



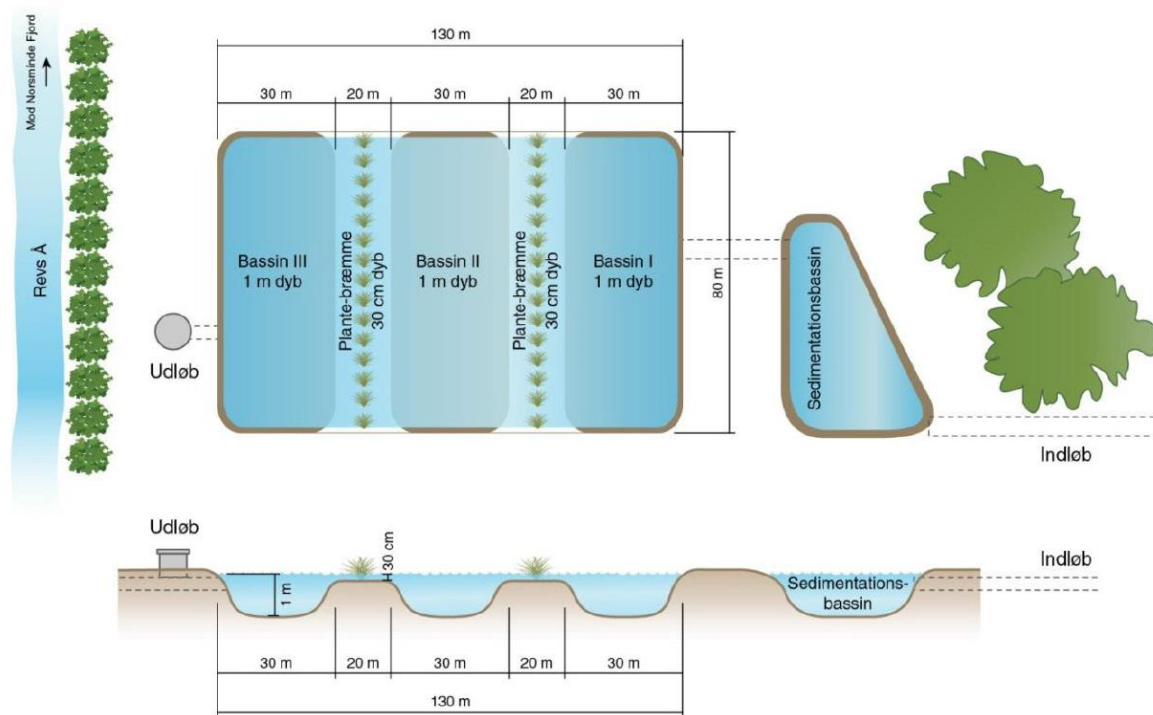
Minivådområder – foreløbige resultater Innovationsplatform for Drænvirkemidler

Astrid Ledet Maagaard, Rasmus Jes Petersen, Carl Christian Hoffmann.
Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet

1. Baggrund

Minivådområder med overfladestrømning er et effektivt drænvirkemiddel, som har været godkendt i Danmark siden 2017 (Kjærgaard et al., 2017). I dag anvendes minivådområder til at fjerne kvælstof og tilbageholde fosfor fra dræned arealer.

De danske minivådområder, som er godkendt under den kollektive ordning, er alle lavet efter det samme grundlæggende anlægsdesign. Et sådan minivådområde skal bestå af et sedimentationsbassin efterfulgt af en sekvens af dybe bassiner og lavvandede vegetationszoner, inden vandet endeligt ledes ud gennem en iltningsstrappe/-brønd (Landbrugsstyrelsen, 2020).



Figur 1: Principskitsen er gengivet fra Kjærgaard & Hoffmann 2017.

Sedimentationsbassinet har til formål at tilbageholde sedimentpartikler, herunder partikulært fosfor. Sekvensen af dybe bassiner og lavvandede vegetationszoner er designet til at optimere kvælstoffjernelsen ved at øge vandets opholdstid og leverer organisk kulstof til denitrifikation (Kjærgaard & Hoffmann, 2017). Denitrifikation er en biologisk proces, hvor denitrificerende bakterier omdanner nitrat til frit kvælstof, og er den primære proces for kvælstoffjernelse i minivådområder.

Kvælstof, som omsættes i minivådområderne, bliver fjernet permanent, hvorimod fosfor tilbageholdes i minivådområdet. Processerne bag fosfor-retention er sedimentation af fosfor, udfældning, adsorption på partikler og optag i planter (Mendes, Tonderski, & Kjaergaard, 2018; Mendes, Tonderski, Iversen, et al., 2018). Fosfor optaget i planter er opløst fosfat, som kun tilbageholdes indtil henfald af planten, mens adsorption, udfældning og sedimentation af fosfor generelt regnes for at være de vigtige retentionsprocesser.

Dette projekt har til formål at kvantificere og optimere design af to eksisterende minivådområder med sivedræn.

2. Metoder

Minivådområderne beliggende ved Fillerup og Fensholt (kaldet Vesterskovvej) har begge undergået designoptimering i løbet af 2021. Optimeringen af minivådområdet ved Fillerup har til formål at opnå en mere jævn fordeling af vandet fra sedimentationsbassinet. Der er derfor foretaget en konstruktionsmæssig ændring, hvor der er udlagt et tværstillet fordelerrør i det første dybe bassin (se figur 2).

Minivådområdet på Vesterskovvej forsøges optimeret ved tilsætning af en bakterieblandning, som skulle have en positiv effekt på fjernelsen af kvælstof. Firmaet Microbes.dk har tilført bakterieblandning d. 3/10, 26/10, 2/11 og 23/11 2021.



Figur 2: Placeringen af de nye rør i Fillerup efter omlægning. Foto: Astrid Maagaard

Prøvetagning er foregået hver tredje uge med indsamling af punktprøver, tømning af ISCO-prøvetagere og overførsel af data fra automatiske dataloggere, herunder kontinuerlig måling af drænastrømning. Vandprøverne er håndteret og analyseret i overensstemmelse med Dansk Standard/European Standard. Monitoringen blev påbegyndt i Fillerup og Vesterskov d. 11/2 2019 og nyeste medtagne data i denne rapport er fra 10/11 2021.

Vandprøver, der er analyseret for total fosfor (TP) og totalt nitrogen (TN), stammer fra de automatiske ISCO-prøvetagere, der tager en vandprøve hver tredje time. Opløst fosfat (SRP/PO₄-P) og partikulært fosfor (PP) stammer fra punktprøver taget hver tredje uge. Partikulært P er beregnet som difference mellem ufiltreret og filtreret total fosfor (TP).

$$P_{\text{partikulært}} = TP_{\text{ufiltreret}} - TP_{\text{filtreret}}$$

Massebalancerne for partikulært fosfor og opløst fosfat er estimeret ved hjælp af lineær interpolation og er derfor behæftet med en vis usikkerhed.

3. Resultater

Vejrekstremer

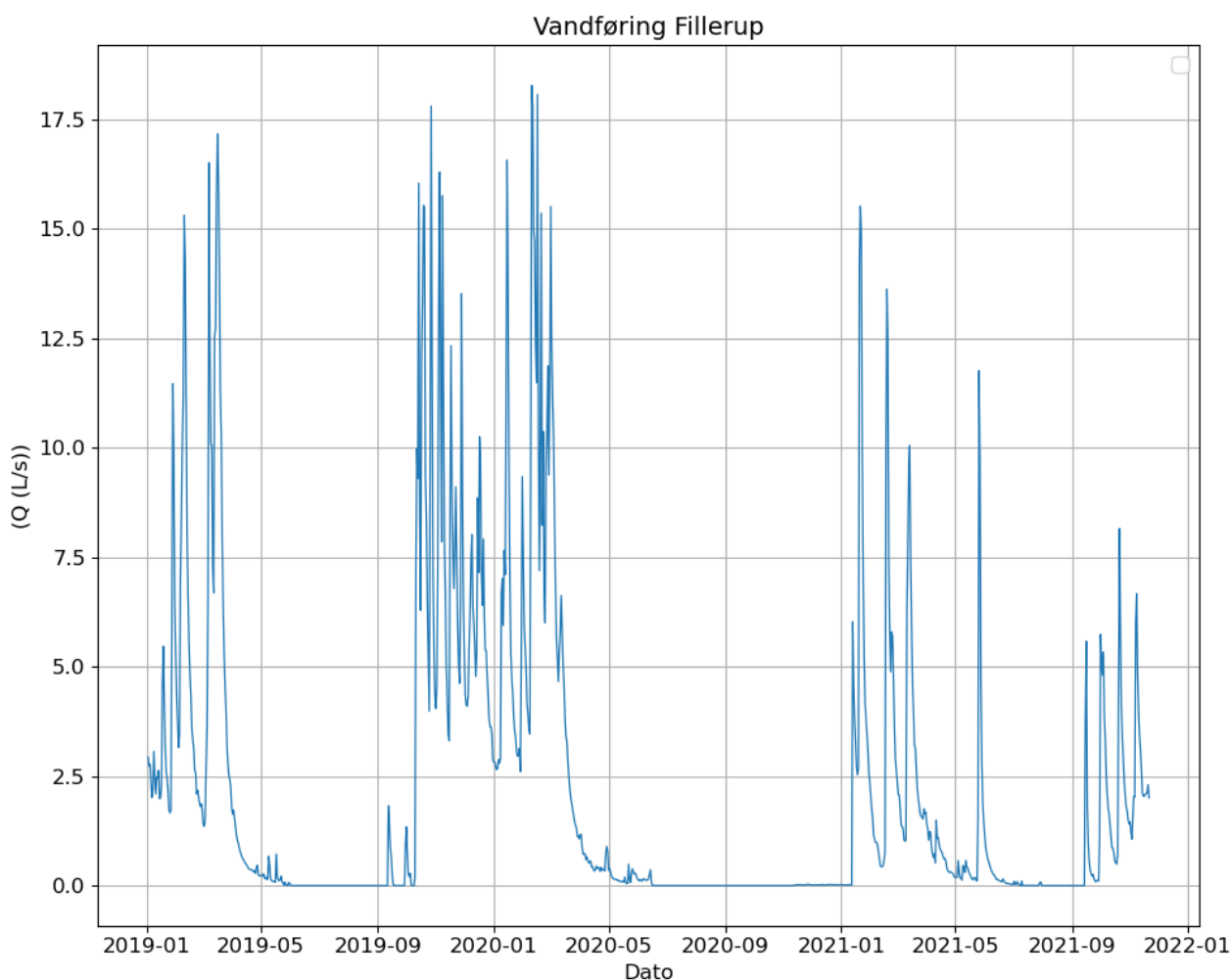
Den sæsonmæssige variation påvirker de danske minivådområder (Kjærgaard & Hoffmann, 2013), da kvælstoffjernelse påvirkes af temperatur og vandets opholdstid, og fosfor-retention

påvirkes af vandets hastighed. I løbet af foråret mindskes drænafstrømning og den er generelt helt fraværende i sommermånederne (se figur 3 og 8). Vejret og især vejrekstremer kan derfor påvirke effektiviteten af minivådområder og er derfor vigtige at medtage. Fillerup og Vesterskovvej ligger få kilometer fra hinanden i Odder kommune og der gives herfor en samlet oversigt for unormalt vejr i projektperioden.

Vinterperioden 2019/2020 var meget nedbørsrig og efteråret 2019 betegnes af Dansk Meteorologisk Institut (DMI), som en vejrekstremer (DMI, 2021b). Februar 2020 var den vådeste februar siden 1874, hvor der faldt 130,7 mm regn i Odder kommune. Til sammenligning faldt der 33,0 mm i februar 2019 og 33,4 mm i februar 2021 i Odder kommune (DMI, 2021a). Til gengæld var efteråret 2020 ekstremt tørt, hvilket medførte unormal sen start på dræn-afstrømning og manglende data for efteråret 2020. I efteråret 2020 blev der indsamlet enkelte punktprøver ved Fillerup, når det virkede til at drænafstrømningen snart ville starte. Drænafstrømning af betydning startede først i januar 2021 (se figur 3 og 8) og perioden d.1/7 til d.31/12 2020 er derfor ikke medtaget i de senere tabeller (se tabel 1 og 2).

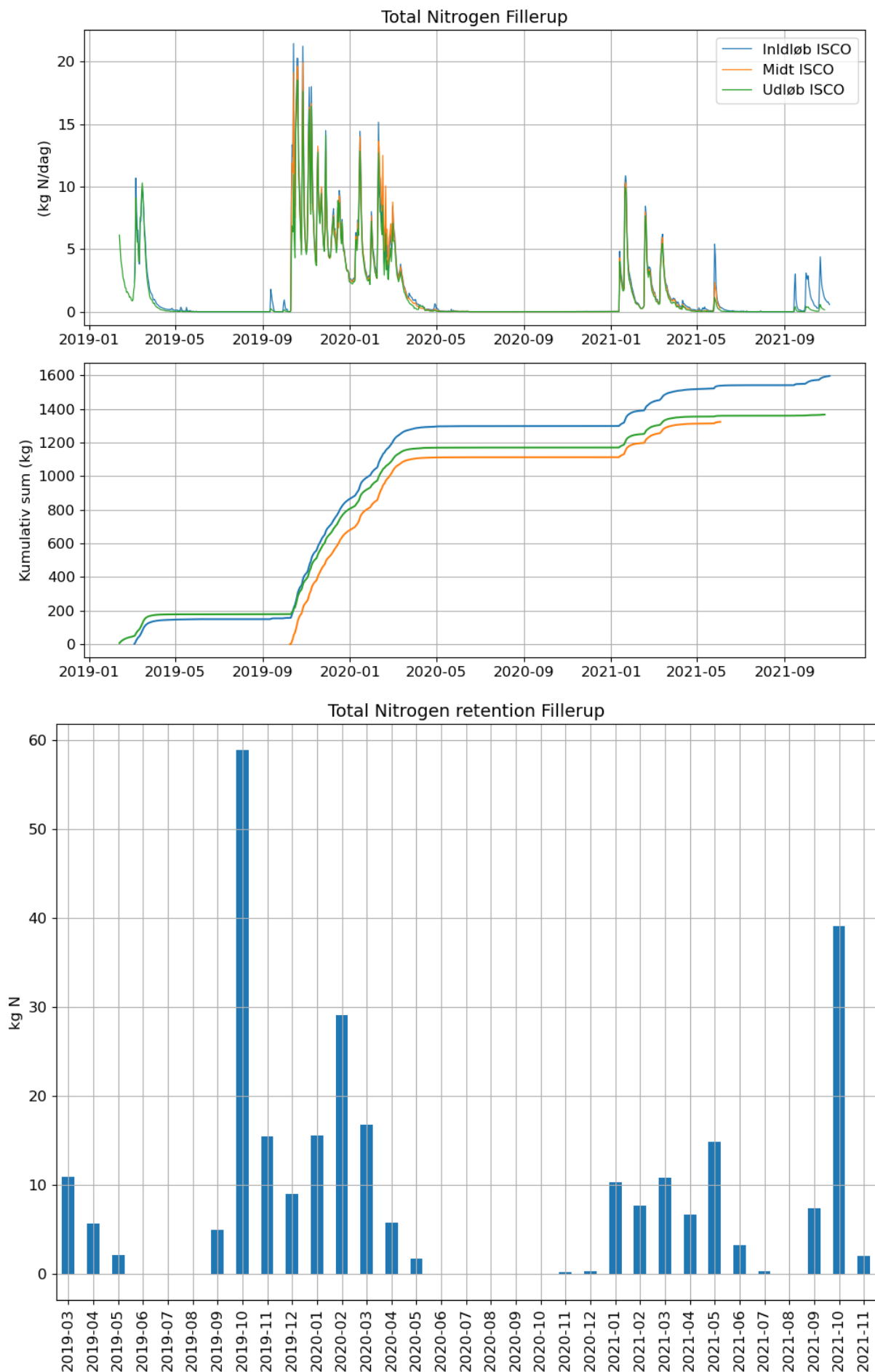
Fillerup

Minivådområdet Fillerup blev etableret i 2010 som et demonstrationsprojekt under landdistriktsprogrammet. Minivådområdet er 0,298 ha og modtager drænvand fra et markopland på 38 ha. Derved er Fillerup kun 0,78 % af drænoplandet, hvilket er mindre end de påkrævede 1-1,5 %, da Fillerup er en testfacilitet.

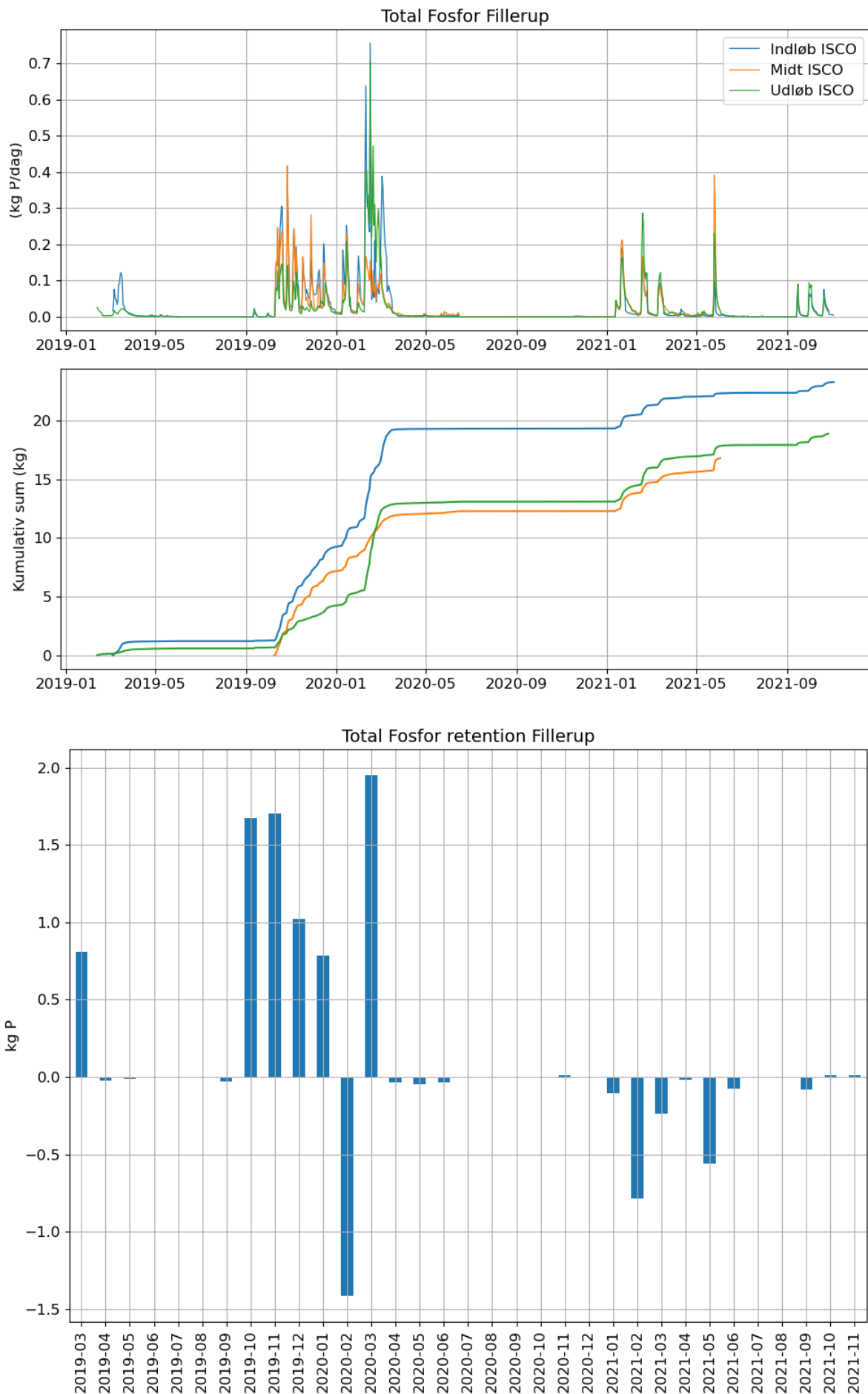


Figur 3: Daglig vandføring ved Fillerup.

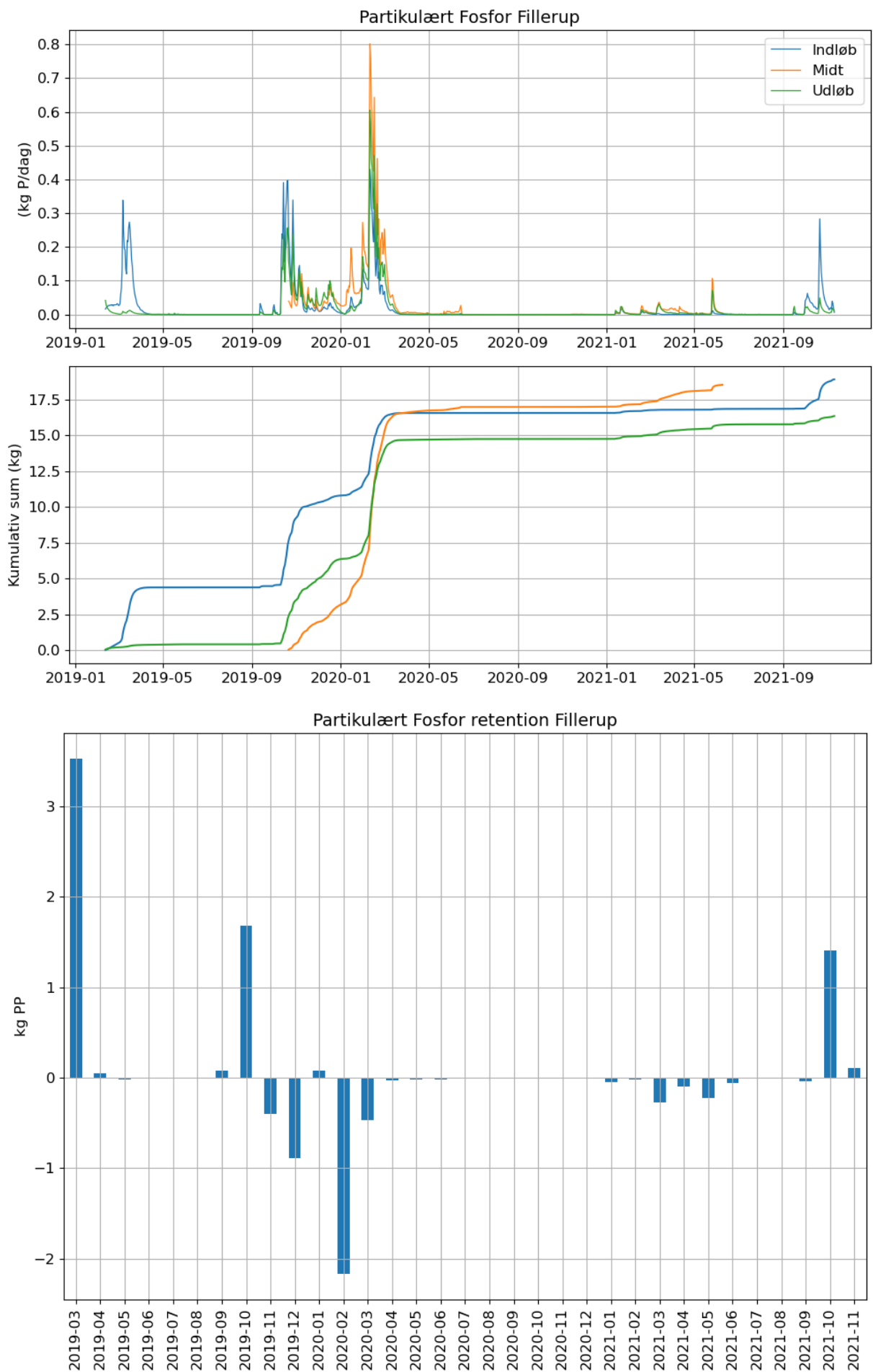
På figur 4-7 vises de daglige flux for ind, midt og ud af minivådområdet for totalt nitrogen, total fosfor og de forskellige P-specier. Totalt nitrogen tilbageholdes på alle tidspunkter. Total fosfor tilbageholdes i perioden fra januar 2019 til april 2020, udover et større tab i februar 2020. Herefter sker et skifte og total fosfor tabes både forår og efterår 2021. Der ses en tendens til at det er partikulært fosfor, og ikke opløst fosfat, som tabes fra minivådområdet. Dette er i modsætning til hvad der forventes.



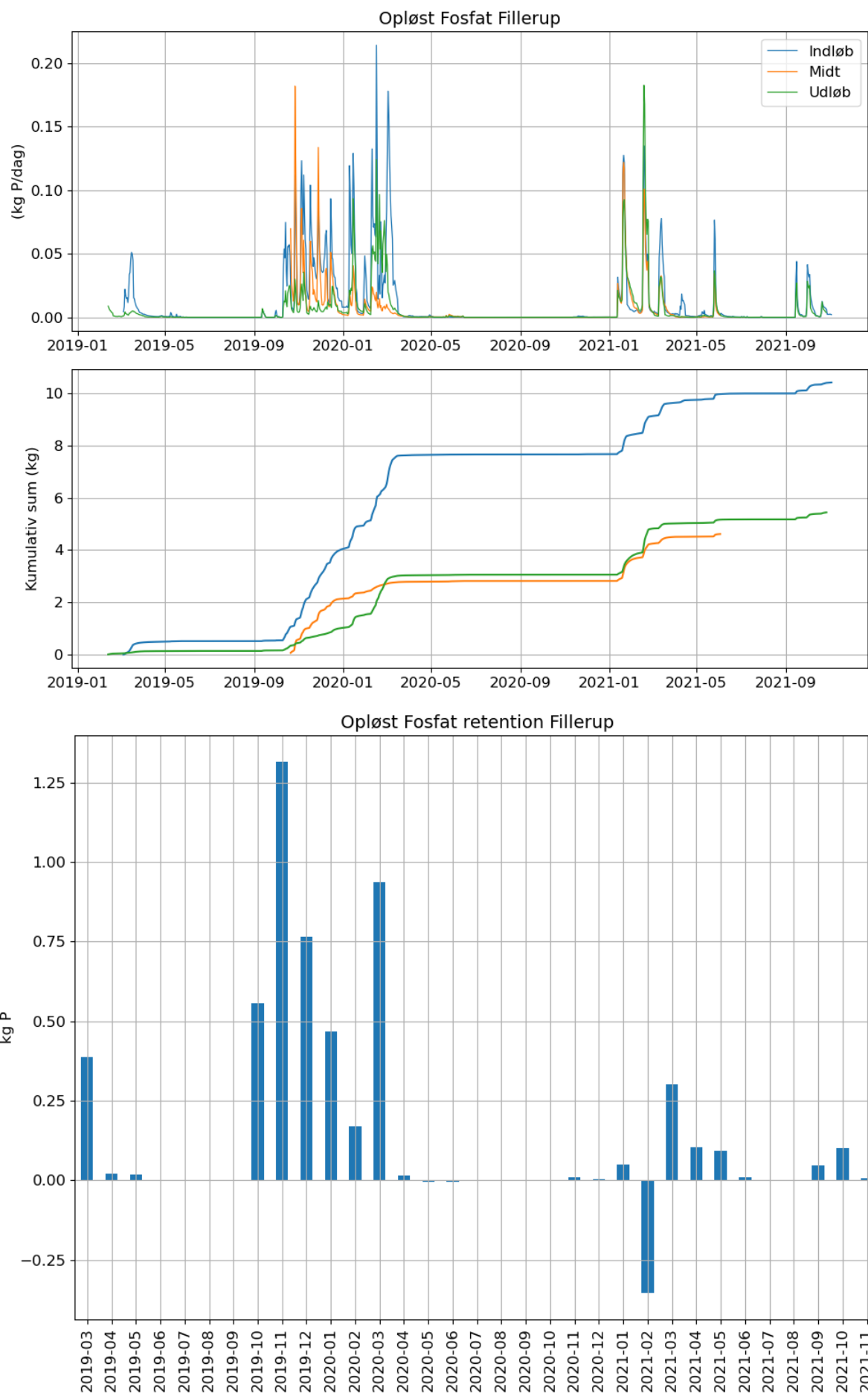
Figur 4: Daglige total nitrogen (TN) flux og kumulativ sum (øverst). Månedlige tilbageholdelse af totalt nitrogen (nederst).



Figur 5: Daglige total nitrogen (TN) flux og kumulativ sum (øverst). Månedlige tilbageholdelse af totalt nitrogen (nederst).



Figur 6: Daglige partikulær fosfor (PP) flux og kumulativ sum (øverst). Månedlige tilbageholdelse af partikulært fosfor (nederst).



Figur 7: Daglige opløst fosfat flux (SRP) og kumulativ sum (øverst). Månedlige tilbageholdelse af opløst fosfat (nederst).

Minivådområdet Fillerup har modtaget 23.3 kg fosfor under projektperioden, hvoraf de 4.5 kg er blevet tilbageholdt. Retentionen af total fosfor er kun på 19.5% i Fillerup for hele projektperioden grundet tab af fosfor i 2021 (se tabel 1). Tabet af total fosfor fra minivådområdet i februar 2020 sker i form af partikulært fosfor efter ekstrem nedbør, som har medført ophvirvlet bundsediment. Dette afspejles også i det høje opsving set på den kumulative sum, hvor mængden af partikulært fosfor for denne måned var højere i midten af minivådområdet end ved både indløb og udløb (se figur 6). Tabet af total fosfor i 2021 er bemærkelsesværdigt, da de danske minivådområder ellers har en høj tilbageholdelse af fosfor på gennemsnitlig 45% (Hoffmann et al., 2020).

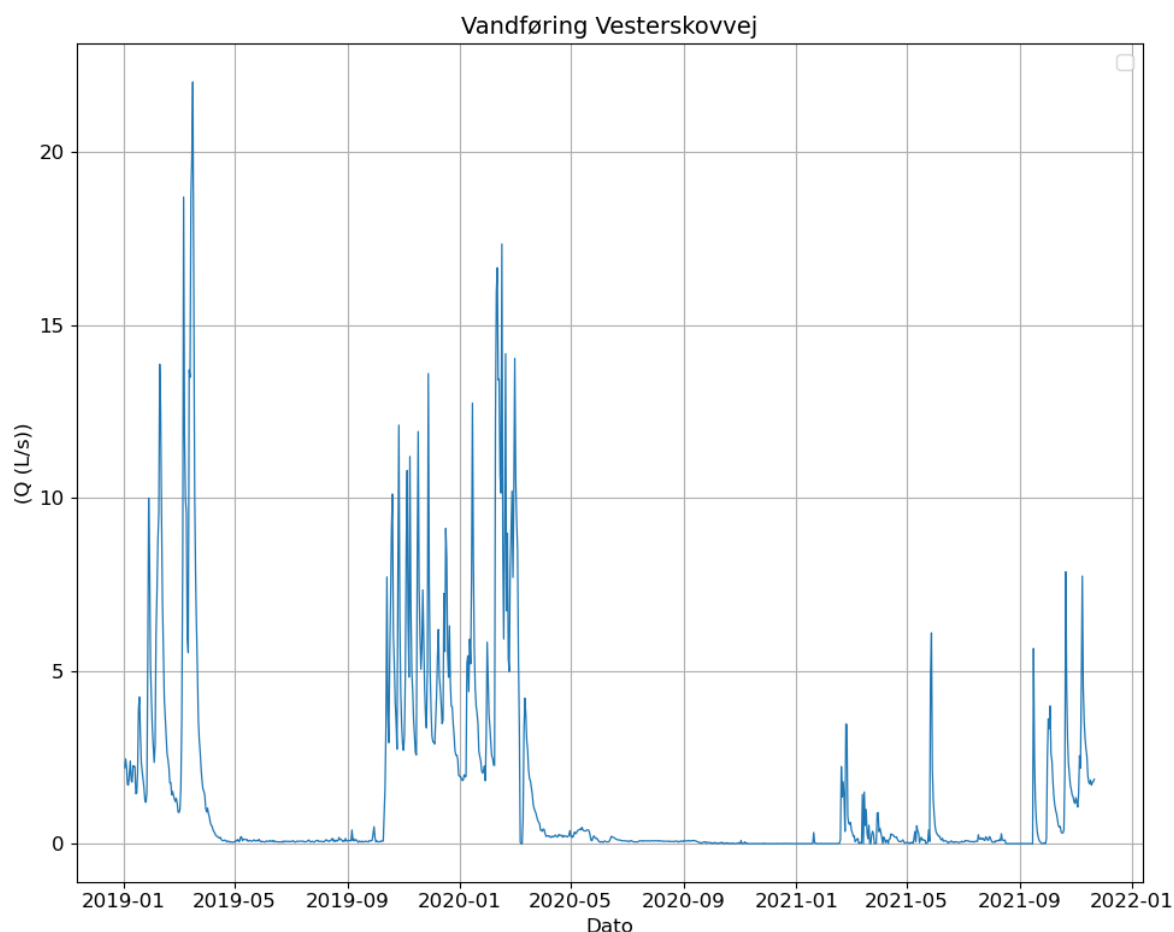
Minivådområdet har i projektperioden fjernet 278 kg nitrogen ud af de modtagne 1597.2 kg (se tabel 1). Effektiviteten af kvælstoffjernelsen er på 17.4% for hele projektperioden. Dette er lavere end den gennemsnitlige kvælstoffjernelse i de danske minivådområder på 23% (Hoffmann et al., 2020). Dette skal dog opholdes med størrelsesforholdet mellem minivådområde og opland er mindre end de nu påkrævede 1%.

Året 2021 har generelt haft en højere kvælstofeffektivitet og en særlig høj effektivitet i efteråret 2021 på 87 %. Målinger medtaget for efteråret 2021 går dog kun frem til d. 10/11. Den begrænsede monitoringsperiode efter anlægsoptimeringen giver ikke et tilstrækkeligt datagrundlag til at danne konklusioner om effekten af anlægsoptimeringen. Den videre monitoring vil kunne afklare effekterne af anlægsoptimeringen.

Tabel 1: Absolut og relativ tilbageholdelse af totalt nitrogen (TN), total fosfor (TP), reaktivt fosfor (SRP) og partikulært fosfor (PP) opløst for halvårige perioder, samt hele måleperioden for minivådområdet i Fillerup.						
	03/19-06/19	07/19-12/19	01/20-06/20	01/21-06/21	07/21-11/21	03/19-11/21
TN ind	148.8	714.5	435.2	242.8	55.4	1597.2
TN ud	130.2	626.4	366.4	189.5	6.7	1319.2
Retention (kg)	18.6	88.1	68.8	53.3	48.7	278.0
Retention (%)	12.5	12.3	15.8	22.0	87.9	17.4
TP ind	1.2	8.0	10.1	3.0	0.9	23.3
TP ud	0.5	3.6	8.8	4.8	1.0	18.7
Retention (kg)	0.8	4.4	1.2	-1.8	-0.1	4.5
Retention (%)	62.9	54.6	12.1	-58.8	-6.1	19.5
PP ind	3.8	6.4	5.8	0.3	2.1	18.3
PP ud	0.2	5.9	8.4	1.0	0.6	16.1
Retention (kg)	3.6	0.5	-2.6	-0.7	1.5	2.1
Retention (%)	94.5	7.3	-45.5	-256.3	71.7	11.7
SRP ind	0.5	3.5	3.6	2.3	0.4	10.4
SRP ud	0.1	0.9	2.0	2.1	0.3	5.4
Retention (kg)	0.4	2.6	1.6	0.2	0.2	5.0
Retention (%)	82.2	74.9	43.8	8.8	37.0	48.2

Fensholt/Vesterskovvej

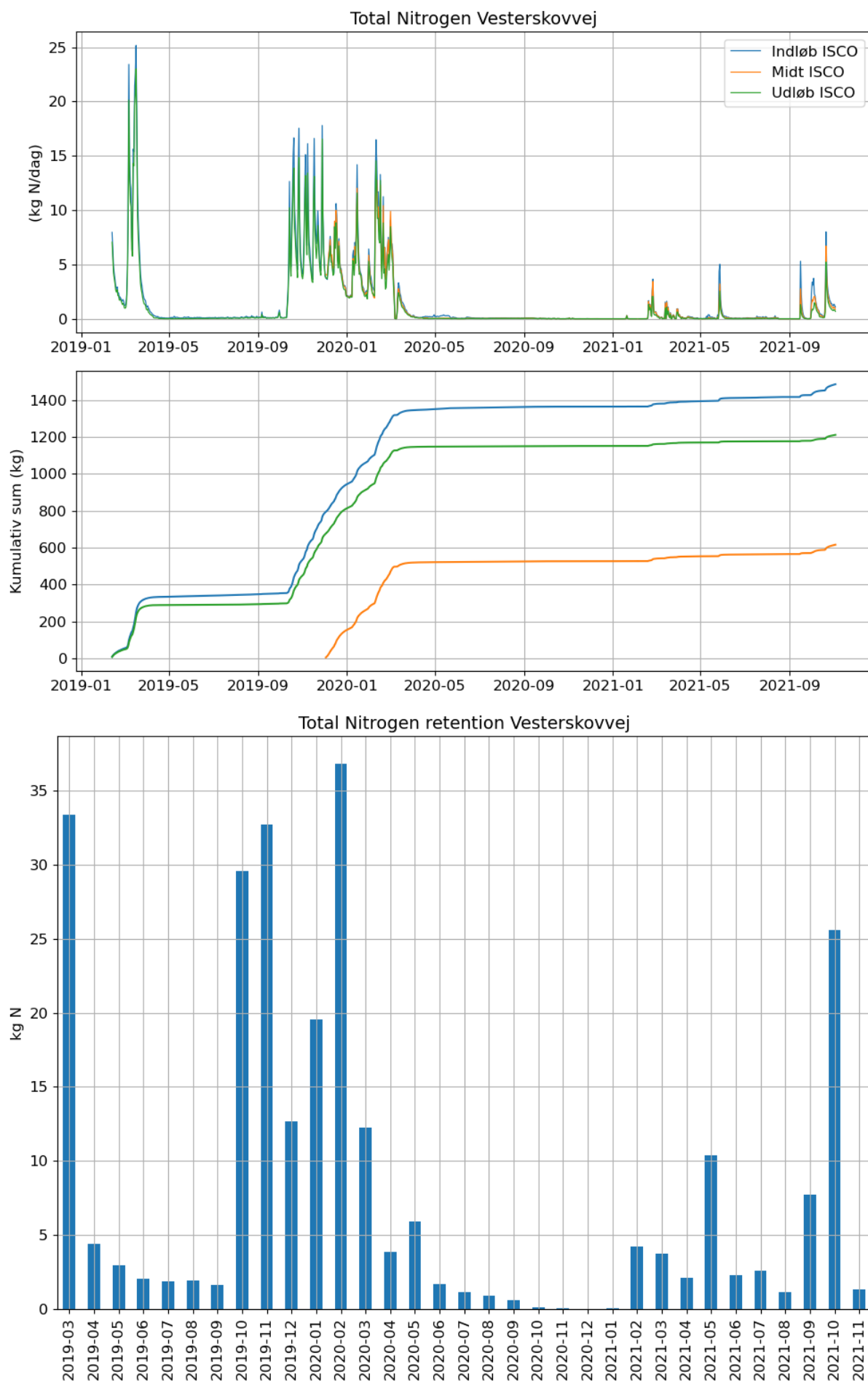
Minivådområdet Vesterskovvej blev etableret i 2015 under GUDP-projektet iDRÆN. Det er 0,245 ha og modtager drænvand fra et markopland på 33 ha. Derved er Vesterskovvej kun 0,74 % af drænoplandet, da det ligesom Fillerup er en test facilitet, og er dermed mindre end det nuværende krav på 1% af oplandsarealet.



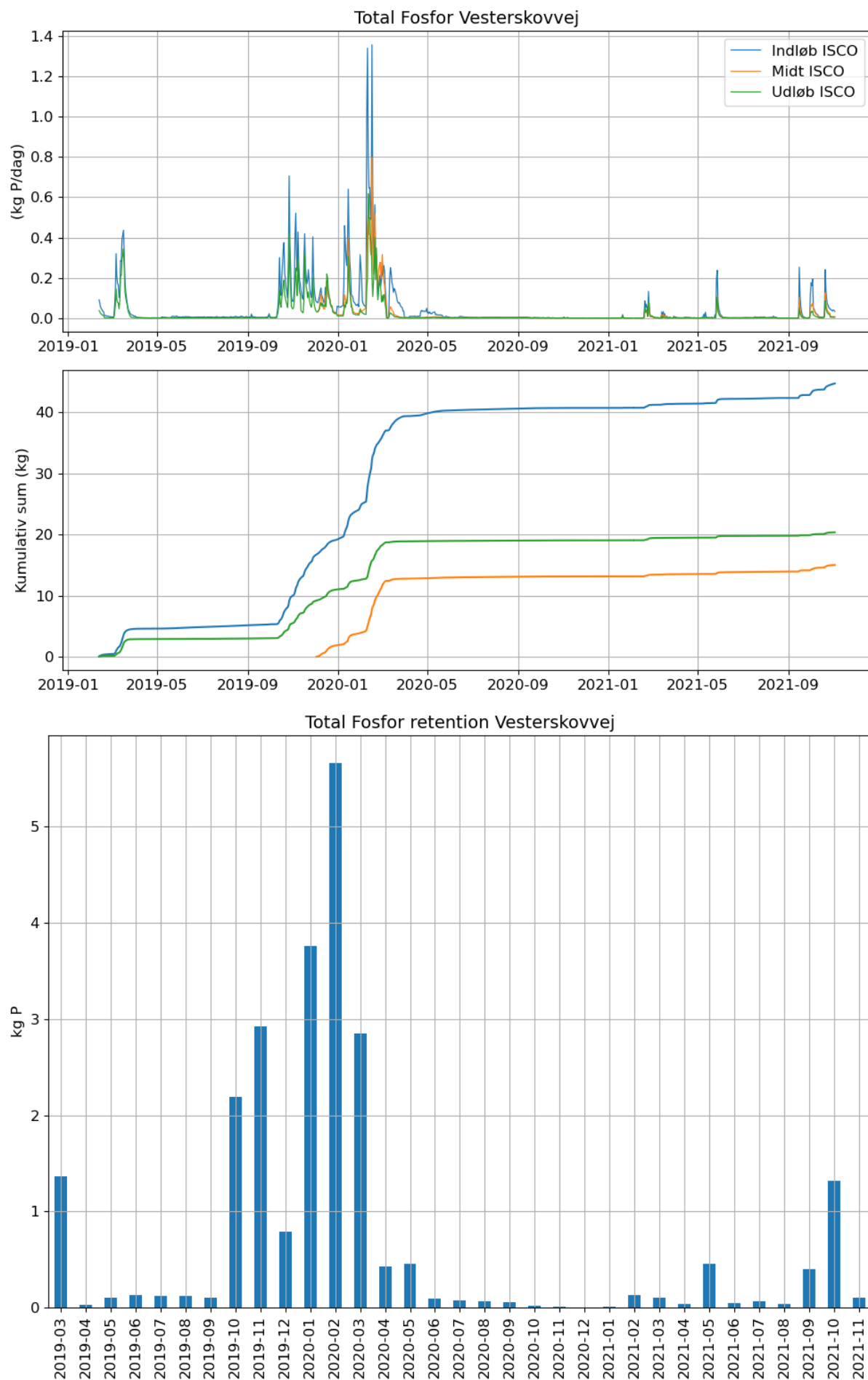
Figur 8: Daglig vandføring ved Vesterskovvej.

På figur 9-12 vises de daglige flux for ind, midt og ud af minivådområdet for totalt nitrogen, total fosfor og de forskellige P-specier. Minivådområdet Vesterskovvej har i alle måneder en netto retention af både totalt nitrogen og total fosfor (se figur 9 og 10).

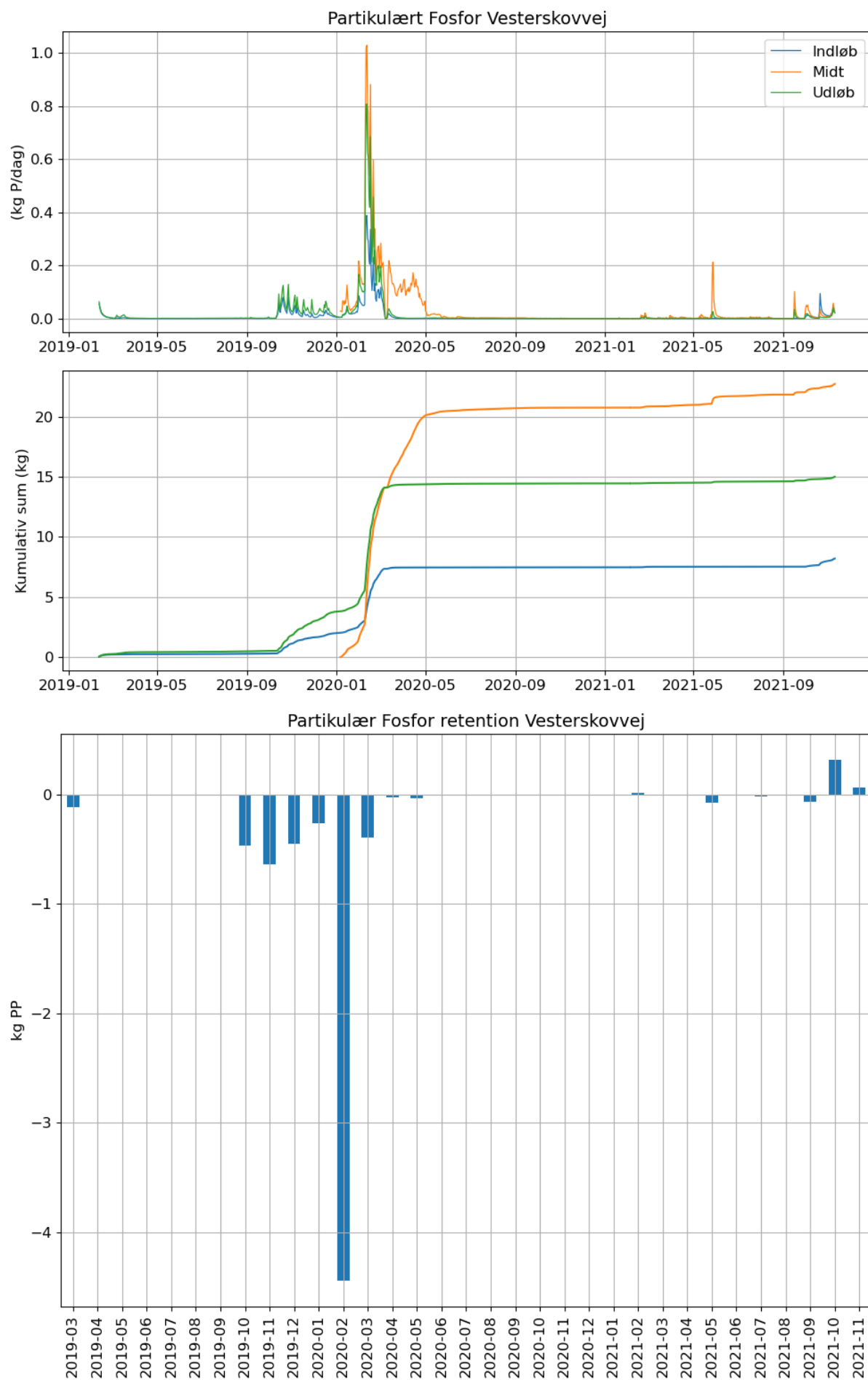
Ligesom for Fillerup er der generelt tendens til at det er opløst fosfat som tilbageholdes, mens partikulært fosfor tabes fra minivådområdet. Det største tab af partikulært fosfor sker i februar 2020, hvor der tabes 4.4 kg. Tabet af partikulært fosfor skyldes, ligesom ved Fillerup, ekstrem vandtilførsel og kan for begge minivådområder være forstærket af de nedlagte siverør. Placeringen af siverør tæt på bund-sedimentet kan ved sådan en vejrekstrem have forårsaget en større mængde ophvirvlet sediment og dermed partikulært fosfor i vandfasen, som derved kan tabes fra minivådområdet.



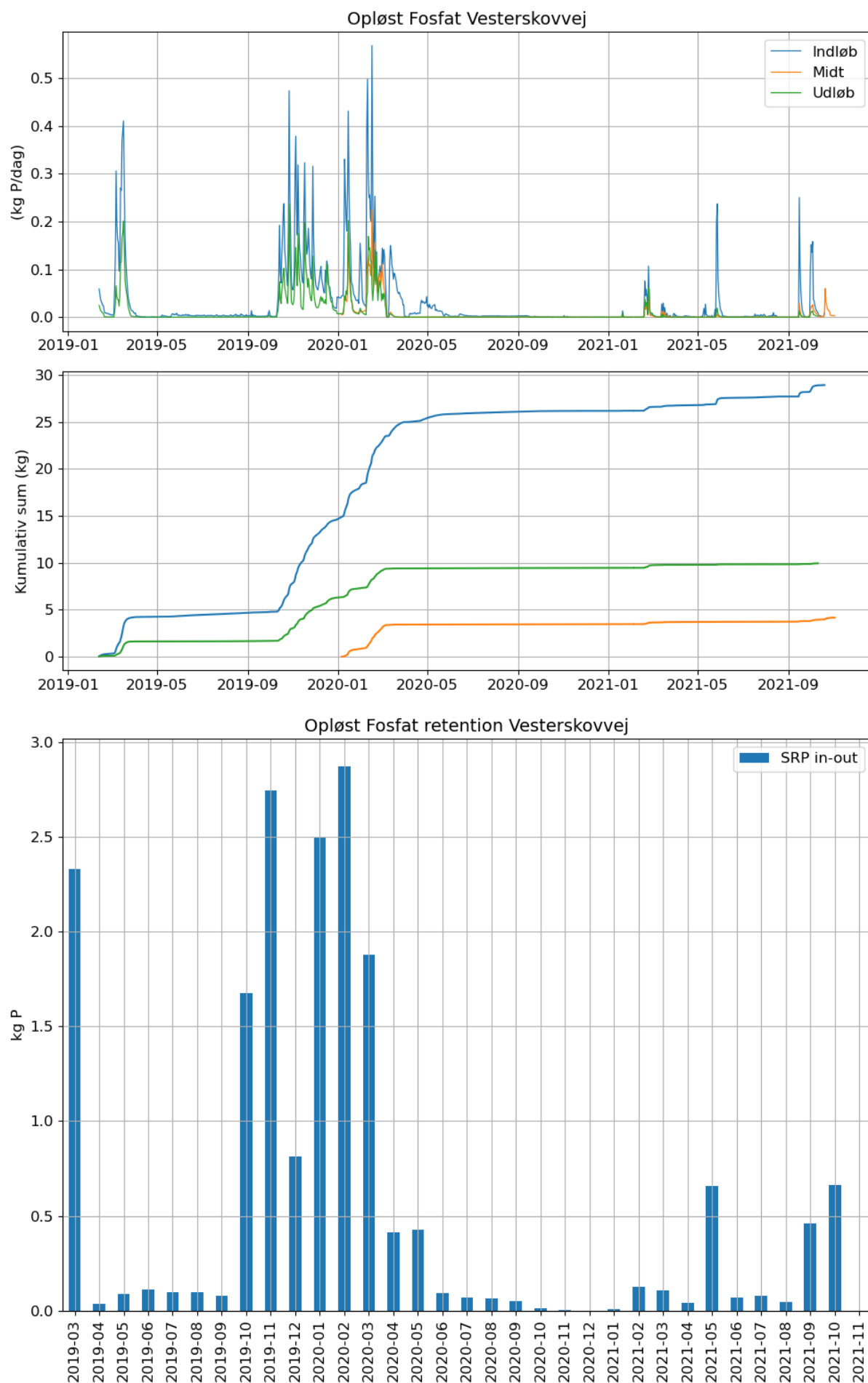
Figur 9: Daglige total nitrogen (TN) flux og kumulativ sum (øverst). Månedlige tilbageholdelse af totalt nitrogen (nederst).



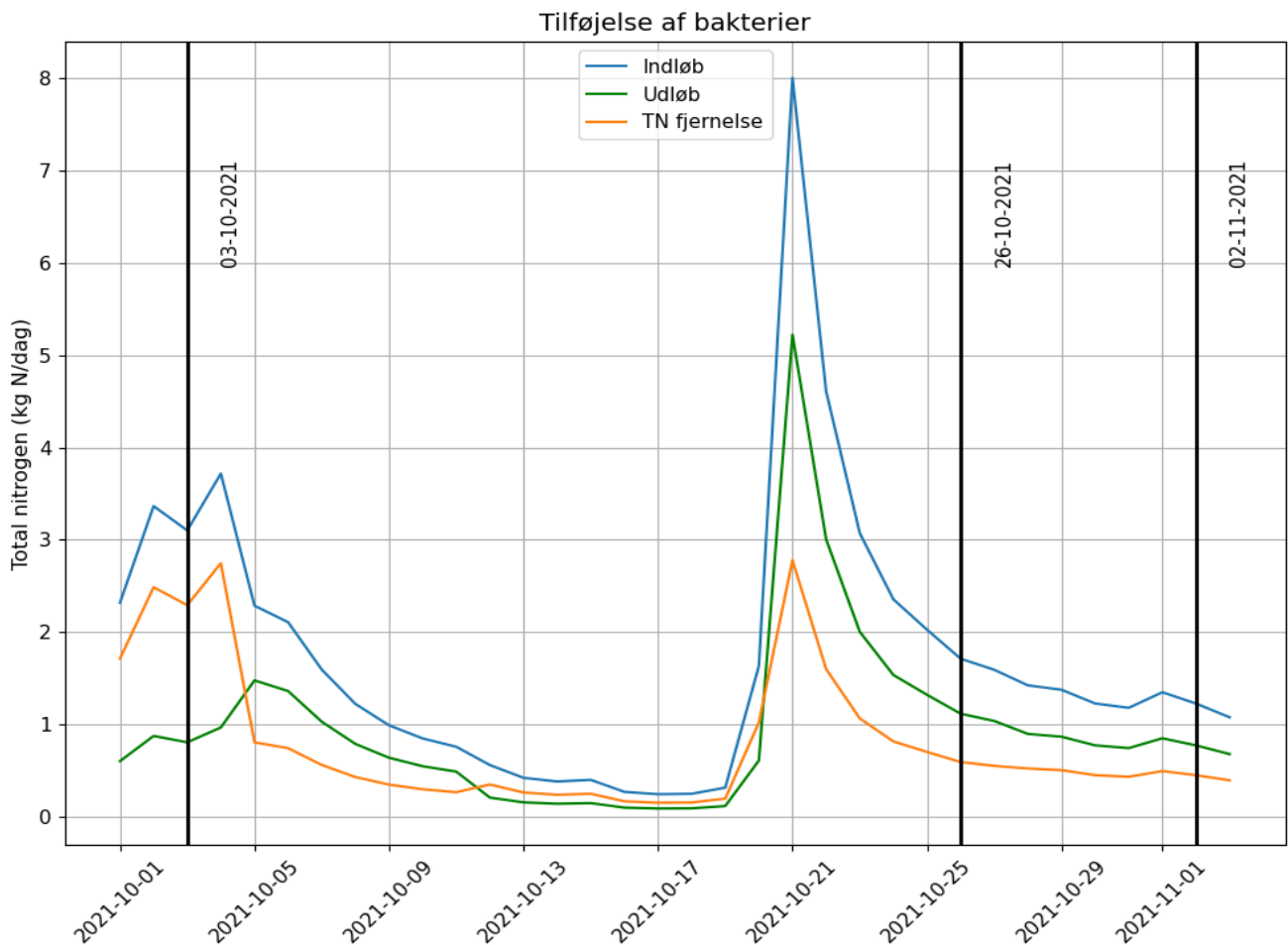
Figur 10: Daglige total fosfor (TP) flux og kumulativ sum (øverst). Månedlige tilbageholdelse af total fosfor (nederst).



Figur 11: Daglige partikulær fosfor (PP) flux og kumulativ sum (øverst). Månedlige tilbageholdelse af partikulært fosfor (nederst).



Figur 12: Daglige opløst fosfat flux (SRP) og kumulativ sum (øverst). Månedlige tilbageholdelse af opløst fosfat (nederst).



Figur 13: Tilføjelse af bakterieblending til minivådområdet Vesterskovvej blev foretaget d.3/10, 26/10 og 2/11 2021. Datoerne er her opholdt mod flux af totalt nitrogen (TN) målt i indløb og udløb, samt kvælstoffjernelse.

Minivådområdet Vesterskovvej har under hele projektperioden modtaget 1486.1 kg totalt nitrogen, hvoraf de 247.7 kg er blevet fjernet. Dette har resulteret i en relativ tilbageholdelse på 18.5% for projektperioden. Der er dog variationer for effektiviteten for halvårige perioder mellem 13.4% og 51.9% (se tabel 2). Efteråret 2021 har haft den højeste effektivitet for kvælstoffjernelse på 51.9%. Det er i efteråret 2021 at firmaet Microbes.dk har tilsat bakterieblending for at optimere kvælstoffjernelse i minivådområdet Vesterskovvej. På figur 13 er der angivet flux for totalt nitrogen målt i indløb og udløb, samt kvælstoffjernelse i perioden fra d. 1/10 til 3/11 2021.

Det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at drage nogen konklusioner om effektiviteten af bakterietilsætningen. Den relative effektivitet er høj for efteråret 2021, men i foråret 2021 var den tilsvarende høj (48%). Den relative høje kvælstoffjernelse i 2021 kan være forårsaget af lav dræntilstrømning og der med mindre tilført totalt nitrogen (se tabel 2). Monitoringsperioden er for kort til at konkludere på effekten af anlægsoptimeringen. Der kan tidligst siges noget om effekten af bakterietilsætning i foråret 2022, når den indeværende drænsæson er ovre. Den fortsatte monitoring vil muliggøre sammenligning af to hele drænsæsoner og dermed give et bedre grundlag for endelige konklusioner.

Tabel 2: Absolut og relativ tilbageholdelse af totalt nitrogen (TN), total fosfor (TP), reaktivt fosfor (SRP) og partikulært fosfor (PP) opløst for halvårslige perioder, og hele måleperioden for minivådområdet Vesterskovvej						
	03/19-06/19	07/19-12/19	01/20-06/20	01/21-06/21	07/21-11/21	03/19-11/21
TN ind	339.5	602.2	417.6	47.6	73.8	1486.1
TN ud	289.4	521.7	337.3	24.8	35.5	1211.4
Retention (kg)	50.1	80.5	80.2	22.8	38.3	274.7
Retention (%)	14.8	13.4	19.2	48.0	51.9	18.5
TP ind	4.9	14.3	21.2	1.5	2.5	44.7
TP ud	2.9	8.1	7.9	0.7	0.6	20.3
Retention (kg)	1.9	6.2	13.3	0.8	1.9	24.3
Retention (%)	39.6	43.6	62.5	52.1	76.2	54.4
PP ind	0.3	1.7	5.5	0.0	0.7	8.2
PP ud	0.5	3.3	10.6	0.1	0.4	15.0
Retention (kg)	-0.2	-1.6	-5.2	-0.1	0.3	-6.8
Retention (%)	-68.3	-91.7	-94.7	-214.7	41.2	-82.7
SRP ind	4.5	10.2	11.3	1.4	1.8	29.3
SRP ud	1.6	4.7	3.1	0.4	0.3	10.1
Retention (kg)	2.8	5.5	8.2	1.0	1.5	19.2
Retention (%)	63.2	54.2	72.4	72.4	84.6	65.5

4. Sammenfatning og perspektiver

For anlægsoptimeringen udført i 2018 kan det konkluderes, at sivedræn ikke har været med til at øge effektiviteten af kvælstoffjernelse og under ekstreme nedbørshændelser kan være med til at facilitere tab af partikulært fosfor. Sivedræn kan derfor ikke anbefales til anlægsoptimering af minivådområder.

Minivådområderne Fillerup og Vesterskovvej har en effektivitet af kvælstoffjernelse på hhv. 17.4% og 18,5%, samt en total fosfor retention på 19.5% og 54,4% for hele projektperioden. Der er målt meget høje relative kvælstofeffektivitet for både Fillerup og Vesterskovvej i 2021, især i efterårsperioden på 87,9% og 51,9%, hhv. Dette skal dog opholdes mod den absolutte kvælstoffjernelse på 38,3 kg og 48.7 kg i efteråret 2021 for Vesterskovvej og Fillerup. Den absolutte kvælstoffjernelse i 2021 ligger for Fillerup indenfor de andre halvårslige perioder. For Vesterskovvej er den absolutte kvælstoffjernelse i 2021 lavere end for de halvårslige perioder i 2019 og 2020 (se tabel 1 og 2). Der har været mindre dræntilstrømning og betydeligt lavere tilførte mængder af totalt nitrogen til begge minivådområder i 2021 end 2019 og 2020.

Effektiviteten for fosfor retention for hele projektperioden er på 19.5% og 54.4% for Fillerup og Vesterskovvej, hhv. Den lave relative retention af fosfor for Fillerup skyldes tab af total fosfor i 2021. Dette er bemærkelsesværdigt, da de danske minivådområder generelt har en høj fosfor retention på 45% (Hoffmann et al., 2020).

I modsætning til forventningen er det opløst fosfat, som tilbageholdes og partikulært fosfor, som tabes fra minivådområderne. Tilbageholdelsen af opløst fosfat kan ske gennem optag i alger og planter. Når alger og planter henfalder, kan den optagede fosfor sedimentere.

Tabet af total fosfor i februar 2020 for både Fillerup og Vesterskovvej kan forklares ved den ekstreme nedbør og tabet af partikulært fosfor grundet ophvirvlet sediment. Vandets hurtigere strømning igennem siverør har formentlig forårsaget ophvirvlet sediment og påvirket tabet af

partikulært fosfor. Tabet af partikulært fosfor vurderes generelt at have sammenhæng med den hydrauliske belastning af minivådområder. Sammenligning af den hydrauliske belastning for Vesterskovvej viser en højere belastning i 2019 og 2020 i forhold til 2021, som medfører en lille tilbageholdelse af partikulært fosfor. Generelt er der en tendens til at retention af partikulært fosfor (figur 6 og 11) påvirkes af den hydrauliske belastning (figur 3 og 8). Ved høj belastning forekommer der høje tab af partikulært fosfor, mens en lav hydraulisk belastning medfører et lille eller intet tab af partikulært fosfor. Den fortsatte monitoring vil være med til at kvalificere sammenhængen efter afslutningen af indeværende drænsæson. Sammenligning af 2019/2020 og 2021/2022 vil give et bedre grundlag for vurdering og endelige konklusioner.

Tabet af total fosfor fra minivådområdet Fillerup forekommer i samme måneder, hvor der sker tab af partikulært fosfor. Der er derfor nærliggende at tabet af den totale fosfor også påvirkes af den hydrauliske belastning. Drænafstrømningen er generelt mindre i 2021 sammenlignet med 2019 og 2020. Vandføringen i foråret 2021 forekommer dog i skarpe udsving fra næsten ingen vandføring til 10-15,5 L/s (se figur 3), som potentielt kan medføre ophvirvlet sediment. For Vesterskovvej, hvor der ikke tabes totalt fosfor, forekommer vandføringen mere jævnt (se figur 8). Der kan på nuværende tidspunkt ikke drages nogen konklusioner om processerne bag tabet af totalt fosfor. Sammenligning med data for hele den indeværende drænsæson (2021/2022) vil give et mere retvisende billede.

Det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at drage nogen konklusioner om effektiviteten af anlægsoptimeringerne for hverken Fillerup eller Vesterskovvej, da monitoringsperiode efter optimeringerne er for kort. Der kan tidligst konkluderes om på effekterne, når den indeværende drænsæson (2021/2022) er ovre.

5. Referencer

- DMI. (2021a). *Vejrarkiv*. Dansk Meteorologisk Institut. <https://www.dmi.dk/vejrarkiv/>
- DMI. (2021b). *Vejrekstremer Danmark*. Dansk Meteorologisk Institut. <https://www.dmi.dk/vejrarkiv/vejrekstremer-danmark/>
- Hoffmann, C. C., Zak, D., Kronvang, B., Kjaergaard, C., Carstensen, M. V., & Audet, J. (2020). An overview of nutrient transport mitigation measures for improvement of water quality in Denmark. *Ecological Engineering*, 155(March), 105863. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105863>
- Kjærgaard, C., & Hoffmann, C. C. (2013). *Konstruerede vådområder til målrettet reduktion af næringsstoffer i drænvand*. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi og Dato: 16. april 2013. DCA – National Center for Fødevarer og Landbrug
- Kjærgaard, C., & Hoffmann, C. C. (2017). Retningslinjer for etablering af konstruerede minivådområder med overfladestrømning: Design Manual. *DCA - Nationalt Center for Jordbrug Og Fødevarer, Aarhus Universitet*, 14s(nr. 2017-760-000069), 15.
- Kjærgaard, C., Hoffmann, C. C., Gertz, F., & Iversen, B. V. (2017). Minivådområder – et nyt kollektivt virkemiddel. *Vand & Jord*, 24. årgang(nr. 3), 84–88. <http://www.vand-og-jord.dk/artikler/vj317-minivaadomraader.pdf>
- Landbrugsstyrelsen. (2020). *Minivådområde-ordningen 2020. Etablering af åbne minivådområder og minivådområder med filtermatrice*.
- Mendes, L. R. D., Tonderski, K., Iversen, B. V., & Kjaergaard, C. (2018). Phosphorus retention in surface-flow constructed wetlands targeting agricultural drainage water. *Ecological Engineering*, 120(May), 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.022>
- Mendes, L. R. D., Tonderski, K., & Kjaergaard, C. (2018). Phosphorus accumulation and stability in sediments of surface-flow constructed wetlands. *Geoderma*, 331(July), 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.015>