reningsgrad. Fosfor renas däremot inte, totalhalter skiljer sig inte mellan in- och utflöde. För löst fosfor och fosfatfosfor är halterna signifikant högre i utflödet från filtret med biokol. Resultaten för de olika föroreningsgrupperna diskuteras i detalj nedan.

Tabell 2. Resultatet av den statistiska utvärderingen: skillnad mellan dagvatten och utflöde från filtren samt skillnad mellan filtren med respektive utan biokol. A och B indikerar grupperingen. Vid skillnad mellan dagvatten och utflödet visar röd font (**B**) att utflödet har högre föroreningshalter än inflödet (dvs urlakning istället för rening) och blå font (**A**) att filtren förbättrar vattenkvaliteten (dvs. rening).

	Resultat ANOVA		Resultat Tukey test		
	p-värde	R ²	Utflöde		
			Dagvatten	Med biokol	Utan Biokol
Cu	0,000	42,7	A	B	B
Löst Cu	0,042	6,78	A	A B	B
Pb	0,000	26,85	A	B	B
Löst Pb	0,402	0	A	A	A
Zn	0,000	55,12	A	B	B
Löst Zn	0,000	42,8	A	B	B
Totalfosfor	0,115	3,72	A	A	A
Löst fosfor	0,000	31,17	A	B	A
Fosfat-fosfor	0,000	33,97	A	B	A
TotalkväveN	0,080	11,66	A	B	B
NH ₄ -N	0,000	35,03	A	B	B
NO _x -N	0,850	0	A	A	A
TSS	0,000	35,76	A	B	B
Turb	0,000	35,53	A	B	B
pH	0,000	60,48	A	B	B
klorid	0,670	0	A	A	A
TOC	0,000	31,35	A	B	B
DOC	0,014	10,09	A	A B	B

Metaller

Metallkoncentrationerna i det utgående vattnet från filtren är i de flesta fall lägre än i det inkommande dagvattnet (medel: Tabell 3; median: Figur 2). Endast löst Pb renas inte, utan de utgående halterna är ofta högre än de inkommande. Denna skillnad är dock inte statistiskt signifikant beror på den stora spridningen av resultaten (Tabell 2). En sämre rening av löst Pb har observerats i tidigare studier, framför allt när vägsalt funnits i dagvattnet, vilket även var fallet vid några av de undersökta regnen i denna studie (Tabell 4). Dock kunde inget statistiskt samband påvisas mellan kloridhalt och metallkoncentrationerna i denna studie. Eftersom den allra största andelen av Pb är partikulärt och skillnaden inte signifikant anses denna sämre rening av löst Pb inte vara ett problem. ANOVA-resultaten tyder dessutom på att det inte finns en signifikant skillnad mellan dagvattnet och utflödet från filtret med biokol (Tabell 2). Pga av ett litet R^2 och stor spridning (bl a. en hög outlier) är detta resultat svårtolkat; den praktiska betydelsen bedöms som liten.

Resultaten i denna studie ligger för Cu i linje med tidigare studier och visar att rening av löst Cu ofta är en utmaning i biofilter. Detta då Cu ofta transporteras ut ur filtren tillsammans med olika lösta organiska ämnen vilka är vanligt förekommande i biofilterutflöde.

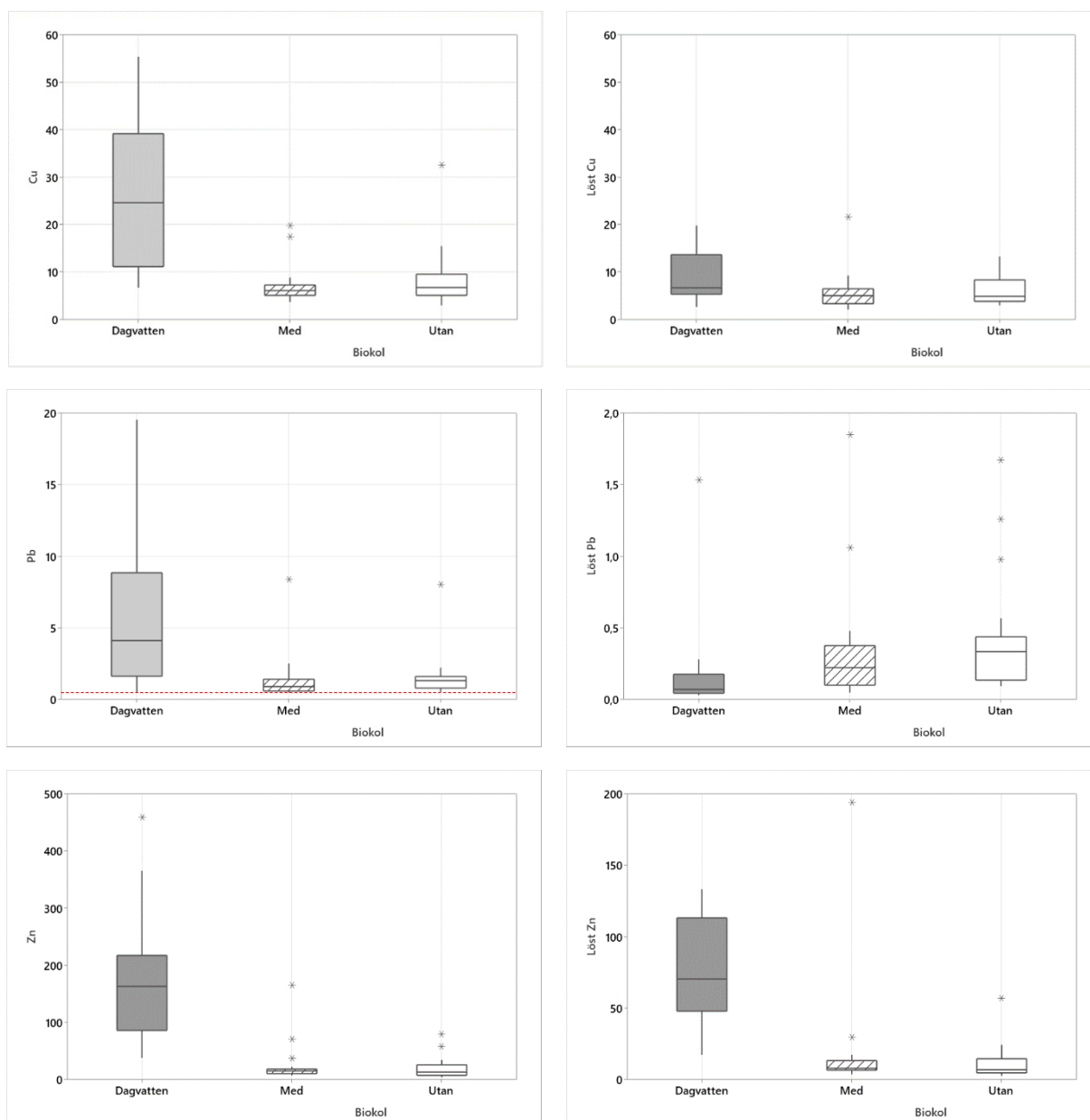
Generellt är reningsgraden av de totala metallhalterna som förväntat och ligger på samma nivåer som observerats i liknande tidigare studier både i labb och fält¹⁰.

Biokol visar ingen signifikant effekt på metallreningen. Halterna i det utgående vattnet från filtren med och utan biokol skiljer sig inte. Mohanty m fl (2018)¹¹ indikerar att biokol skulle kunna förbättra rening av metaller pga. förbättrad adsorption och genom att pH höjs. Våra resultat tyder inte på någon signifikant skillnad i adsorption. Sannolikt kan typ och egenskaper av biokol påverka adsorptionen, dvs. att annan biokol skulle kunna förbättra reningen kan inte uteslutas. Resultaten understryker därför att man medvetet bör välja biokol med vissa specifika egenskaper om syftet är att påverka rening av metaller. Någon påverkan av biokol på pH-värden har inte kunnat påvisats i denna studie (

Tabell 4, Figur 3); det fanns ingen signifikant skillnad mellan pH i utflödet från filtren med och utan biokol (Figur 3).

Tabell 3. Metallkoncentrationer i dagvattnet och utflödet från biofiltren med respektive utan biokol samt reningsgrad för filtren.

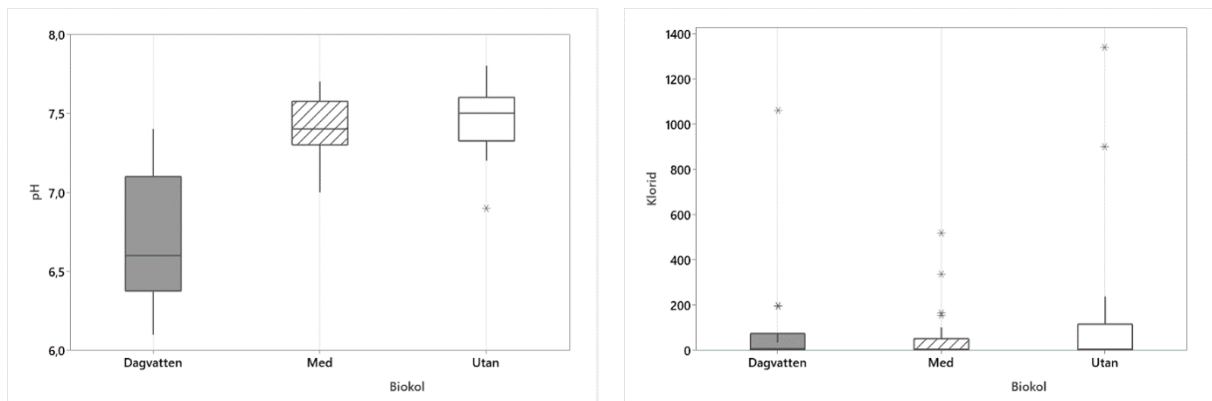
		Koncentration totalhalter (µg/L)		Rening (%)
		Medel	St-Dev	Medel
Cu	Dagvatten	25,8	16,1	
	Utflöde med biokol	7,1	3,9	72
	Utflöde utan biokol	8,1	5,5	69
Pb	Dagvatten	6,3	6,3	
	Utflöde med biokol	1,4	1,6	78
	Utflöde utan biokol	1,5	1,4	76
Zn	Dagvatten	180	118	
	Utflöde med biokol	24	33	87
	Utflöde utan biokol	19	17	89
Löst Cu	Dagvatten	8,9	5,5	
	Utflöde med biokol	5,7	4,0	36
	Utflöde utan biokol	6,0	2,7	32
Löst Pb	Dagvatten	0,2	0,4	
	Utflöde med biokol	0,7	1,8	-250
	Utflöde utan biokol	0,4	0,4	-100
Löst Zn	Dagvatten	77	38	
	Utflöde med biokol	18	39	77
	Utflöde utan biokol	11	11	86



Figur 2. Box plots (låddiagram) med koncentrationer av totala och lösta metaller i dagvattnet (grå) och utflödet från biofilter med respektive utan tillsatt biokol. Röd linje: detektionsgräns. Koncentrationer i $\mu\text{g/L}$. Skalan på y-axeln varierar mellan de olika diagrammen.

Tabell 4: pH och klorid i dagvattnet och utflödet från biofiltren med respektive utan biokol.

		Koncentration (mg/L)	
		Medel	St-Dev
pH	Dagvatten	6,7	0,4
	Utflöde med biokol	7,4	0,2
	Utflöde utan biokol	7,5	0,2
Klorid	Dagvatten	111,5	281,3
	Utflöde med biokol	63,3	127,0
	Utflöde utan biokol	124,0	296,3



Figur 3. Box plots (lådidiagram) med koncentrationer av pH och klorid i dagvattnet (grå) och utflödet från biofilter med respektive utan tillsatt biokol. Röd linje: detektionsgräns. Koncentrationer i µg/L. Skalan på y-axeln varierar mellan de olika diagrammen.

Fosfor

Koncentrationerna av totalfosfor är lägre i utflödet från filtret utan biokol än i dagvattnet. Dock är skillnaden inte signifikant pga. den höga spridningen. Koncentrationerna i utflödet från filtret med biokol är på samma nivå som inflödet: medelvärde är lite lägre och medianen högre för utflödet. Men även denna skillnad är inte signifikant (Tabell 2). Detta visar på att filterfunktionen är sämre än vad som tidigare rapporterats t ex. av Søberg m fl, 2020¹². Søbergs studie har visat på en bra reningsförmåga vilket motiveras med den låga halten av organiskt material i filtermaterialet. Ett likadant filtermaterial med samma typ av blandning har använts i filtret utan biokol. Urlakning av fosfor har regelbundet påvisats då filtermaterial med en hög andel organiskt material, t ex kompost¹³ har använts. Därav rekommenderas att kompost inte används i biofilter¹²⁻¹⁴.

Löst fosfor och fosfat-fosfor renades heller inte i filtren utan biokol. Däremot var halterna i utflödet från filtren med biokol betydligt högre än i det inkommande dagvattnet (Tabell 5, Figur 4). Denna skillnad är signifikant (Tabell 2), dvs. filtret med biokol lakar ur löst fosfor och fosfat. Eftersom tillsatsen av biokol är den enda skillnaden mellan de olika filtren är detta troligtvis förklaringen till den uppmätta urlakningen av löst fosfor och fosfat.

Ofta avtar urlakning av fosfor från filtermaterial över tid eftersom t ex. fina organiska partiklar sköljs ut i början när filtermaterialet är nyinstallerat¹⁴⁻¹⁵. Detta har dock inte observerats vid provtagningen i Växjö. Således har ingen urlakning skett i början eller så har anläggningen provtagits först efter att urlakningen har avtagit (provtagningen påbörjades när anläggningen var ca. 2 år gammal).

I en review-artikel sammanfattar Mohanty m fl (2018)¹⁶ att biokol i regel inte adsorberar fosfor. Artikeln nämner också urlakning av fosfor från biokol vilken härstammar från djurspillning och/eller avloppsslam. Ett annat skäl till urlakning av näringsämnen från biokol kan vara att biokolet är anrikt med näringsämnen (för att gynna växtligheten). Detta var dock inte fallet i Växjöanläggningen och således visar studien i Växjö att även annat biokol kan laka ur fosfor.

Dessa resultat understryker (som tidigare sammanfattat i SVU rapport 2019-20) att val av filtermaterial är avgörande för en bra fosforrening och att man behöver vara ytterst försiktigt gällande inblandning av organiskt material i biofilter när fosforrening prioriteras.

¹² Søberg m fl. (2020). Phosphorus and TSS removal by stormwater bioretention: Effects of temperature, salt, and a submerged zone and their interactions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(6)

¹³ Chahal m fl. (2016). Nutrient leaching and copper speciation in compost-amended bioretention systems. *Science of the Total Environment*, 556, 302–309.

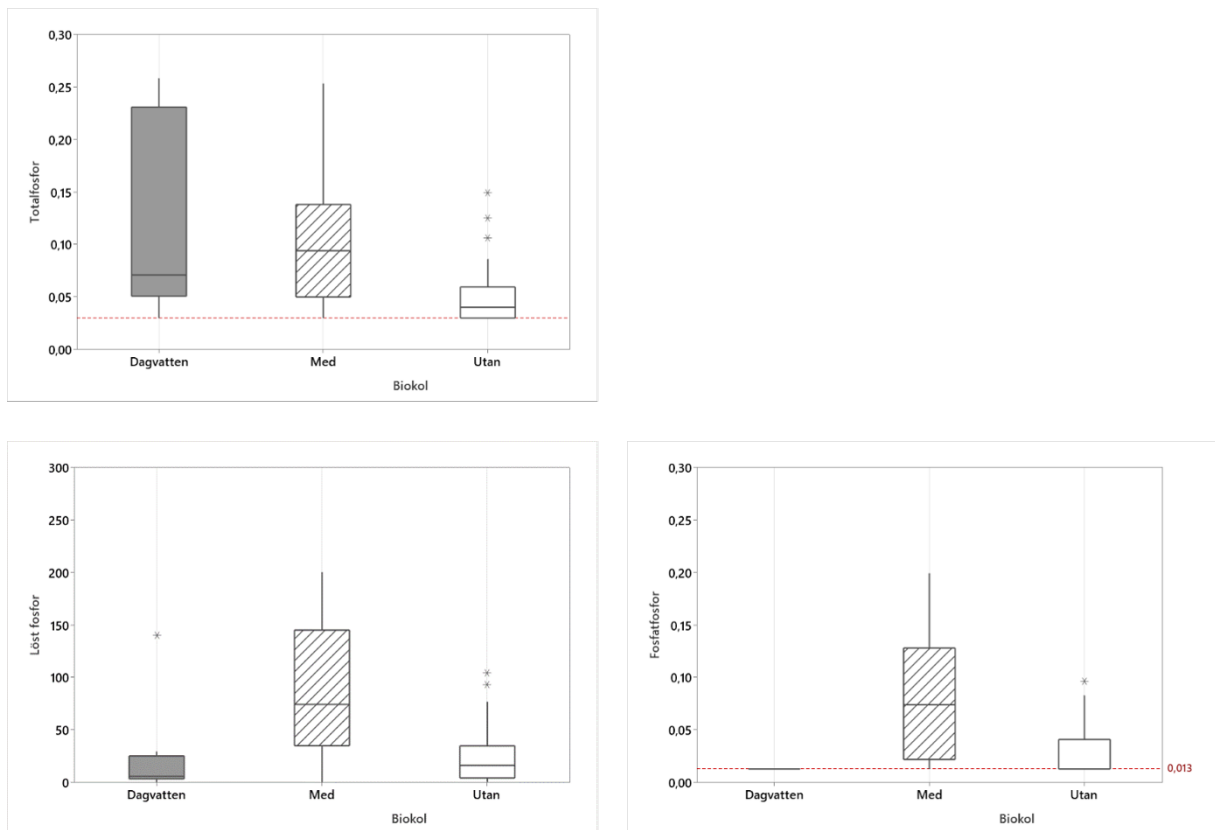
¹⁴ Marvin m fl. (2020). State-of-the-art review of phosphorus sorption amendments in bioretention media: a systematic literature review. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 6(1)

¹⁵ T ex. Blecken (2010) Biofiltration technologies for stormwater quality treatment, Doktorsavhandling vid LTU.

¹⁶ Mohanty m fl. (2018). Plenty of room for carbon on the ground: Potential applications of biochar for stormwater treatment. *Science of the Total Environment*, 625, 1644-1658

Tabell 5: Fosforkoncentrationer i dagvattnet och utflödet från biofiltren med respektive utan biokol samt reningsgrad för filtren.

		Koncentration totalhalter (mg/L)		Rening (%)
		Medel	St-Dev	Medel
Fosfor	Dagvatten	0,14	0,15	
	Utflöde med biokol	0,10	0,06	29
	Utflöde utan biokol	0,07	0,10	50
Löst fosfor	Dagvatten	0,02	0,04	
	Utflöde med biokol	0,09	0,06	-350
	Utflöde utan biokol	0,03	0,03	-50
PO4-P	Dagvatten	0,01	0,00	
	Utflöde med biokol	0,08	0,06	-700
	Utflöde utan biokol	0,03	0,03	-200



Figur 4. Box plots (låddiagram) med koncentrationer av total och löst fosfor samt fosfatfosfor i dagvattnet (grå) och utflödet från biofilter med och utan tillsatt biokol. Röd linje: detektionsgräns. Koncentrationer i mg/L (total P och fosfat-P) och µg/L (löst P). Skalan på y-axeln varierar mellan de olika diagrammen.

Kväve

Kväverening fungerar i regel inte särskilt bra i vanliga dagvattenbiofilter som inte innehåller en vattenmättad zon¹⁷. Anledningen till detta är att det då saknas de syrefattiga förhållanden i det relativt grova filtermaterialet som behövs för att denitrifikation skall kunna ske och ofta har då urlakning av kväve påvisats.

Därför är den relativt låga (Tabell 6, Figur 5), dock statistiskt signifikanta (Tabell 2) rening som observerats i Växjöanläggningen ändå att betraktas som relativt god. Som förväntat renas dock ammonium-kväve (Figur 5), troligtvis genom nitrifikation. Nitrat/nitrit-kväve renas däremot inte utan koncentrationerna i inkommande och utgående vatten är ungefär lika. Detta gäller både filtren med och utan biokol.

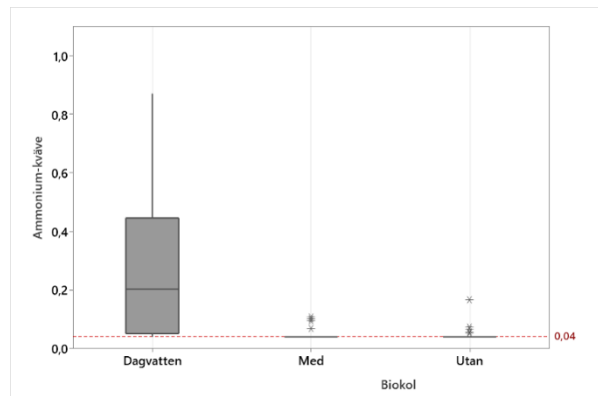
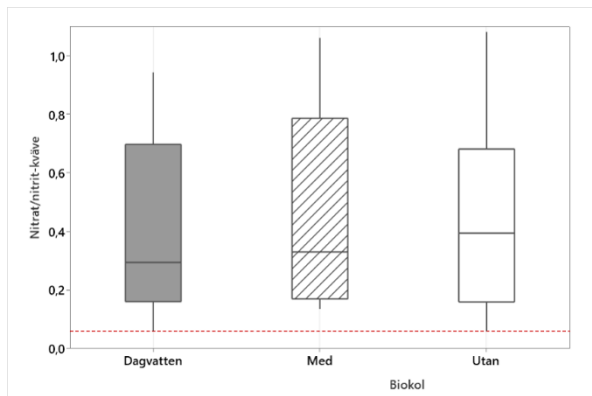
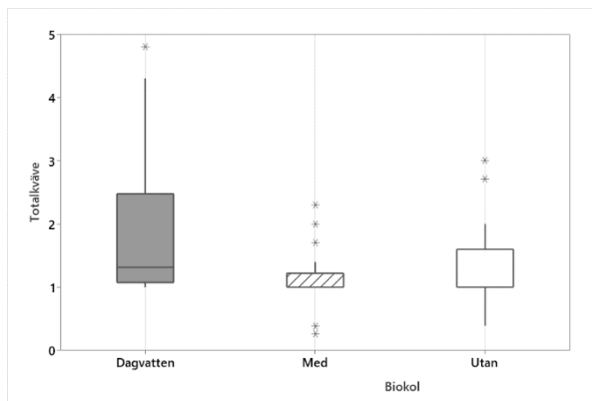
Biokol har således ingen effekt på kvävereningen. Det har i tidigare studier spekulerats (t ex av Mohanty, 2018¹⁸) om att biokol skulle kunna förbättra förutsättningar för denitrifikation, detta har dock inte kunnat bekräftas genom denna studie.

Tabell 6: Kvävekoncentrationer i dagvattnet och utflödet från biofiltren med respektive utan biokol samt reningsgrad för filtren.

		Koncentration totalhalter (mg/L)		Rening (%)
		Medel	St-Dev	Medel
Kväve	Dagvatten	1,94	1,34	
	Utflöde med biokol	1,14	0,43	41
	Utflöde utan biokol	1,27	0,56	35
NOx-N	Dagvatten	0,41	0,30	
	Utflöde med biokol	0,47	0,32	-15
	Utflöde utan biokol	0,44	0,31	-7
NH4-N	Dagvatten	0,29	0,28	
	Utflöde med biokol	0,05	0,02	83
	Utflöde utan biokol	0,05	0,02	83

¹⁷ T ex. Blecken (2010) Biofiltration technologies for stormwater quality treatment, Doktorsavhandling vid LTU.

¹⁸ Mohanty m fl. (2018). Plenty of room for carbon on the ground: Potential applications of biochar for stormwater treatment. *Science of the Total Environment*, 625, 1644-1658



Figur 5. Box plots (låddiagram) med koncentrationer av kväve och kvävefraktioner i dagvattnet (grå) och utflödet från biofilter med respektive utan tillsatt biokol. Röd linje: detektionsgräns. Koncentrationer i mg/L. Skalan på y-axeln varierar mellan de olika diagrammen.

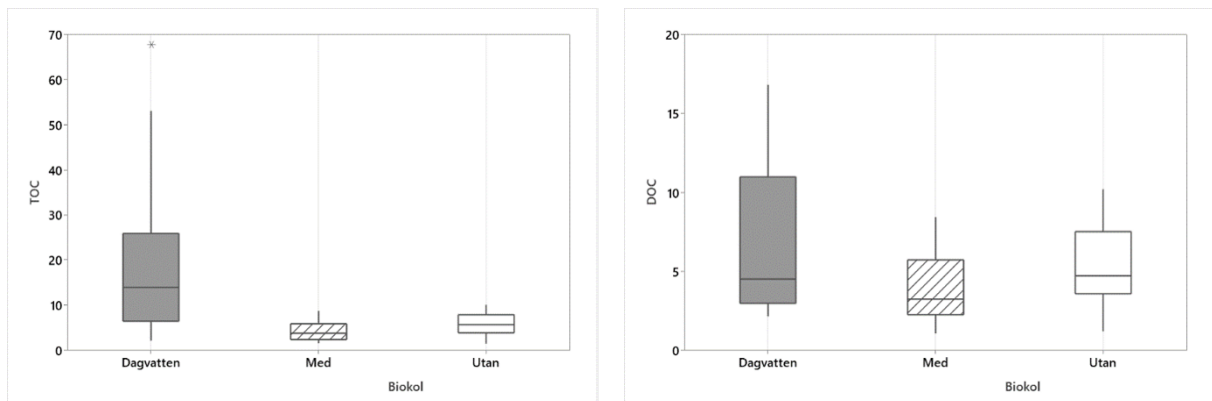
Suspenderat sediment, turbiditet, TOC, DOC

TSS och turbiditet renas bra i biofiltren vilket regelbundet har påvisats i tidigare studier¹⁹. Denna rening sker genom filtrering av finsediment i och på filtermaterialet. Biokol påverkar inte dessa processer, förutom ett något oklart ANOVA-resultat för DOC (Tabell 2: p-värde <0,05, dock endast litet R²), vilket dock inte bedöms vara praktiskt relevant. Ingen av parametrarna suspenderat sediment (TSS), turbiditet och TOC påverkas signifikant av biokol (Tabell 2). Det hade dock kunnat förväntats att en tillsats av biokol skulle kunna orsaka högre halter organiskt kol i utgående vatten.

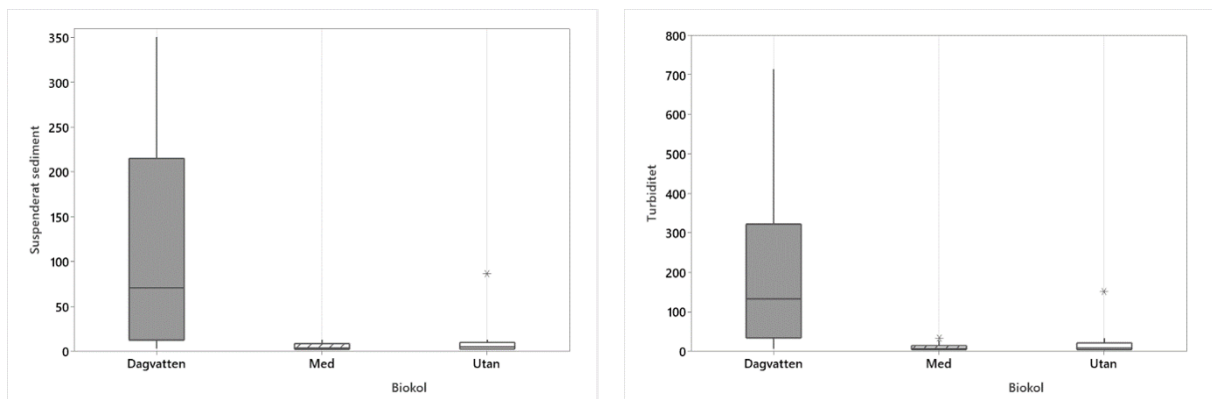
Tabell 7: Koncentrationer av TSS, TOC, DOC, klorid, samt turbiditet och pH i dagvattnet och utflödet från biofiltren med respektive utan biokol.

		Koncentration totalhalter (mg/L)	
		Medel	St-Dev
TSS	Dagvatten	106	113
	Utflöde med biokol	6	4
	Utflöde utan biokol	9	17
Turbiditet	Dagvatten	211	229
	Utflöde med biokol	11	9
	Utflöde utan biokol	17	28
TOC	Dagvatten	20,5	19,4
	Utflöde med biokol	4,3	2,1
	Utflöde utan biokol	5,9	2,4
DOC	Dagvatten	7,2	4,9
	Utflöde med biokol	4,0	2,2
	Utflöde utan biokol	5,4	2,4
pH	Dagvatten	6,7	0,4
	Utflöde med biokol	7,4	0,2
	Utflöde utan biokol	7,5	0,2
Klorid	Dagvatten	111,5	281,3
	Utflöde med biokol	63,3	127,0
	Utflöde utan biokol	124,0	296,3

¹⁹ Se t. ex. litteraturstudien Kratky m fl. (2017). A critical literature review of bioretention research for stormwater management in cold climate and future research recommendations. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 11(4)



Figur 6. Box plots (låddiagram) med koncentrationer av **total och löst organiskt kol (TOC, DOC)** i dagvattnet (grå) och utflödet från biofilter med och utan tillsatt biokol. Röd linje: detektionsgräns. Koncentrationer i µg/L. Skalan på y-axeln varierar mellan de olika diagrammen.



Figur 7. Box plots (låddiagram) med koncentrationer av **suspenderat sediment (TSS) och turbiditet** i dagvattnet (grå) och utflödet från biofilter med och utan tillsatt biokol. Röd linje: detektionsgräns. Koncentrationer i mg/L (TSS) och FNU (turbiditet). Skalan på y-axeln varierar mellan de olika diagrammen.

Vegetation

Generellt påstås det att biokol gynnar växtligheten i dagvattenbiofilter, men även i skelettjordar, andra regnbäddar m.m. Ingen detaljerad växtinventering har gjorts för anläggningen i Växjö. En kortare visuell bedömning tyder dock inte på någon skillnad i växtlighet i anläggningen med respektive utan biokol. Anledningen är sannolikt att växtvalet har anpassats till det relativt näringsfattiga filtermaterialet. De växtarter som initialt planterades var knapptåg, hampflockel, humleblomster, fackelblomster, strandaster samt flask-, hund- och bunkestarr.



Figur 8. Bilder på biofilter utan biokol (vänster) och med biokol (höger). Bilderna tagna den 29 augusti 2022.

5. Slutsatser och rekommendationer

Generellt bekräftar resultaten att dagvattenbiofilter med lämpliga filtermaterial kan rena dagvatten från framför allt metaller och suspenderat material. Rening av lösta metaller varierar mer, men fungerar tillfredsställande. Biokol visar ingen positiv effekt på rening av dessa ämnen.

Rening av totalfosfor i filtren utan biokol är tillfredsställande medan rening av löst fosfor och fosfat-fosfor (vilka är mera relevanta ur ett miljöperspektiv) är sämre än förväntat. Biokol visar sig orsaka utläckage av löst fosfor och fosfat-fosfor och kan utifrån resultaten från denna studie inte rekommenderas. Detta resultat visar i likhet med andra tidigare studier att val av filtermaterial är av avgörande betydelse för fosforrening.

Kväverening fungerar ganska bra med tanke på att anläggningen inte är specifikt anpassad för kväverening. Biokol visar ingen påverkan avseende kväverening.

Generellt visar studien på att ett sandbaserat, relativt näringsfattigt filtermaterial har bra egenskaper för att rena dagvatten och därmed bekräftar denna fältstudie tidigare labb-studier, bl a. utförda vid LTU. En vidare slutsats från denna studie är att biokol inte kan rekommenderas som tillsats i biofiltermaterial för att höja reningsfunktion.

Ofta används mer än 10 % biokol, t ex i skelettjordar. Hur detta påverkar reningen är dock oklart och kan inte bedömas utifrån denna studie. Dock finns sannolikt en risk att främst fosforeringen hade påverkats ännu mer och att utläckaget hade varit ännu högre om biokolandelen hade utökats.

Tidigare studier har visat en varierande effekt av biokol på fosforering, dvs. både förbättring och försämring. Detta visar på att fler undersökningar av olika typer av biokol behövs för att bättre förstå vilka processer och egenskaper som eventuellt gynnar rening av fosfor.

Vidare undersökningar vid anläggningarna i Växjö kommer fortsättningsvis bland annat att titta på organiska föroreningar.

