



TRE ÅRS UNDERSØGELSER AF TAB AF NÆRINGSSTOFFER FRA PUMPELAGET VED ABORG MINDE NOR I ASSENS KOMMUNE PÅ VESTFYN

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 468

2021



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

TRE ÅRS UNDERSØGELSER AF TAB AF NÆRINGSSTOFFER FRA PUMPELAGET VED ABORG MINDE NOR I ASSENS KOMMUNE PÅ VESTFYN

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 468

2021

Dominik Zak
Carl Christian Hoffmann

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 468
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Tre års undersøgelser af tab af næringsstoffer fra pumpelaget ved Aborg Minde Nor i Assens Kommune på Vestfyn
Forfattere:	Dominik Zak & Carl Christian Hoffmann
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	November 2021
Redaktion afsluttet:	November 2021
Faglig kommentering:	Joachim Audet
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Zak, D. & Hoffmann, C.C. 2021. Tre års undersøgelser af tab af næringsstoffer fra pumpelaget ved Aborg Minde Nor i Assens Kommune på Vestfyn. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 26 s. - Videnskabelig rapport nr. 468 http://dce2.au.dk/pub/SR468.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	På et drænet og pumpet landbrugsareal, Aborg Minde, ved Assens, er det undersøgt, hvor stor en mængde vand og næringsstoffer der i perioden april 2018 til juni 2021 pumpes ud til recipienten, Aborg Minde Nor.
Emneord:	Pumpet område, kvælstof, fosfor
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Carl Christian Hoffmann
ISBN:	978-87-7156-638-3
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	26
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR468.pdf

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	7
1 Baggrund	8
2 Projektområdet og opgaver	9
3 Resultater	11
3.1 Klimadata og pumpet vand	11
3.2 Vandkvalitet	12
3.3 Eksport af næringsstoffer og andre stoffer til fjorden	18
4 Diskussion og konklusion	21
5 Litteratur	24

Forord

Tabet af næringsstoffer fra Aborg Minde pumpelag til Aborg Minde Nor ved Assens på Fyn er undersøgt over en treårig periode, som startede i april 2018. Denne rapport er nummer tre i rækken og omfatter målinger fra første, andet og tredje år dvs. perioderne 1. april 2018 – 31. marts 2019, 1. april 2019 – 31. marts 2020, og 1. april 2020 – 31. marts 2021. Første rapport blev udgivet i 2019 (Hoffmann og Zak, 2019), anden rapport blev udgivet i 2020 (Hoffmann og Zak, 2020) og dette er den afsluttende rapport med resultater fra alle tre år. Da restaureringen af Aborg Minde er udskudt et år fortsætter målingerne af før situationen, men med et stærkt reduceret budget. Resultaterne af disse målinger vil først blive inddraget i forbindelse målinger af Aborg Minde efter restaurering.

Assens Kommune takkes for hjælp i forbindelse med opsætning af prøve-tagere og kontakt til Aborg Minde Pumpelag.

Undersøgelsen er bestilt og finansieret af Miljøstyrelsen.

Sammenfatning

Aborg Minde pumpelag (116 ha) ved Assens er undersøgt i perioden april 2018 – juni 2021 (38 mdr.) med henblik på at måle og beregne mængden af vand og næringsstoffer, der blev udpumpet til recipienten Aborg Minde Nor. Den samlede udpumpningen af total kvælstof for de 3 monitoringsperioder (i.e. 3 år) var 29.1 tons TN ($83.6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$), og udpumpningen af total fosfor var på 0.71 tons TP ($2.04 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$). Der blev konstateret tab af sulfat på 917 tons ($2.6 \text{ tons SO}_4^{2-} \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$).

Summary

The pumped area Aborg Minde (116 ha) on the island of Funen, close to the town Assens was investigated from April 2018 to April 2020. The aim was to measure and calculate the amount of water and nutrients being pumped out to the recipient Aborg Minde Nor. Total amount of nitrogen pumped out in the 3 monitoring periods (i.e. 3 years) was 29.1 tons TN ($83.6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), and total amount of phosphorus pumped out was 0.71 tons TP ($2.04 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). The amount of sulfate pumped out was 917 tons ($2.6 \text{ tons SO}_4^{2-} \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$).

1 Baggrund

Genskabelse af våde enge og andre tørveholdige arealer er et effektivt virkemiddel til reducere af næringsstoffer i grund- og overfladevand. Imidlertid kan årtiers dræning og landbrugsmæssig udnyttelse af disse arealer have ændret både de hydrauliske forhold og jordens fysisk-kemiske egenskaber i betydelig grad. Derfor vil restaurering af sådanne områder i visse tilfælde tage lang tid (Zak et al., 2018). På den anden side vil opretholdelse af dræningsaktiviteter medvirke til mineralisering og sætninger af det berørte areal, som vil give problemer for en fortsat udnyttelse af arealet i landbrugsmæssig forstand.

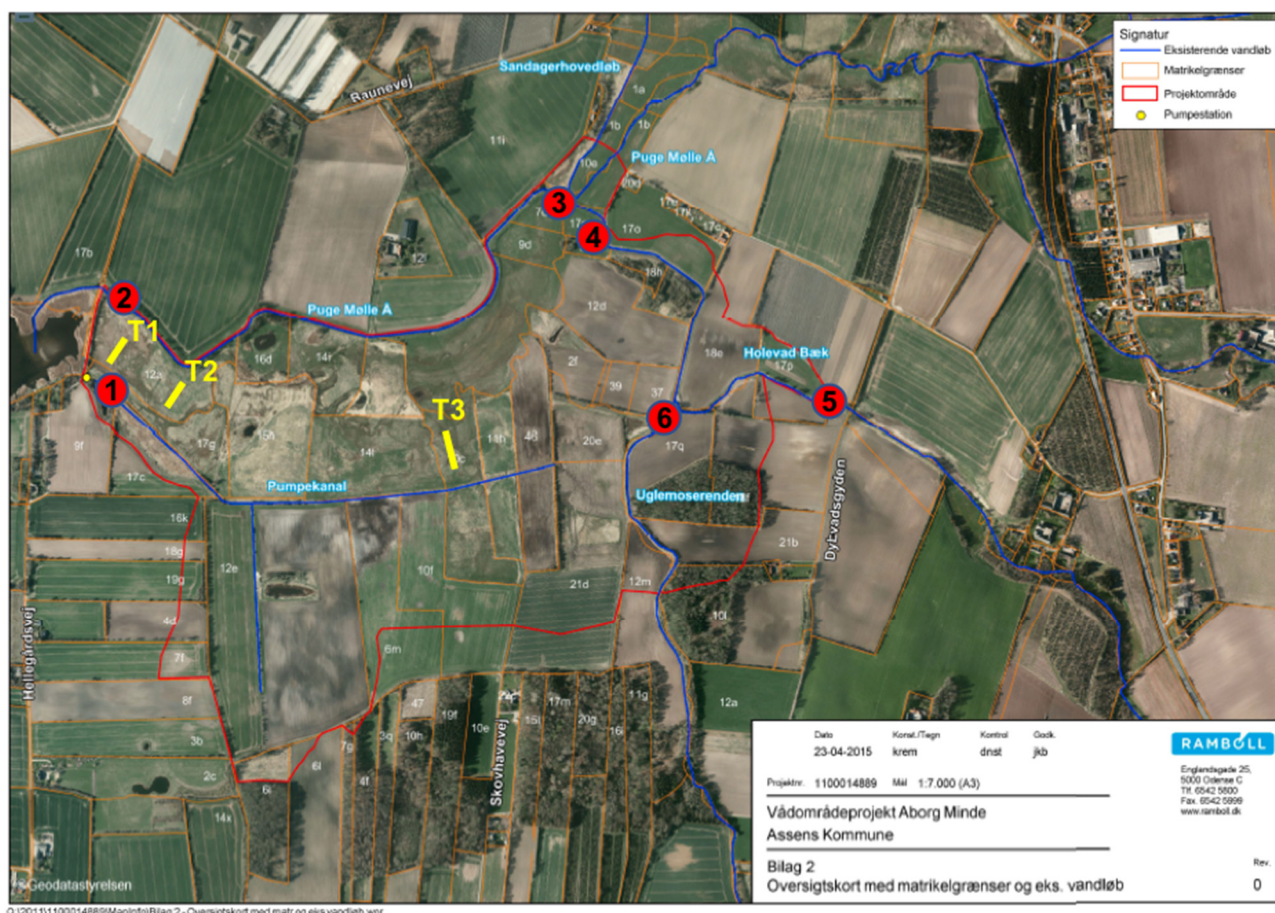
For at genskabe områdets egenskaber mht. tilbageholdelse af næringsstoffer og stoppe nedbrydningen af jordens organiske pulje er det nødvendigt at genskabe de hydrogeologiske forhold (Zak et al., 2018), som igen vil føre til genopbygning af jordens organiske pulje pga. de mere iltfrie forhold. Sådanne forhold er samtidig favorable for nitrattjernelse og kan reducere CO₂-emission. Derimod kan de iltfrie forhold føre til udvaskning af fosfor, som kan øge P-belastningen på nedstrøms liggende recipienter (Audet et al., 2020). Imidlertid kan høj P-mobilisering i tørvejerde ikke nødvendigvis sidestilles med høj P-udvaskning. Jorde med høj jern:fosfor forhold (Fe:P ratio > 10) har lavere risiko for et stort P-tab, da den interne P-mobilisering er lavere sammenlignet med jorde med lavere Fe:P ratio, og samtidig vil udfældninger af P med jern(III) hydroxider (co-precipitation) også være en barriere, der vil nedsætte tabet af fosfor (Zak et al., 2010; Forsmann og Kjaergaard, 2014). De samme processer findes også i drænede tørvejerde og tabet af fosfor fra disse arealer vil ligeledes afhænge af Fe:P ratio og iltforhold. Der er meget få studier af tab af næringsstoffer fra drænede og pumpede tørvejerde, og således begrænset viden om sådanne arealers påvirkning af nedstrømsliggende recipienter.

Formålet med denne rapport har været at beskrive og kvantificere udvaskning af kvælstof og fosfor fra et drænet og pumpet lavbundsareal, Aborg Minde, ved Assens på Fyn.

2 Projektområdet og opgaver

DCE, AU (Carl Christian Hoffmann og Dominik Zak), besøgte lokaliteten Aborg Minde (ca. 116 ha) ved Assens for at vurdere, om området kunne monitoreres inden området eventuelt blev genskabt som vådområde. Besigtigelsen foregik sammen med Assens kommune (Jannik Seslef og Hans Ole Hansen). Der fandtes veldefinerede tilløb og afløb i projektområdet, som der kunne måles på. Pumpelaget indvilgede i at huse en vandprøvetager ved pumpestationen og indvilgede i at oplyse om pumpedriften via oplysninger om elforbrug og pumpens løftehøjde. Det skal i denne forbindelse nævnes, at der i de to første rapporter om Aborg Minde undersøgelserne (SR326 og SR395) er anvendt en forkert pumpekarakteristik, som har betydet, at de udpumpede vand- og stofmængder har været 10 gange for høje. Fejlen i de to rapporter SR326 og SR395 er rettet i november 2021.

Måleprogrammet inkluderer automatisk vandprøvetager („Isocosampler“) ved pumpestation (= „pumpehus“) med prøvetagning hver 3. time. Desuden tages punktp prøver hver 3. uge fra pumpestationen, „Drænbrønd“ i vådområde, „Åens udløb“ (Puge Mølle Ås udløb i Aborg Minde Nor), „Sammenløb af 3 vandløb“, „Holevad Bæks indløb“, „Uglemoserendens indløb“ (Fig. 1).



Figur 1. Projektområdet og prøvetagningssteder (1: „pumpehus“, 2: „Åens udløb“ (Puge Mølle Å udløb i Aborg Minde Nor), 3: „Sammenløb af 3 vandløb“, 4: „Drænbrønd“, 5: „Holevad Bæks indløb“, 6: „Uglemoserendens indløb“). De gule linjer viser transekterne 1-3 (T1-T3), hvor der blev taget jordprøver.

På baggrund af oplysninger fra pumpelaget om løftehøjde og elforbrug er mængden af kvælstof og fosfor, der pumpes ud af området, blevet beregnet.

I februar måned 2019 blev der taget i alt 29 jordprøver langs de tre transekter, T1 – T3 (Figur 1). I det efterfølgende år i december 2020 blev der igen taget jordprøver i de samme 3 transekter, og så tæt på de tidligere prøvetagningspunkter som muligt (i.e. < 1m) for at minimere den rumlige heterogenitet i jordkarakteristika. Langs hver af de 50 – 200 m lange transekter blev der i 5 punkter og 2 dybder (0-50 cm og 50 – 100 cm) udtaget jordprøver med et russerbor (Eijkelkamp). Jordprøverne blev pakket i lufttætte 3L polyethylen poser, og anbragt i en køleboks inden transport tilbage til laboratoriet i Silkeborg. Jordprøverne blev analyseret inden for 2 uger. På jordprøverne blev der lavet glødetabsanalyse, som en proxy for indhold af organisk stof. Der blev lavet en sekventiel ekstraktion af fosfor for at bestemme løst bundet fosfor og redoxsensitivt fosfor og jern (Jensen and Thamdrup,1993), dog med den modifikation at løst bundet fosfor blev bestemt i iltfrit demineraliseret vand. Endelig blev indholdet af total jern og total fosfor bestemt.

3 Resultater

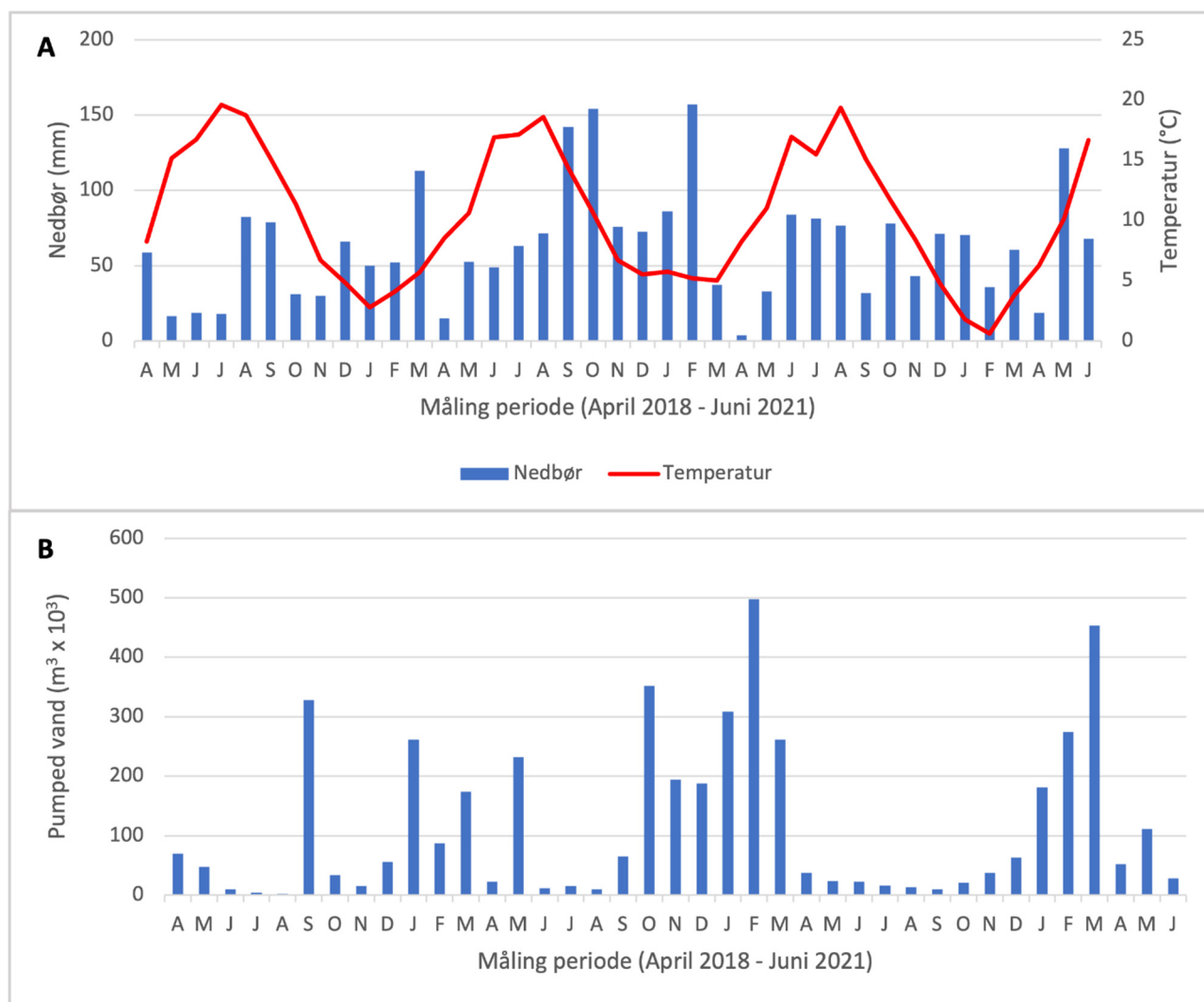
Summerede månedlige udpumpede vandmængder fra Aborg Minde, samt beregnede gennemsnit af fysisk-kemiske parametre (iltkoncentrationer, temperatur, pH and elektrisk ledningsevne) og vandkvalitetsparametre fra alle prøvetagningssteder april 2018 til juni 2021 er opsummeret i tabel 1, 2, og 3. Resultaterne fra jordanalyserne er vist i tabel 4. En mere detaljeret gennemgang gives i nedenstående delafsnit.

Tabel 1. Månedlig mængde udpumpet vand (m³) fra det drænede vådområde Aborg Minde for perioden 1.april 2018 til 31 juni 2021. Udpumpet vandmængde blev beregnet vha. oplysninger om pumpens elforbrug og løftehøjde. Da der er usikkerhed på pumpens effektivitet (alder og slid), er der angivet to værdier, der dækker minimum og maksimum af de beregnede udpumpningsmængder.

	2018		2019		2020		2021	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Januar	-	-	240681	280612	266663	310905	167135	194864
Februar	-	-	82194	95830	445301	519181	253388	295428
Mart	-	-	160853	187540	274333	319847	418579	488025
April	64186	74835	23267	27128	38918	45375	48142	56130
Maj	43626	50864	165174	192578	21988	25636	102987	120073
Juni	8932	10414	60312	70318	20852	24312	23607	27523
Juli	3744	4365	14111	16452	14235	16596	-	-
August	2352	2742	9130	10645	12630	14726	-	-
September	303028	353303	52378	61068	8781	10238	-	-
Oktober	30786	35893	333400	388715	19089	22256	-	-
November	13772	16057	171274	199690	34402	40110	-	-
December	50476	58850	176385	205649	58432	68127	-	-
Sum x 10⁶ (afrundet)	0,5	0,5	1,3	1,5	1,2	1,3	1,0	1,2

3.1 Klimadata og pumpet vand

Nedbør og temperatur varierede betydeligt mellem årene i undersøgelsesperioden. Mens 2018 var et ekstremt tørt år med en relativ kold vinter var 2019 sammenlignet hermed våd og vinteren varmere. Helt konkret var den samlede nedbør i perioden fra starten af undersøgelsesperioden i april 2018 til udgangen af december 2018 på 400 mm, mens den var næsten 2 gange højere i samme periode i 2019, i.e. 770 mm. I samme periode i 2020 var nedbøren 502 mm. Gennemsnitstemperaturen i vinteren 2018/2019 var 3.9 °C, i vinteren 2019/2020 var den 5.5 °C, mens temperaturen i vinteren 2020/2021 var den laveste med et gennemsnit på 2.5 °C. De to vådeste måneder med mere end 150 mm nedbør var i oktober 2019 og februar 2020. Den måned med lavest nedbør var april 2020 med kun 4 mm nedbør. Heraf følger, at for undersøgelsesperioden som helhed var der stor sæsonmæssig variation såvel som stor variation årene imellem, hvad angår pumpet vandmængde (Fig. 2b). Man ser typisk lave værdier i sommermånederne som i gennemsnit var ca. 20 gange lavere end i vintermånederne. Den største mængde vand, der blev udpumpet, var i februar 2020 med ca. 500.000 m³ og den lavest udpumpede mængde – næsten 200 gange mindre - var i august 2018 med ca. 2.500 m³ (Tabel 1 og Fig. 2b).



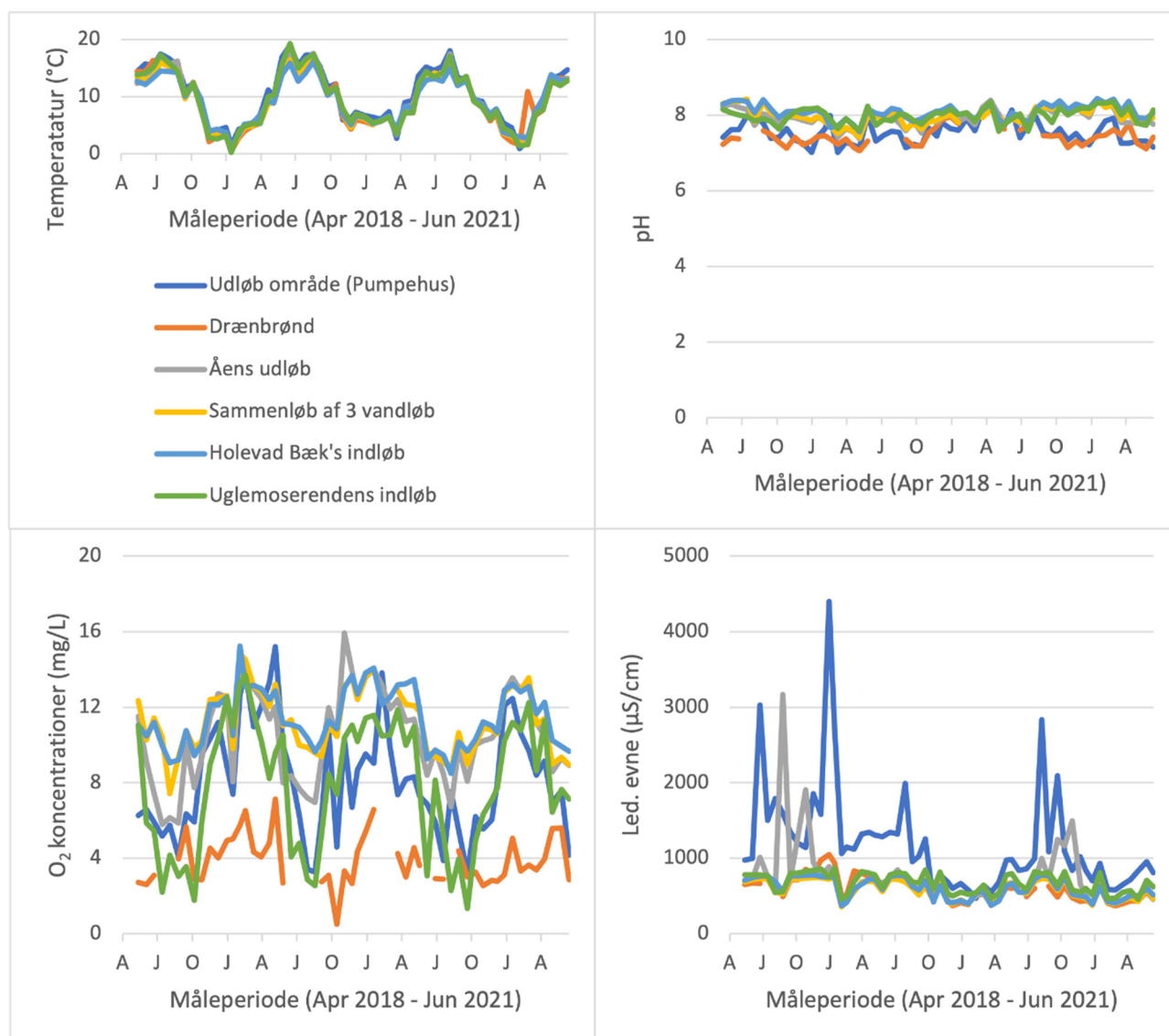
Figur 2. A) Månedlig nedbørssum samt daglig gennemsnitstemperatur ved Aborg Minde (grid 10292 og 20078, DMI) og B) den sæsonmæssige og månedlige variation i den målte udpumpning af vand i måleperioden 1. april 2018 – 30 juni 2021. Pumpet vandmængde beregnet ud fra pumpens elforbrug og løftehøjde. Klimadata er fra DMI.

3.2 Vandkvalitet

3.2.1 Fysisk-kemiske data målt i vand (ilt, pH, temperatur)

Der er kun mindre forskelle i målt temperatur og pH mellem de forskellige prøvetagningssteder. Gennemsnitstemperaturen var omkring 1 °C højere ved “Pumpehus” sammenlignet med vandløbene og “Drænbrønd” (Tabel 2). Overordnet set varierede temperaturen mellem 0,2 °C og 19,3 °C med den laveste i januar 2019 og den højeste temperatur i juni 2019 (begge to i Uglemose-arendens indløb). De laveste pH værdier 6,7 og 6,9, altså tæt på neutral, blev målt ved “Pumpehus” og ved “Drænbrønd” i gennemsnit 0,5 pH enheder lavere end i vandløbene (Tabel 2). Overordnet set var der kun mindre variationer i pH, lidt højere i sommermånederne (Fig. 2). Der blev fundet større forskelle i iltkoncentration og ledningsevne mellem nogle af prøvetagningsstederne. De laveste iltkoncentrationer – for det meste under 5 mg O₂/L var ved “Drænbrønd”. For vandløbene og “Pumpehus” var der udpræget sæsonvariation med de laveste iltkoncentrationer i sommerperioden og herefter stigende hen mod vinteren (Fig. 3). Med undtagelse af “Åens udløb” (Puge Mølle Ås udløb i Noret) var den målte elektriske ledningsevne i vandløbene for det meste lavere end 1000 µS/cm, mens den gennemsnitlige ledningsevne

var ca. to gange højere ved “Pumpehus” og med en maksimumværdi på 4400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ målt i januar 2019 (Tabel 2).



Figur 3. Sæsonmæssig variation i de fysisk-kemiske parametre (O₂: ilt, T: temperatur, Led. Evne.: elektrisk ledningsevne) i vandprøver fra de seks prøvetagningssteder ved Aborg Minde i løbet af måleperioden fra april 2018 – juni 2021.

Tabel 2. Beregnede gennemsnit for de fysisk-kemiske parametre fra de seks prøvetagningssteder ved Aborg minde i måleperioden april 2018 - juni 2021 (se Fig.1 for beliggenhed af prøvetagningssteder). Alle viste data er gennemsnit samt min – max for ilt (O₂), temperatur (T), elektrisk ledningsevne (Le) målt på vandprøver hver 3. uge.

	Pumpehus	Åens udløb i Aborg Minde Nor	Sammenløb 3 vandløb	Drænbrønd	Hølevad Bæks indløb	Uglemose-rendens indløb
O ₂ (mg/L)	8,2 3,2-15,2	10,5 5,8-15,9	11,3 7,4-14,8	4,0 0,5-7,5	11,5 8,5-15,2	8,0 1,3-13,7
T (°C)	10,2 0,9-19,0	9,5 0,9-17,6	9,3 0,8-17,2	8,5 0,5-16,4	9,3 1,4-16,2	9,5 0,2-19,3
pH	7,5 6,7-8,3	7,9 7,4-8,4	8,0 7,4-8,4	7,4 6,9-8,2	8,1 7,6-8,4	8,0 7,6-8,4
Le (μS/cm)	1196 427-4402	723 369-3165	587 363-758	590 374-1054	608 375-785	681 459-869

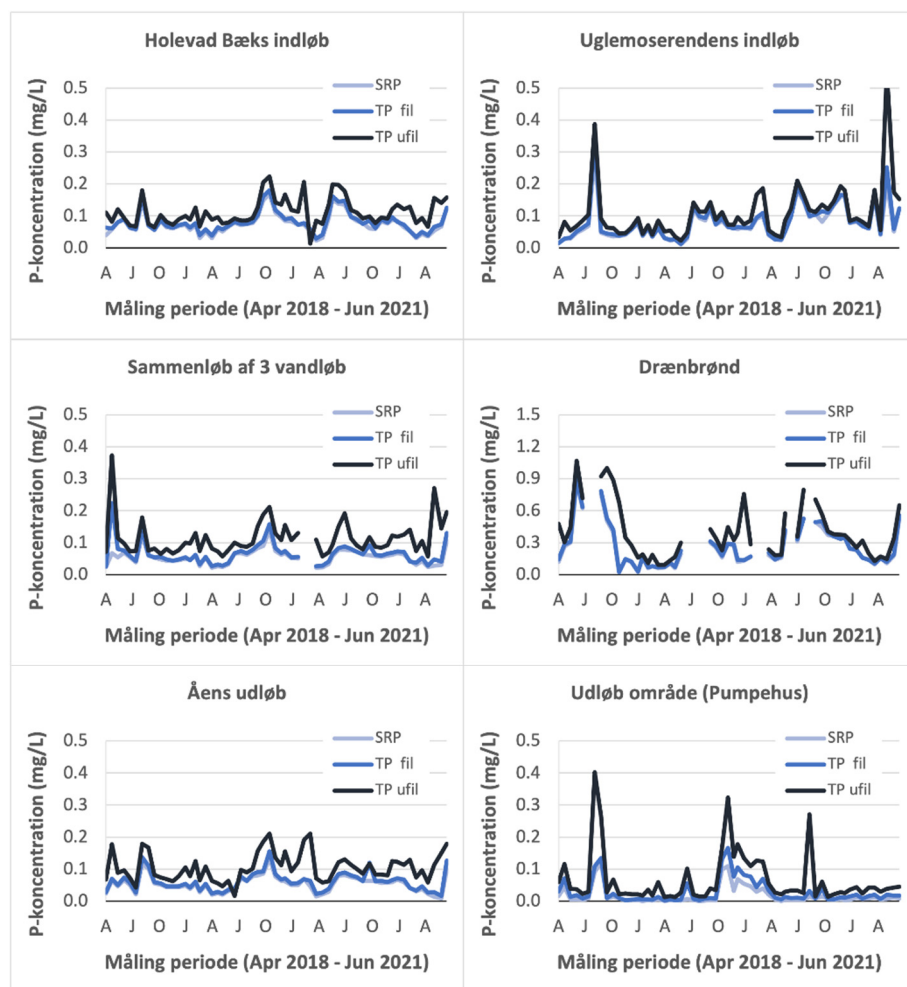
Tabel 3. Beregnede gennemsnit for de målte vandkvalitetsparameter fra de seks prøvetagningssteder ved Aborg Minde i måleperioden april 2018 - juni 2021 (se Fig.1 for beliggenhed af prøvetagningssteder). Alle viste data er gennemsnit samt min – max værdier og alle enheder er i mg/L: ammonium (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), total kvælstof (TN), opløst reaktivt fosfor (også benævnt fosfat; SRP), total opløst P (TDP), total P (TP), total organisk kulstof (TOC), sulfat (SO_4^{2-}), suspenderet stof (Susp.) og den minerogene fraktion af det suspenderede stof (Minf.).

	Pumpehus	Åens udløb i Aborg Minde Nor	Sammenløb 3 vandløb	Drænbrønd	Holevad Bæks indløb	Uglemose-rendens indløb
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0,14 0,01-0,95	0,04 0,00-0,15	0,04 0,00-0,15	0,40 0,05-1,12	0,03 0,00-0,24	0,05 0,00-0,16
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	3,88 0,02-15,57	5,63 2,83-12,29	5,69 3,46-12,26	0,36 0,01-3,10	6,67 4,20-12,27	7,24 3,97-13,21
TN	4,9 1,0-18,0	6,2 1,2-13,8	6,2 4,4-13,6	2,0 0,8-5,2	7,2 4,6-13,9	7,8 4,9-14,5
SRP	0,018 0,001-0,121	0,054 0,008-0,134	0,055 0,021-0,137	0,253 0,022-0,877	0,075 0,022-0,168	0,076 0,010-0,293
TDP	0,029 0,002-0,166	0,061 0,017—0,156	0,065 0,026-0,224	0,265 0,024-0,901	0,081 0,029-0,180	0,081 0,012-0,347
TP	0,066 0,013-0,402	0,105 0,016-0,211	0,114 0,057-0,374	0,4394 0,092-1,070	0,112 0,014-0,223	0,107 0,023-0,555
TOC	16,2 4,9-77,7	10,0 3,6-62,1	9,5 3,3-58,3	13,6 8,3-59,6	7,1 2,3-57,7	6,1 2,6-64,3
SO_4^{2-}	204 31-762	54 24-249	45 28-69	93 34-256	41 23-61	48 25-62
Susp.	5,5 0,8-16,8	9,9 1,6-51,6	10,6 1,4-65,2	16,2 0,5-117,6	8,4 1,0-28,8	4,8 0,2-26,9
Minf.	3,8 0,4-12,3	7,3 0,1-51,6	7,6 0,6-47,4	9,2 0,3-74,7	5,8 0,6-22,4	3,2 0,1-16,6

3.2.2 Næringsstofkoncentrationer

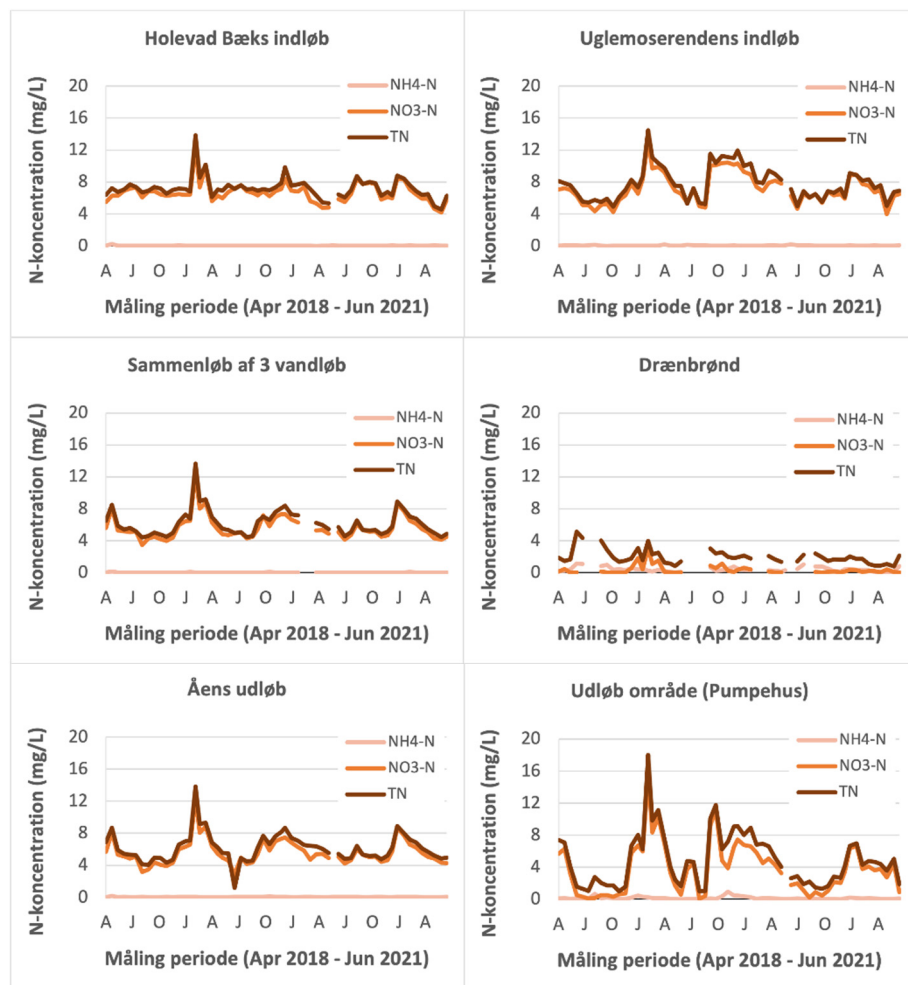
De beregnede gennemsnitskoncentrationer af nitrat, TN, SRP TDP og TP er lavere ved pumpestationen end ved de forskellige prøvetagningssteder i vandløbene (Tabel 3), mens der er højere koncentrationer af SRP, TDP og TP inde på det dræned areal (Drænbrønd). Der er tydelig sæsonvariation med lave fosforkoncentrationer i vinterperioden og lavere nitratkoncentrationer i sommermånederne, gældende for alle prøvetagningsstederne med undtagelse af 2019. Her sås en markant stigning i fosforkoncentrationerne som startede i august og fortsatte i de to meget nedbørsrige måneder september og oktober (Fig. 2A), og især ved pumpestationen skal det bemærkes, at fosforkoncentrationerne faldt gradvist over en længere periode frem til april 2020, hvor fosforkoncentrationerne var nede på under 0.010 mg P / L (Fig. 4) – i øvrigt samme lave P-koncentrationer sås i vinterperioden 2020/2021 ved pumpestationen. Overordnet set var de gennemsnitlige P-koncentrationer ved “Drænbrønd” (drænbrønden på det pumpede areal) en størrelsesorden højere sammenlignet med de andre prøvetagningssteder. Det skal bemærkes, at gennemsnitskoncentrationen af sulfat ved “Pumpehus” var betydelig højere end ved de øvrige prøvetagningssteder. Ligeledes var den gennemsnitlige TOC-koncentration højere ved Pumpehuset. Fra juli til september 2018 var de målte TOC-koncentrationer bemærkelsesværdig høje på alle prøvetagningssteder (> 40 mg C / L) (enkelte data ikke vist).

Figur 4. Den sæsonmæssige variation i de målte koncentrationer af: SRP (opløst reaktivt fosfor - fosfat), TP_{fil} : (total opløst P), TP_{ufil} (total P). Målt på vandprøver fra de seks prøvetagningssteder ved Aborg Minde i perioden april 2018 – juni 2021. Bemærk "Drænbrønd" tørrede ud i sommeren 2018, 2019 og 2020



Der var sæsonmæssige variationer i både total kvælstof (TN) og nitratkoncentrationerne på alle stationer (Fig. 5), hvor de højeste koncentrationer altid blev målt i vinterhalvåret, i.e. $> 8-10 \text{ mg N/L}$, dog på nær Drænbrønd med konstant lave koncentrationer under 4 mg N/L . Meget lave nitratkoncentrationer på ca. 0.01 mg N/L blev kun målt på station Drænbrønd, mens der ved station Pumpehus blev målt nitratkoncentrationer ned til ca. 0.1 mg N/L i sommerperioderne (Fig. 5). Nitrat udgjorde omkring 80-90 % af den totale kvælstofmængde på alle stationer på nær Drænbrønd, hvor nitrat kun udgjorde ca. 20 % af den totale kvælstofmængde. På alle stationer var ammoniumkoncentrationerne lavere end 0.5 mg N/L . De højeste ammoniumkoncentrationer sås på station Drænbrønd, som havde 3 – 10 gange højere ammoniumkoncentration sammenlignet med de øvrige stationer (Tabel 3).

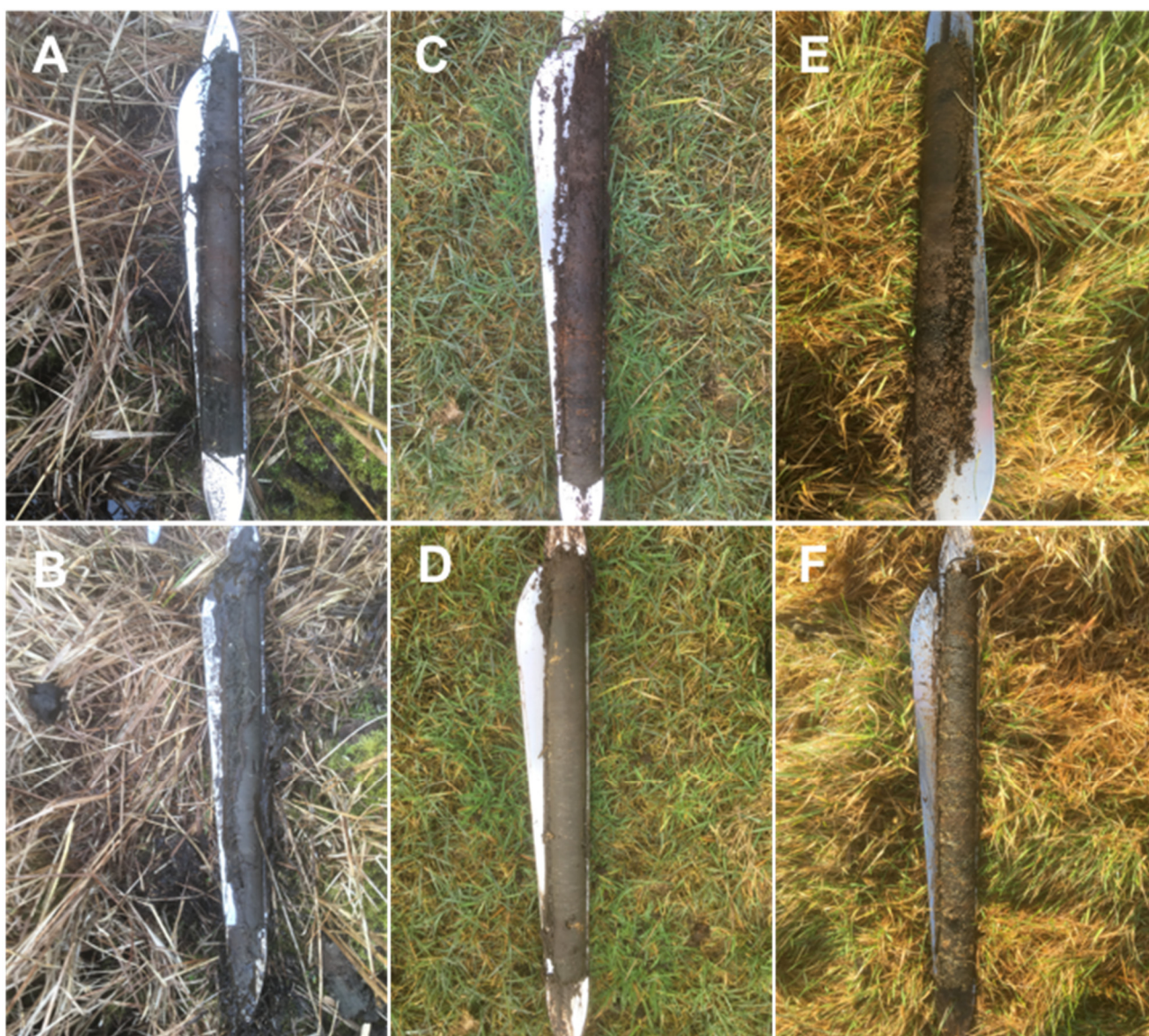
Figur 5. Målte koncentrationer af: NH₄-N (ammonium), NO₃-N (nitrat), TN (total kvælstof) i vandprøver fra de seks prøvetagningssteder ved Aborg Minde i perioden april 2018 – juni 2021. Bemærk “Drænbrønd” tørrede ud i sommeren 2018, 2019 og 2020.



3.2.3 Jordkarakteristika

Jordbundsegenskaberne varierede markant mellem de 3 prøvetagningstransektter, hvilket kan tilskrives forskellighed i jordtype og herunder tørvedybde. Tørvens tykkelse var kun få cm i transekt 1, og herunder lå der sortfarvede marine sedimenter, der formentlig var sorte pga. jernsulfider (Fig. 6 a, b). I det midterste transekt var der øverst et ca. 50 cm tykt tørvslag, efterfulgt nedenunder af brunfarvede sedimenter med mange skaller (Fig. 6 c, d). I det tredje og sidste transekt bestod den øverste 1 m udelukkende af tørv (Fig. 6 e, f). Tørvslaget i toppen var generelt set stærkt nedbrudt eller helt formuldet. Mindre nedbrudt tørv med et organisk indhold på mere end 60 % sås kun i transekt 3 (Tabel 4, Fig. 6 f). Det totale jernindhold i jordprofilet varierede mindre end mængden af reduktant opløselig jern (BD-Fe), som lå i intervallet 0,4–10,3 mg Fe/g tørvægt. Det er bemærkelsesværdigt, at mængden af reduktant opløselig fosfor var meget ensartet i alle jordprøverne, med mængder liggende i intervallet 0,02–0,08 mg P/g tørvægt for den første prøvetagningsrunde i 2019, men i prøvetagningsrunden i 2020 lå fosforindholdet to gange højere sammenlignet med 2019. Det vides ikke, hvorvidt disse forskelle kan tilskrives temporære ændringer som f.eks. mineralisering af organisk bundet fosfor og / eller P sorptionsprocesser (Walton et al., 2020), eller om det er relateret til rumlig heterogenitet. Den P-fraktion der potentielt kan mobiliseres under vandmættede forhold udgjorde i gennemsnit henholdsvis 7 og 11 % af den totale fosforpulje i jorden i 2019 og 2020, mens den løst bundne pulje (i.e. den vandopløselige fraktion) i de fleste prøver udgjorde mindre end 1 % af den totale fosforpulje. De molære ratioer for total jern: total fosfor varierede mellem 9 og 18, mens de molære ratioer for redoxsensitivt jern

og redoxsensitivt fosfor (Fe-BD : P-BD) lå højere og for det meste fra 20 og op til 96 (tabel 4).



Figur 6. Jordprøver fra de 3 transekter (T1, T2, T3) fra henholdsvis 0-50 cm (A, C, E) og 50-100 cm dybde (B, D, F).

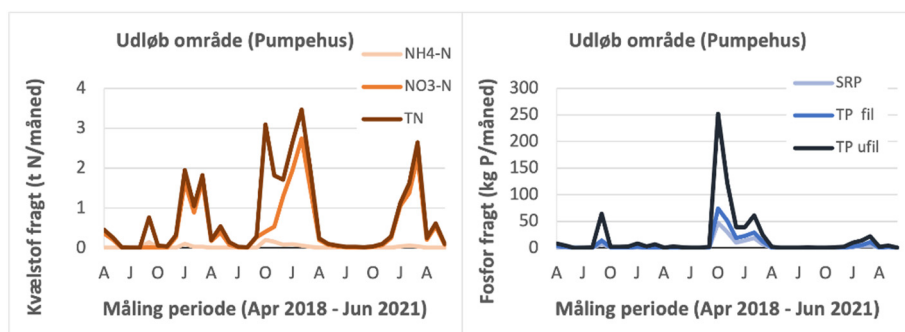
Tabel 4. Jordbundskarakteristika for jordprøver udtaget i 2 dybder fra de 3 transekter (T1, T2, T3, se Fig. 1) i henholdsvis februar 2019 og december 2020. Værdierne er gennemsnit af 5 målinger (N=5) og enhederne for koncentration er mg/g tørstof. OM: organisk stof, DBD: volumenvægt (tørvægt); TFe: total jern, TP: total fosfor, BD-Fe: dithionit ekstraherbar jern, BD-P: dithionit ekstraherbar fosfor, WS-SRP: vandopløselig reaktiv fosfor, TDP: vandopløselig total fosfor, TFe/TP og BD-Fe/BD-P: molære ratioer, BD-P: total mængde dithionit ekstraherbar fosfor.

TS	Depth	OM	DBD	TFe	BD-Fe	TP	WS-SRP	WS-TDP	BD-P	TFe/TP	BD-Fe/BD-P	BD-P
	cm	%	g/cm ³	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	molar	molar	g/m ³
Februar 2019e												
1	0-50	24	0,5	9	2,6	0,5	0,003	0,004	0,041	11	52	29
1	50-100	14	0,5	11	0,4	0,4	0,003	0,004	0,018	15	11	8
2	0-50	41	0,5	14	6,7	0,9	0,004	0,008	0,077	10	48	27
2	50-100	13	0,6	13	0,4	0,5	0,005	0,007	0,017	16	13	9
3	0-50	42	0,3	27	10,3	0,8	0,002	0,004	0,060	18	96	21
3	50-100	64	0,2	16	2,8	0,7	0,009	0,016	0,060	12	26	9
December 2020												
1	0-50	29	0,4	14	2,8	0,9	0,004	0,006	0,067	9	27	34
1	50-100	21	0,4	20	2,4	0,9	0,004	0,004	0,057	13	27	26
2	0-50	32	0,5	16	5,0	1,0	0,003	0,005	0,114	10	26	55
2	50-100	40	0,3	22	6,7	0,8	0,007	0,010	0,141	15	26	39
3	0-50	39	0,5	27	13,4	1,0	0,001	0,004	0,093	14	79	43
3	50-100	47	0,3	21	7	0,8	0,004	0,008	0,102	14	35	27

3.3 Eksport af næringsstoffer og andre stoffer til fjorden

Der er kun beregnet vandtransport for ”Pumpehus” dvs. udpumpet vandmængde fra det drænede og pumpede areal Aborg Minde via pumpestationen. Vandmængden er beregnet på baggrund af information om pumpens elforbrug (indhentet på dagsbasis via elselskabet) samt pumpens løftehøjde. Ved beregningerne er anvendt den gennemsnitlige udpumpede mængde og ikke min-max som vist i tabel 1 og på figur 2. Nitrat udgjorde 64 % af den udpumpede kvælstofmængde. Den største udpumpning af kvælstof foregik i vinterperioden med størst udpumpning af vand og højest kvælstofkoncentration (Fig. 7).

Figur 7. Månedlig eksport af N og P specier ved udløbet fra området (”Pumpehus”) vist for hele monitoringsperioden 1. april 2018 – 30. juni 2021 (for P and N specier se fig. 4 og 5).



En markant stigning i eksporten af kvælstof – med en factor højere end 10 – fandt sted i september 2019 og igen i den efterfølgende måned og den forblev på et højere niveau frem til marts 2020 (Fig. 7). Det var samtidig også den vådeste periode i hele monitoringsperioden (Fig. 2a). I løbet af disse 7 måneder overskred N-eksporten den samlede N-eksport i de foregående 17

måneder med en faktor 2. Den højere eksport af kvælstof kan ikke udelukkende forklares med en højere udpumpet vandmængde, da vandmængden kun var 1.2 gange højere, men også med, at der var højere kvælstofkoncentrationer i denne periode sammenlignet med månederne før (Fig. 5). For hele den 3 år lange undersøgelsesperiode udgjorde mængden af ammonium der blev udpumpet 4 % af den totale udpumpede mængde kvælstof. Mens nitrit ikke blev kvantificeret da koncentrationen i store dele af måleperioden var under detektionsgrænsen (<0,001 mg N/l).

Tabel 5. Månedlige stoftransporter fra pumpestationen pumpet ud i Aborg Minde Nor i perioden 1. april 2018 til 30. juni 2021 (se Fig. 1 for beliggenhed af "Pumpehus"). Til stoftransportberegningen er anvendt puljede prøver fra ISCO-prøvetageren, og vandmængden er gennemsnittet af minimums og maksimums værdierne (se fig. 2). Gennemsnit (GEN), Minimum (MIN), og Maksimum (MAX) er angivet for enkelte måneder af de fire undersøgte år for ammonium (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), total kvælstof (TN), opløselig reaktiv fosfor (også benævnt fosfat; SRP), total opløst P (TDP), total P (TP), total organisk kulstof (TOC), sulfat (SO_4^{2-}), suspenderet stof (Susp.) samt den minerogene fraktion af Susp. (Minf.).

		NH₄-N	NO₃-N	TN	SRP	TP fil	TP ufil	TOC	Klorid	Sulfat	susp	Minf.
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	x 10 ³ kg	x 10 ³ kg	kg	kg
April 2018 - December 2018	GEN	19	99	212	1	2	10	955	91	25	729	439
	MIN	0,7	0,3	6	0,1	0,1	0,3	91	2,1	0,8	13	7
	MAX	143	367	759	8	14	65	4807	600	150	4196	2492
	SUM	175	888	1905	11	22	86	8591	817	227	6565	3952
2019	GEN	50	613	1053	8	12	37	5064	58	35	5130	2243
	MIN	1,0	6,5	17	0,1	0,1	0,4	114	4,3	1,8	26	17
	MAX	198	1687	3096	48	74	252	28883	262	138	38332	14112
	SUM	606	7358	12632	90	149	438	60771	691	414	61561	26921
2020	GEN	16	575	751	3	6	11	2025	11	11	992	614
	MIN	0,6	7	14	0,1	0,1	0,4	97	2,0	2,0	30	19
	MAX	87	2740	3467	18	29	61	9702	26	34	5259	3499
	SUM	189	6898	9012	41	67	134	24297	136	128	11899	7367
Jaunar 2021 - Juni 2021	GEN	23	922	1056	2	4	9	2117	15	28	1639	1187
	MIN	0,7	84	101	0,2	0,4	0,8	307	2,1	3,5	242	204
	MAX	53	2262	2639	4	11	22	5182	35	62	4116	2977
	SUM	137	5530	6338	11	21	53	12703	92	167	9835	7123

De beregnede udpumpningsmængder for fosfor, udviser et andet mønster end for kvælstof, dels fordi det meste fosfor er bundet til partikler (ca. 80 %), og dels fordi de højeste P-koncentrationer ses i sommermånederne, hvor mængden af vand der udpumpes er lille. Derfor er mængderne af fosfor mere ligeligt fordelt over månederne.

I det første måleår fra april 2018 til april 2019 er september måned 2018 markant forskellig fra de øvrige måneder, idet der i denne måned udpumpes store mængder N og P, især meget ammonium og organisk kvælstof samt store mængder fosfat og opløst organisk fosfor (Fig. 7). I september 2018 udpumpes 60 % af den totale årlige P-udpumpning (April 2018-April 2019). Baggrunden for de store mængder N og P der udpumpes i 2018 må tilskrives nogle store nedbørshændelser, der foregik netop i september måned lige oven på en meget lang og tør sommer. Den højeste eksport af fosfor skete, ligesom nævnt for kvælstof ovenfor, i september - oktober 2019 og de efterfølgende måneder (Fig. 7). I løbet af denne 7 måneders periode blev der eksporteret 5 gange mere fosfor end i de foregående 17 måneder og igen kan det tilskrives stor udpumpning af vand men især usædvanlig høje P-koncentrationer i denne kolde periode (Fig. 4).

I september 2018 var der høj udpumpning af TOC, men i oktober 2019 var den 6 gange højere og den faldt først ned til ca. 4.8 tons C per måned i marts 2020. Tabel 6 viser, hvor store mængder vand og stof, der blev udpumpet i perioderne 1. april 2018 – 31. marts 2019, 1. april 2019 -31. marts 2020 og 1. april 2020 -31. marts 2021, hvilket svarer til afrapporteringen for de to første monitoringsperioder (Hoffman og Zak, 2019; Hoffmann og Zak, 2020). Første og sidste monitoringsperiode ligner generelt set hinanden både mht. udpumpning af vand og stof, dog på nær sulfat, der viste en nedadgående trend. Endelig bør det bemærkes, at den samlede udpumpning af TOC var på 104.3 tons, hvor der især i den mellemste monitoringsperiode blev udpumpet store mængder TOC (tabel 6).

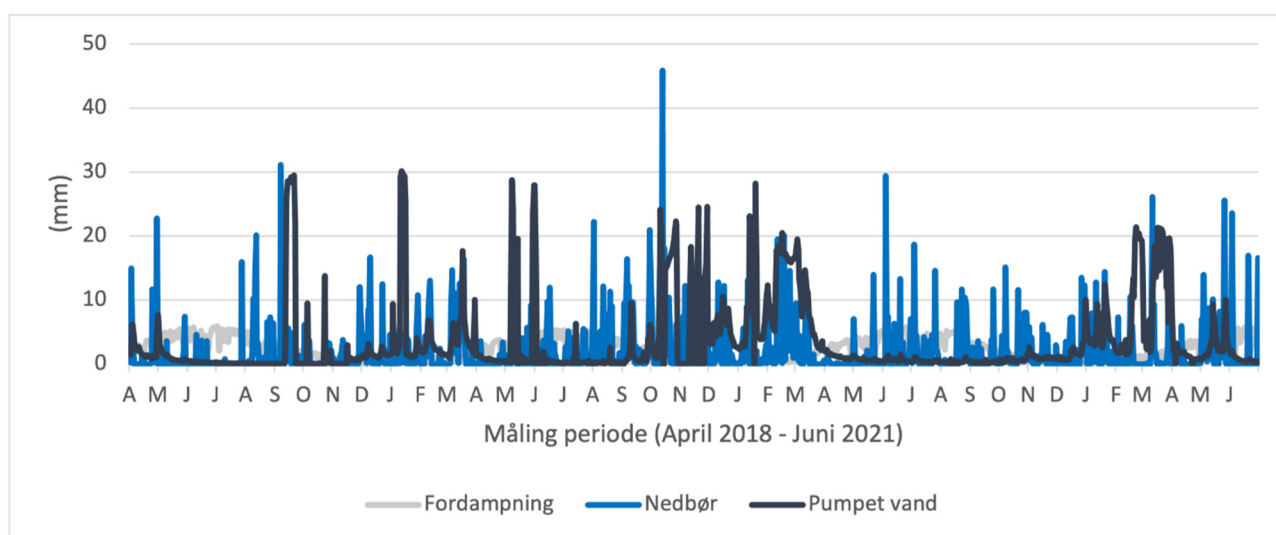
Tabel 6. Udpumpede vand- og stofmængder i måleår 1. april 2018 – 31. marts 2019, 1. april 2019 -31. marts 2020 og 1. april 2020 -31. marts 2021. Enheder m^3 vand $\times 10^6$ og stofmængder i tons – dog sidste række tab i $\text{kg ha}^{-1} \text{år}^{-1}$.

Måleår	Vand	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	TN	SRP	TDP	TP	TOC	SO_4^{2-}	Susp.	Minf.
1. April 2018 31. marts 2019	1.2	0.33	5.3	6.9	0.01	0.03	0.10	15.4	451	12.0	7.5
1. April 2019 31. marts 2020	2.2	0.63	9.3	15.9	0.13	0.21	0.55	75.6	279	66.9	30.1
1. April 2020 31. marts 2021	1.2	0.1	5.4	6.3	0.01	0.02	0.06	13.3	187	10.1	7.0
Samlet udpumpning i tons for 3 år	4.6	1.06	20	29.1	0.15	0.26	0.71	104.3	917	89	44.6
Samlet tab kg ha		3.05	57.5	83.6	0.43	0.75	2.04	300	2635	256	128

4 Diskussion og konklusion

De gennemsnitlige næringsstofkoncentrationer – både N og P – var lavere end i den nærliggende Puge Mølle Å ("Åens udløb"), der ligeledes strømmer ud i Aborg Minde Nor. I Puge Mølle Å var den gennemsnitlige nitratkoncentrationen 1,3 gange højere og den gennemsnitlige fosfatkoncentration 2,4 gange højere sammenlignet med pumpestationen ("pumpehus"; 4,45 vs. 5,72 mg N/L and 0,022 vs. 0,053 mg P/L). Det bør dog tilføjes, at nitratkoncentrationen ved pumpehuset altid var højere i vinterhalvåret, mens TP var højest i pumpehuset i sommerperioden men også i efteråret 2019. Sidstnævnte kan tilskrives høje koncentrationer af partikulært P (se Fig. 4, $TP_{\text{ufil}} - TP_{\text{fil}}$).

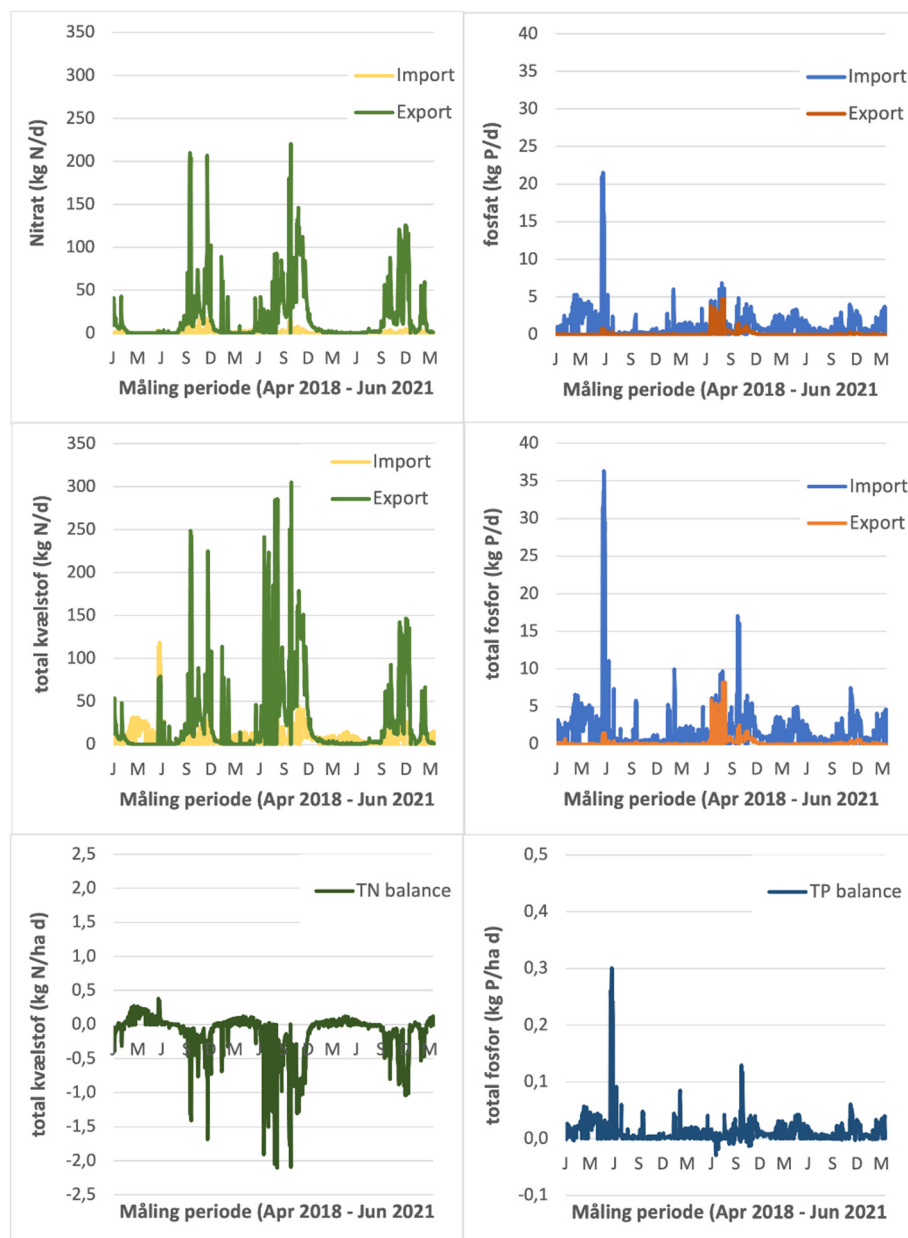
Selvom det ikke er muligt at lave en decideret massebalance for det pumpede og drænede område, så indikerer målingerne fra de omkringliggende vandløb, at der kan være tilbageholdelse af næringsstoffer under de nuværende forhold. Mere præcist er spørgsmålet derfor om Aborg Minde tilbageholder eller frigiver kvælstof og fosfor. Hvis man inddrager daglig nedbør, fordampning og udpumpning af vand, kan man opstille vandbalance og estimere den mængde grundvand, der dagligt siver ind i området (Fig. 8).



Figur 8. Daglige fluxe af vand (fordampning, nedbør og pumpet vand) beregnet for hele monitoringsperioden og anvendt til at estimere mængden af grundvand, der er sivet ind i det drænede lavbundsområde (Aborg Minde).

I henhold til den ovennævnte opstillede vandbalance kan det beregnes, at den daglige grundvandsindsivning er på 4800 m³. Da området hovedsagelig fødes via grundvandsindsivning, vil de tilførte næringsstoffer være på opløst form. Vandkvalitetsdata fra stationen Drænbrønd blev anvendt som reference for indsivet grundvand (Fig. 1, 4 og 5). Ud fra disse grænsebetingelser er det pumpede område i hovedparten af monitoringsperioden en kilde for kvælstof (i.e. der tabes N fra området). Derimod tilbageholdes der fosfor i området (Fig. 9). Disse scenarieberegninger skal tages med forbehold både på grund af usikkerheden vedrørende de anvendte vandkvalitetsdata, men også fordi den opstillede vandbalance ikke inddrager volumenændringer i grundvandsmagasinet.

Figur 9. Estimeret daglig import, eksport og balance for nitrat, total kvælstof, fosfat og total fosfor for hele monitoringsperioden 1. april 2018 – 30. juni 2021. Til beregning af importen af næringsstofferne blev tilførslen af vand beregnet ved anvendelse af daglig nedbør, fordampning og udpumpet vandmængde fra pumpestationen. De anvendte vandkvalitetsdata blev taget fra Drænbrønd.



Indsivning af nitratholdigt grundvand fra de omkringliggende arealer og vandløb vil kunne denitrificeres i den mættede zone under drændybde og nitrat stammende fra ammonifikation og efterfølgende nitrifikation vil samtidig være at finde i denne dræned del af jordprofilen, men ovennævnte sammenhænge er dog hypotetiske, da der ikke er foretaget målinger, der understøtter dette.

De høje fosformålinger i drænbrønden på op til 1 mg P/L indikerer, at der kan være foregået P-mobilisering fra jordmatrix og /eller mineralisering af organisk stof, eller der kan være sket en reduktiv opløsning af redox sensitive jern(III)-P forbindelser. Sidstnævnte proces forekommer dog ikke sandsynlig, da der altid blev målt ilt i vandet fra drænbrønden. De lave koncentrationer af SRP (fosfat), der blev målt ved pumpehuset, hvor der hele tiden blev målt høje iltkoncentrationer, indikerer at opløst fosfat blev fanget og udfældet med jern(III) hydroxider (Zak et al., 2010). Evidens for sidstnævnte proces kunne ses flere steder i området, hvor der forekom overfladestrømning (Fig. 10), og der kunne ses tydelige jernudfældninger. I øvrigt fremgår det af

forundersøgelsen (Rambøll, 2015) fra Aborg Minde, at topjorden er meget jernrig og at $\text{Fe}_{\text{BD}}:\text{P}_{\text{BD}}$ ratioen er rimelig høj, i gennemsnit omkring 40 (se Tabel 4 og forundersøgelse i Rambøll, 2015). Der er dog det problem med de udfældede jern(III)-P forbindelser, at de ved høje afstrømningshændelser kommer i bevægelse og pumpes ud af området. Ved ikke drænede og pumpede forhold ville disse forbindelser akkumuleres i topjorden og forblive på arealet. Der er endvidere nogen evidens for, at en væsentlig del af det oxiderede jern (okker, Fig. 10) stammer fra oxidation af pyrit dannet før området blev drænet og pumpet (Zak og Gelbrecht, 2007). Man kan dels se jernudfældninger, som vist på Figur 10, og dels kunne der måles usædvanlig høje sulfatkoncentrationer på op til 760 mg SO_4/L i udpumpningsvandet ("Pumpehus", Tabel 3). Pyritoxidation vil, afhængig af tørvejordens bufferkapacitet, kunne føre til forsure i området (Zak et al., 2010).

Hovedparten af fosforeksporten fra det pumpede område sker som partikulært fosfor (Tabel 5). Derfor vil man kunne opnå en betydelig reduktion i fosfortransporten, hvis man ophørte med at pumpe. Modsat vil man risikere, at et højere vandspejl ved ophør af pumpning kunne forårsage opløsning af redox-sensitive jern(III)forbindelser i den vandmættede jord, men en del af den mobiliserede fosfor kan forventes at blive fanget på jordoverfladen igen. Det vurderes, at en effektiv metode, til at reducere størrelsen af den mobile fosforpulje, er plantehøst (Andersen et al, 2020), men dette er endnu ikke dokumenteret. Med hensyn til kvælstof kan det antages, at genskabelse af de vandmættede forhold vil medvirke til genskabelse af et højt denitrifikationspotentiale, som dokumenteret fra andre restaureringsprojekter (Audet et al., 2019).

Figur 10. Jern(III)-hydroxider, også kaldet okker, udfældet på overfladen af den drænede tørveflade ved Aborg Minde.



5 Litteratur

Andersen, H.E., Rubæk, G.H., Hasler, B. & Jacobsen, B.H. (redaktører). 2020. Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 379

Audet, J., Zak, D., Bidstrup, J., and Hoffmann, C.C. (2020). Nitrogen and phosphorus retention in Danish restored wetlands. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01181-2>

Forsmann, D. M., and Kjaergaard, C. (2014). Phosphorus release from anaerobic peat soils during convective discharge — Effect of soil Fe:P molar ratio and preferential flow. *Geoderma*, 223–225, 21– 32. doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.025

Hoffmann, C.C. & Zak, D. 2019. Undersøgelser ved Aborg Minde Nor i Assens Kommune på Vestfyn. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 18 s. - Videnskabelig rapport nr. 326

Hoffmann, C.C. & Zak, D. 2020. Fortsatte undersøgelser af tab af næringsstoffer fra pumpelaget ved Aborg Minde Nor i Assens Kommune på Vestfyn 2018-2020. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 22 s. - Videnskabelig rapport nr. 395

Jensen, H.S., and Thamdrup, B. (1993). Iron-bound phosphorus in marine sediments as measured by bicarbonate-dithionite extraction. *Hydrobiologia*, 253, 47–59. <https://doi.org/10.1007/BF00050721>

Rambøll (2015). Teknisk Forundersøgelse Vådområde Aborg Minde.

Walton, C.R., Zak, D., Audet, J., Petersen, R.J., Lange, J., Oehmke, C., Wichtmann, W., Kreyling, J., Grygoruk, M., Jabłońska, E., Kotowski, W., Wiśniewska, M.M., Ziegler, R., and Hoffmann, C.C. (2020). Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Sci Total Environ*: 138709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138709>.

Zak, D., and J. Gelbrecht (2007). The mobilisation of phosphorus, organic carbon and ammonium in the initial stage of fen rewetting (a case study from NE Germany). *Biogeochemistry*, 85, 141-151.

Zak, D., Gelbrecht, J., Zerbe, S., Shatwell, T., Barth, M., Cabezas, A., and Steffenhagen, P. (2014). How helophytes influence the phosphorus cycle in degraded inundated peat soils – Implications for fen restoration, *Ecol. Engin.*, 66, 82–90.

Zak, D., McInnes, R., and Gelbrecht, J. (2018). Managing phosphorus release from restored minerotrophic peatlands. *Wetland Book*, 1321–1327. http://doi.org/10.1007/978-90-481-9659-3_223

Zak, D., Goldhammer, T., Cabezas, A., et al. (2018). Top soil removal reduces water pollution from phosphorus and dissolved organic matter and lowers

methane emissions from rewetted peatlands, *J Appl Ecol.*, 55, 311–320.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12931>.

Zak, D., Wagner, C., Payer, B., Augustin, J., and Gelbrecht, J. (2010). Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration. *Ecological Applications*, 20, 1336-1349.
[doi:10.1890/08-2053.1](https://doi.org/10.1890/08-2053.1)

TRE ÅRS UNDERSØGELSER AF TAB AF NÆRINGSSTOFFER FRA PUMPELAGET VED ABORG MINDE NOR I ASSENS KOMMUNE PÅ VESTFYN

På et drænet og pumpet landbrugsareal, Aborg Minde, ved Assens, er det undersøgt, hvor stor en mængde vand og næringsstoffer der i perioden april 2018 til juni 2021 pumpes ud til recipienten, Aborg Minde Nor.