



FORTSATTE UNDERSØGELSER AF TAB AF NÆRINGSSTOFFER FRA PUMPELAGET VED ABORG MINDE NOR I ASSENS KOMMUNE PÅ VESTFYN 2018-2020

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 395

2020



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

FORTSATTE UNDERSØGELSER AF TAB AF NÆRINGSSTOFFER FRA PUMPELAGET VED ABORG MINDE NOR I ASSENS KOMMUNE PÅ VESTFYN 2018-2020

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 395

2020

Carl Christian Hoffmann
Dominik Zak

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 395
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Fortsatte undersøgelser af tab af næringsstoffer fra pumpelaget ved Aborg Minde Nor i Assens Kommune på Vestfyn 2018-2020
Forfattere:	Carl Christian Hoffmann & Dominik Zak
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	September 2020. Opdateret november 2021
Redaktion afsluttet:	September 2020. Opdateret november 2021
Faglig kommentering:	Joachim Audet
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	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 http://dce2.au.dk/pub/SR395.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 april 2020 pumpes ud til recipienten, Aborg Minde Nor.
Emneord:	Pumpet område, kvælstof, fosfor
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Carl Christian Hoffmann
ISBN:	978-87-7156-520-1
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	22
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR395.pdf
Erratum:	November 2021. I den oprindelige rapport fra september 2020 er der anvendt en forkert pumpekaraktistik, hvilket har betydet at den udpumpede vandmængde fra projektområdet var 10 gange højere end den burde være. Vand- og stofmængderne har således været angivet 10 gange højere end de burde være. Tabel 1, side 11 og figur 2 på side 12 er blevet rettet. Herved er alle værdier blevet ændret med en faktor 10. Tabel 5 på side 19 og tabel 6 på side 20 er ligeledes blevet rettet, så alle værdier er ændret med en faktor 10. De steder i teksten hvor der er refereret til værdier i tabel 1, tabel 5, tabel 6 og figur 2 er blevet rettet.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	5
Summary	7
1 Baggrund	8
2 Projektområdet og opgaver	9
3 Resultater	11
3.1 Klima data 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	23

[Tom side]

Forord

Tabet af næringsstoffer fra Aborg Minde pumpelag til Aborg Minde Nor ved Assens på Fyn undersøges over en treårig periode, som startede i april 2018. Denne rapport er nummer to i rækken og omfatter målinger fra første og andet år dvs. perioderne april 2018 - april 2019 og april 2019 - april 2020. Første rapport blev udgivet i 2019 (Hoffmann og Zak, 2019) og en afsluttende rapport med resultater fra alle tre år forventes udgivet med udgangen af 2021.

Undersøgelsen er bestilt og finansieret af Miljøstyrelsen

Sammenfatning

Aborg Minde pumpelag (116 ha) ved Assens er undersøgt i perioden april 2018 – april 2020 (25 mdr) med henblik på at måle og beregne mængden af vand og næringsstoffer, der blev udpumpet til recipienten Aborg Minde Nor. Udpumpningen af total kvælstof var for hele perioden på 22.9 tons TN (94.7 kg N ha⁻¹ år⁻¹), og udpumpningen af total fosfor var på 0.6 tons TP (2.69 kg P ha⁻¹ år⁻¹). Der blev konstateret tab af sulfat på 729 tons (3.0 tons SO₄²⁻ ha⁻¹ år⁻¹).

Summary

The pumped area Aborg Minde (116ha) 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 whole period (25 months) was 22.9 tons TN ($94.7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), and total amount of phosphorus pumped out was 0.65 tons TP ($2.69 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). The amount of sulfate pumped out was 729 tons ($3.0 \text{ tons SO}_4^{2-} \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$).

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). Opretholdelse af dræningsaktiviteterne vil på den anden side medvirke til fortsat mineralisering af tørven og medføre 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). Dette vil føre til genopbygning af jordens organiske pulje pga. de mere iltfrie forhold. Iltfrie 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 af nedstrøms liggende recipienter (Audet et al., 2020). Imidlertid kan høj P-mobilisering i tørvejerde ikke nødvendigvis sidestilles med høj P-udvaskning. Jorde med højt 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 nedstrøms liggende recipienter.

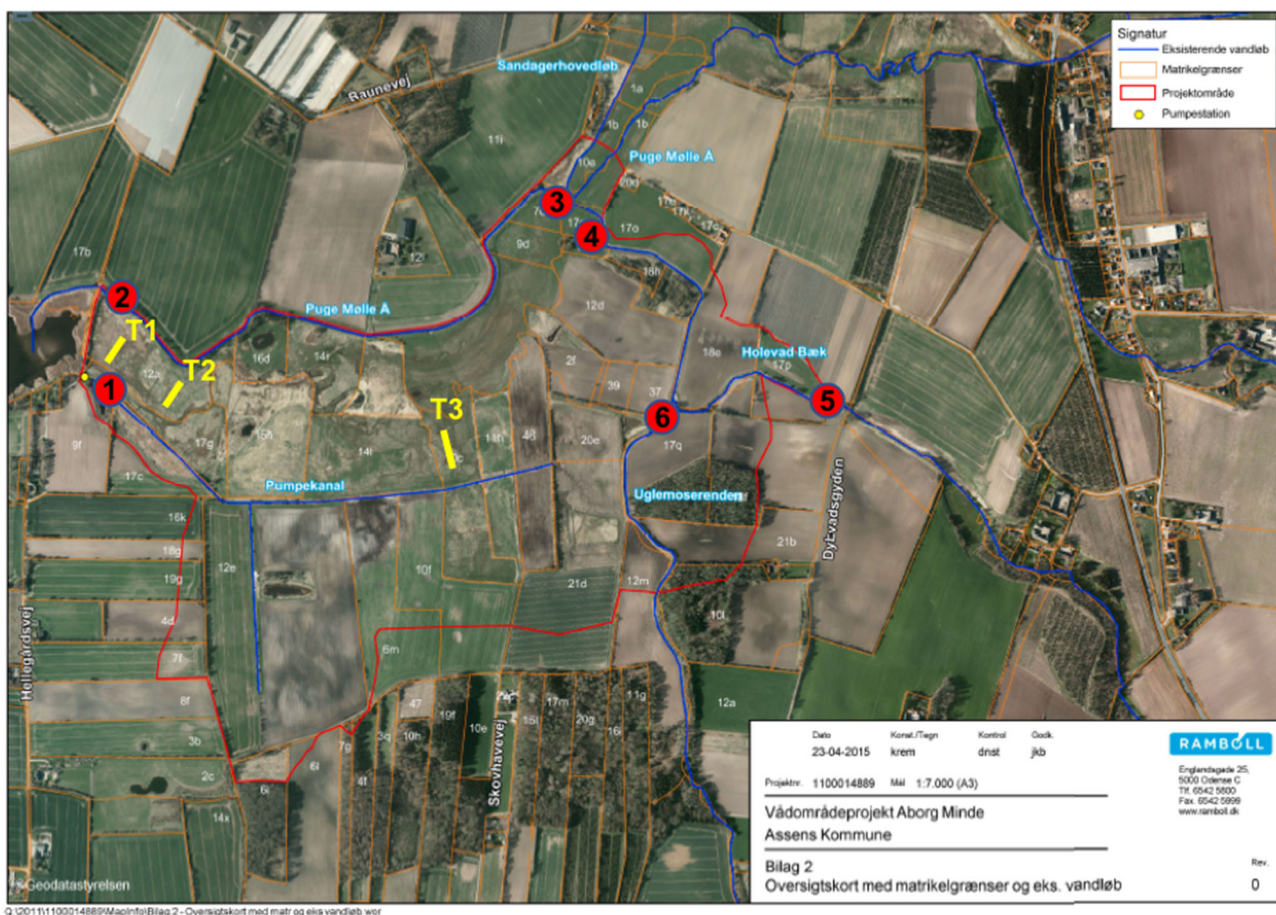
Formålet med denne rapport har været at beskrive og kvantificere udvaskning af kvælstof og fosfor fra et drænet og pumpet lavbundsareal, Aborg Minde, ved Assens på Fyn. Rapporten er en forsættelse af undersøgelserne fra 2018-19 (Hoffmann og Zak, 2019), hvor det første års målinger blev afrapporteret. Denne rapport indeholder resultaterne fra 2 års målinger 2018/19 og 2019/20. En afsluttende rapport med resultater fra alle tre års undersøgelser forventes klar ved udgangen af 2021.

2 Projektområdet og opgaver

AU, Bioscience (Carl Christian Hoffmann og Dominik Zak), besøgte i februar 2018 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. Aborg Minde pumpelag indvilgede i at huse en vandprøvetager ved pumpestationen og indvilgede i at oplyse om pumpe-driften via oplysninger om elforbrug og pumpens løftehøjde.

Måleprogrammet inkluderer automatisk vandprøvetager („Isosampler“) ved pumpestation (= „pumpehus“) med prøvetagning hver 3. time. Desuden tages punktprøver 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).

På baggrund af oplysninger fra pumpelaget om løftehøjde og elforbrug er mængden af udpumpet vand blevet beregnet, og dette har samtidig gjort det muligt at beregne hvor meget kvælstof og fosfor, der pumpes ud af området.



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 markerer transekter 1-3 (T1-T3), hvor der tages jordprøver.

I februar måned 2019 blev der taget i alt 29 jordprøver langs de tre transekter, T1 – T3 (Figur 1). Længs 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 polyethylenposer, 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 (ilt koncentrationer, temperatur, pH og elektrisk ledningsevne) og vandkvalitetsparametre fra alle prøvetagningssteder 1. april 2018 til 30. april 2020 er opsummeret i Tabel 1, 2, og 3. Resultatet af jordbundsanalyserne er vist i Tabel 4, og en mere detaljeret gennemgang gives i nedenstående delafsnit 3.2.3.

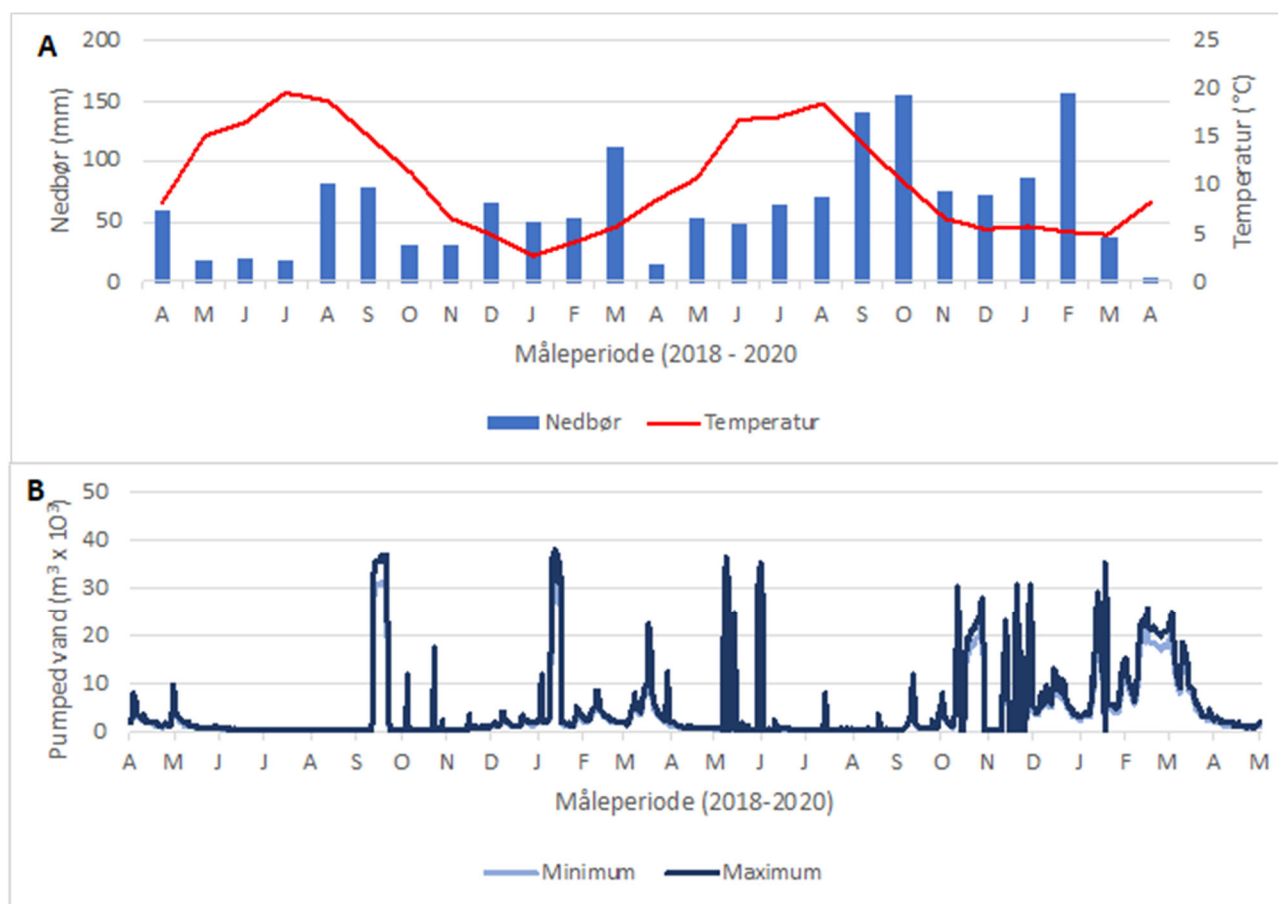
Tabel 1. Månedlig mængde udpumpet vand (m³) fra det drænede vådområde Aborg Minde for perioden 1.april 2018 til 31 april 2020. Udpumpet vandmængde blev beregnet vha. oplysninger om pumpens elforbrug og løftehøjde. Da der er usikkerhed på pumpens effektivitet (alder og slid), er der angivet to værdier, der dækker minimum og maksimum af de beregnede udpumpningsmængder.

Overvågningsperiode	Minimum estimering	Maximum estimering
April 2018	64186	74835
Mai 2018	43626	50864
June 2018	8932	10414
Juli 2018	3744	4365
August 2018	2352	2742
September 2018	303028	353303
Oktober 2018	30786	35893
November 2018	13772	16057
December 2018	50476	58850
Januar 2019	240681	280612
Februar 2019	82194	95830
Mart 2019	160853	187540
April 2019	23267	27128
Mai 2019	165174	192578
June 2019	60312	70318
Juli 2019	14111	16452
August 2019	9130	10645
September 2019	52378	61068
Oktober 2019	333400	388715
November 2019	171274	199690
December 2019	176385	205649
Januar 2020	266663	310905
Februar 2020	445301	519181
Mart 2020	274333	319847
April 2020	38918	45375
Total (x 10⁶; afrundet)	3,0	3,5

3.1 Klima data og pumpet vand

Der var væsentlig forskel i nedbør og temperatur mellem årene 2018 og 2019 (Fig. 2a). Mens 2018 var et ekstremt tørt år med en kold vinter var 2019 mere våd og vinteren varmere. Helt konkret var den samlede nedbørsmængde fra projektets start i april 2018 til udgangen af december 2018 på omkring 400 mm mens den i samme periode i 2019 var på 770 mm. Gennemsnitstemperaturen i vinteren 2018/2019 var 3,9 °C and i vinteren 2019/2020 5,5°C. De 2 mest nedbørsrige måneder var oktober 2019 og februar 2020, hver med mere end 150 mm. De mest nedbørsfattige måneder var sommermånederne i 2018 samt april 2020 med kun 4 mm. Som følge heraf var der både store sæsonmæssige variationer såvel som

variation mellem måleårene i pumpede vandmængder (Fig. 2b) med typiske lave værdier i sommermånederne, der i gennemsnit var ca. 20 gange lavere end i vintermånederne. Den største mængde vand, der blev udpumpet var i februar 2020 med ca. 445.301 m³ og den lavest udpumpede mængde – næsten 200 gange mindre - var i august 2018 med ca. 2352 m³ (Tabel 1).



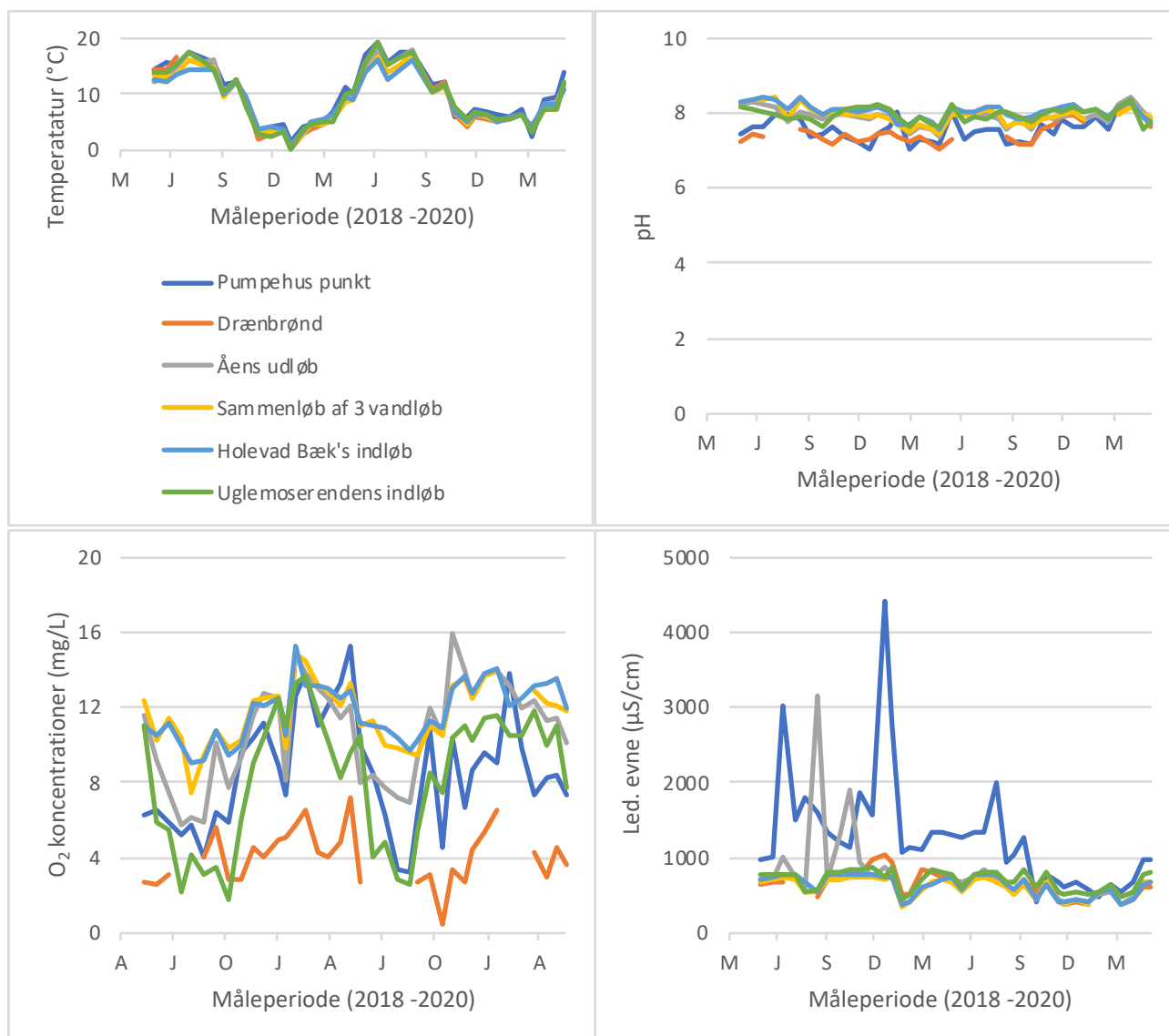
Figur 2. A) Månedlig nedbørsmængde og daglig gennemsnitstemperatur og B) den sæsonmæssige variation i den målte daglige udpumpning af vand fra Aborg Minde i måleperioden 1. april 2018 – 31 april 2020. Pumpet vandmængde er beregnet ud fra pumpens elforbrug og løftehøjde. Da der er usikkerhed på pumpens effektivitet (alder og slid), er der angivet to værdier, der dækker minimum og maksimum af de beregnede udpumpningsmængder.

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. De laveste pH værdier 6.7 og 6.9, altså tæt på neutral, blev målt ved “Pumpehus” og ved “Drænbrønd” var pH i gennemsnit 0,5 pH enheder lavere end i vandløbene (Tabel 2). Overordnet set var der kun mindre variationer i pH, der var lidt højere i sommermånederne (Fig. 3). 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mens den gennemsnitlige ledningsevne var ca. to gange højere ved “Pumpehus” og med en maksimum værdi 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 – april 2020

Tabel 2. Beregnede gennemsnit for de fysisk-kemiske parametre fra de seks prøvetagningssteder ved Aborg minde i måleperioden april 2018 and april 2019 (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.

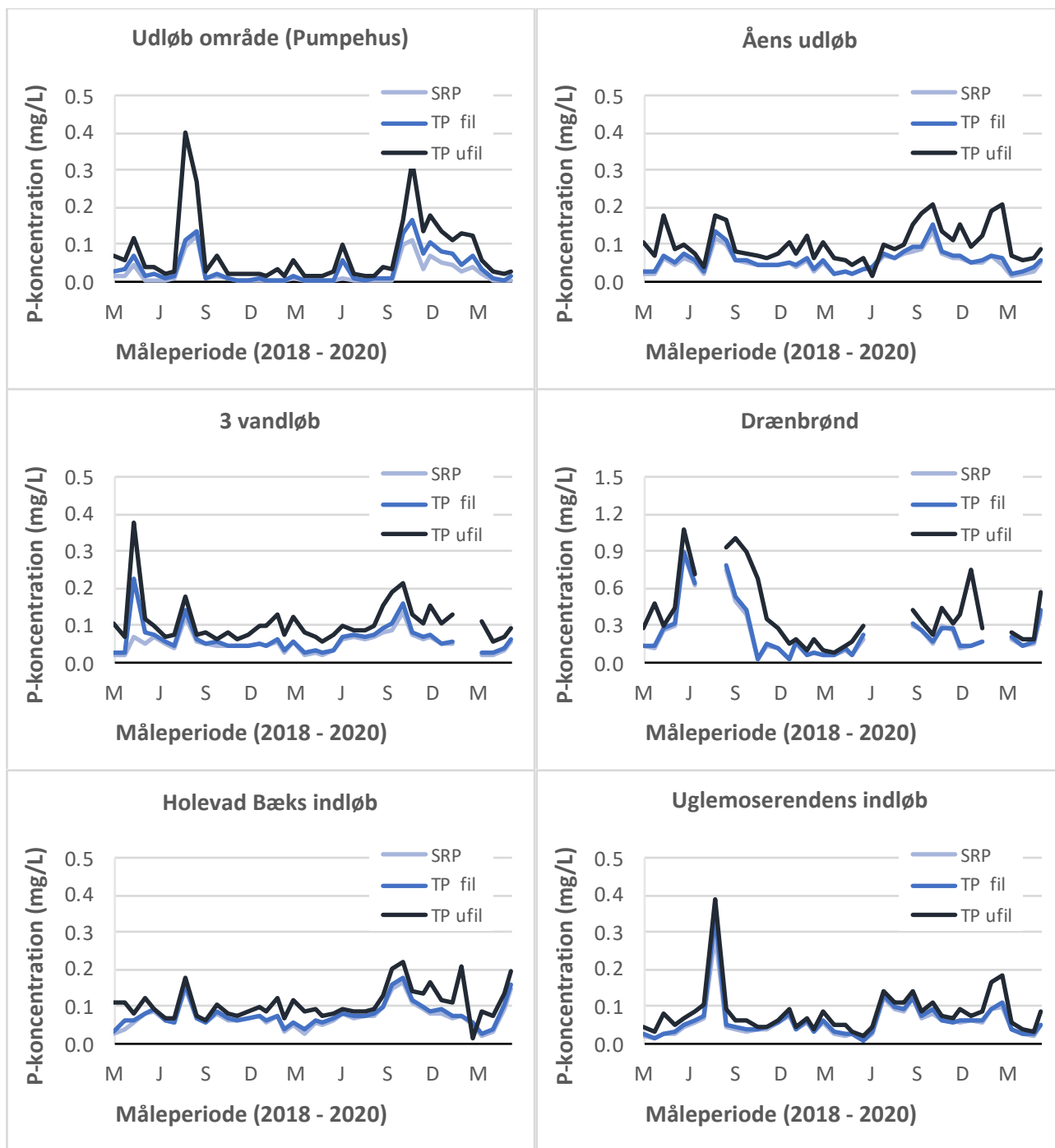
	Pumpehus	Åens udløb i Aborg-minde Nor	Sammenløb 3 vandløb	Hølevad Bæks indløb	Uglemøse-rendens indløb	Drænbrønd
O ₂ (mg/L)	8,6 3,3-15,2	10,7 5,8-15,9	11,7 7,4-14,8	11,8 9,1-15,2	8,4 1,8-13,7	4,2 0,5-7,5
T (°C)	10,1 1,5-19,0	9,5 0,9-17,6	9,3 0,8-17,2	9,1 1,4-16,2	9,5 0,2-19,3	8,2 0,5-16,4
pH	7,5 6,7-8,3	7,9 7,4-8,4	7,9 7,4-8,4	8,0 7,6-8,4	8,0 7,6-8,4	7,5 6,9-8,2
Le (μS/cm)	1284 427-4402	746 369-3165	611 363-758	629 375-780	703 459-869	644 374-1054

Tabel 3. Beregnede gennemsnit for de målte vandkvalitetsparametre fra de seks prøvetagningssteder ved Aborg minde i den samlede måleperiode fra april 2018 til april 2020 (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	Sammenløb 3	Holevad Bæks	Uglemose-rendens	Drænbrønd
		Minde Nor	vandløb	indløb	indløb	
NH ₄ ⁺ -N	0,20	0,04	0,04	0,03	0,05	0,40
	0,01-0,90	0,00-0,15	0,00-0,15	0,00-0,24	0,00-0,16	0,05-1,12
NO ₃ ⁻ -N	3,79	5,72	5,83	6,73	7,58	0,47
	0,06-10,89	2,83-12,29	3,46-12,26	4,78-12,27	4,24-13,21	0,01-3,10
TN	5,4	6,3	6,4	7,4	7,6	2,2
	1,2-12,5	1,2-13,8	4,4-13,6	5,3-13,9	4,2-14,5	0,8-5,2
SRP	0,028	0,053	0,054	0,074	0,059	0,232
	0,001-0,195	0,015-0,134	0,021-0,137	0,022-0,168	0,010-0,293	0,022-0,877
TDP	0,044	0,059	0,064	0,080	0,064	0,244
	0,003-0,288	0,023—0,156	0,026-0,224	0,029-0,180	0,012-0,347	0,024-0,901
TP	0,044	0,103	0,108	0,109	0,084	0,440
	0,003-0,288	0,016-0,211	0,057-0,374	0,014-0,223	0,023-0,387	0,092-1,070
TOC	22,1	11,6	11,0	8,0	6,8	15,3
	7,8-86,6	4,1-62,1	3,9-58,3	2,9-57,7	2,8-64,3	8,3-59,6
SO ₄ ²⁻	272,8	56	46	41	48	109
	44,6-944	24-249	28-69	23-61	31-59	36-256
Susp.	12,0	10,5	9,7	8,5	5,1	20,6
	1,9-109	1,6-51,6	1,4-37,6	1,0-28,8	1,4-20,8	1,0-117,6
Minf.	6,6	7,9	7,1	6,1	3,4	12,1
	1,3-40,0	0,1-46,0	1,1-30,0	0,6-22,4	0,1-16,6	0,4-74,7

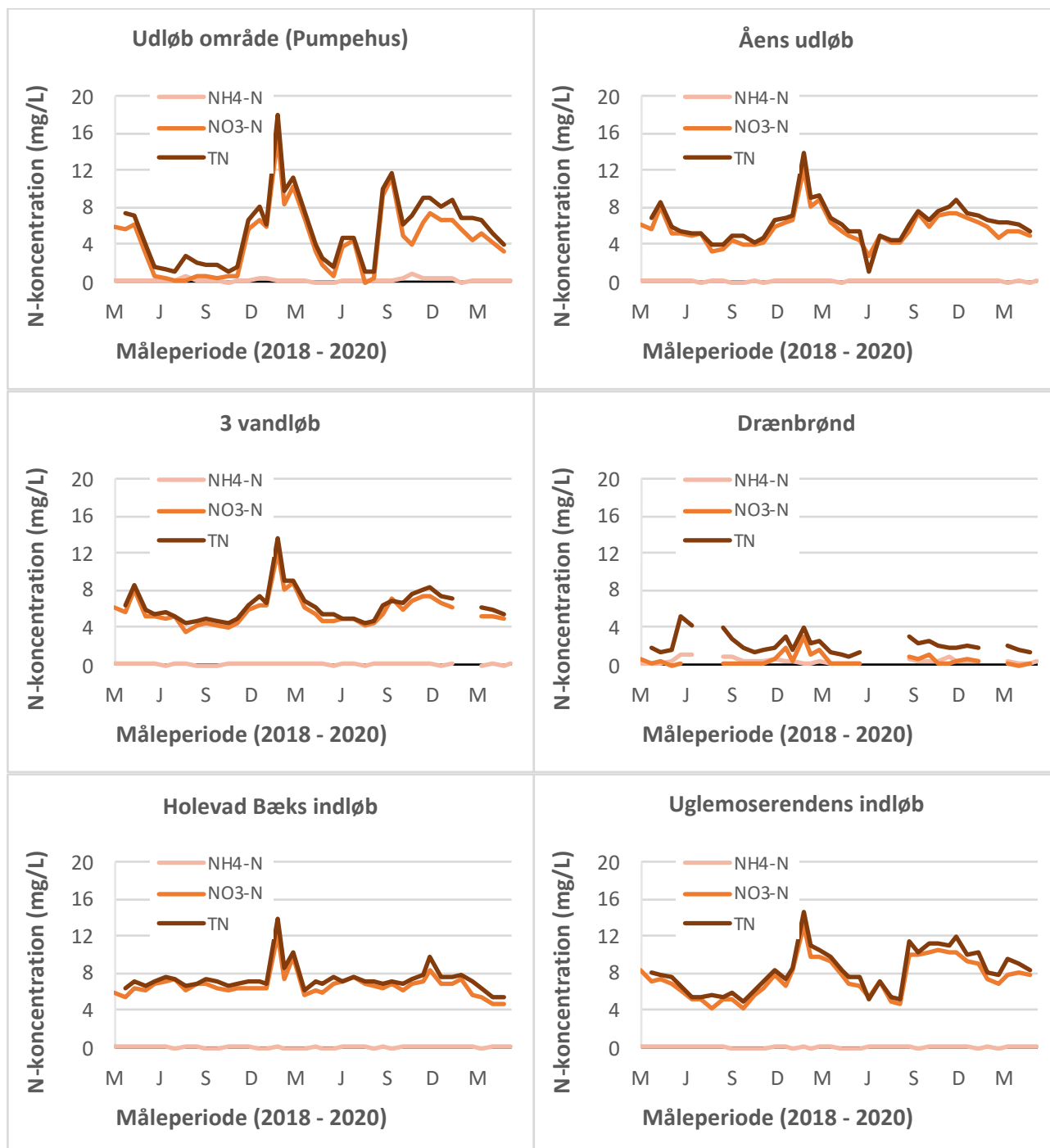
3.2.2 Næringsstoffkoncentrationer

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 drænedes areal ("Drænbrønd"). Der er tydelig sæsonvariation med lave fosforkoncentrationer i vinterperioden og lavere nitratkoncentrationer i sommermånederne, gældende for alle prøvetagningsstederne i 2018. I 2019 skete der en markant stigning i fosforkoncentrationerne (Fig. 4) på alle stationer i september og oktober, som samtidig var de måneder med højest nedbør (Fig. 2A). Fosforkoncentrationerne på pumpestationen faldt gradvist fra efteråret 2019 og frem til april 2020 (Fig. 4). Overordnet set var de gennemsnitlige fosforkoncentrationer 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) (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 marts 2018 – april 2020. Bemærk "Drænbrønd" tørrede både ud i sommeren 2018 og 2019. Bemærk også at Y-aksen på "Drænbrønd" går til 1,5 mg P/l.

Både nitrat- og total kvælstofkoncentrationerne (TN) viste store sæsonmæssige udsving, typisk med de højeste koncentrationer i vintermånederne, som lå over 10 mg N/L dog med undtagelse af "Drænbrønd" hvor koncentrationerne med en enkelt undtagelse ikke var højere end 4 mg N/L (Fig. 5). De laveste nitratkoncentrationer blev målt ved "Drænbrønd", 0,01 mg N/l, og ved "Pumpehuset", 0,1 mg N/L. Nitrat udgjorde 80 – 90 % af den totale kvælstofkoncentration ved alle prøvetagningssteder på nær "Drænbrønd" hvor nitrat kun udgjorde 20 % af TN. Ammoniumkoncentrationerne ved alle prøvetagningssteder var lavere end 0,5 mg N/L, dog havde "Drænbrønd" 3-10 gange højere ammoniumkoncentrationer end de øvrige (Tabel 3).

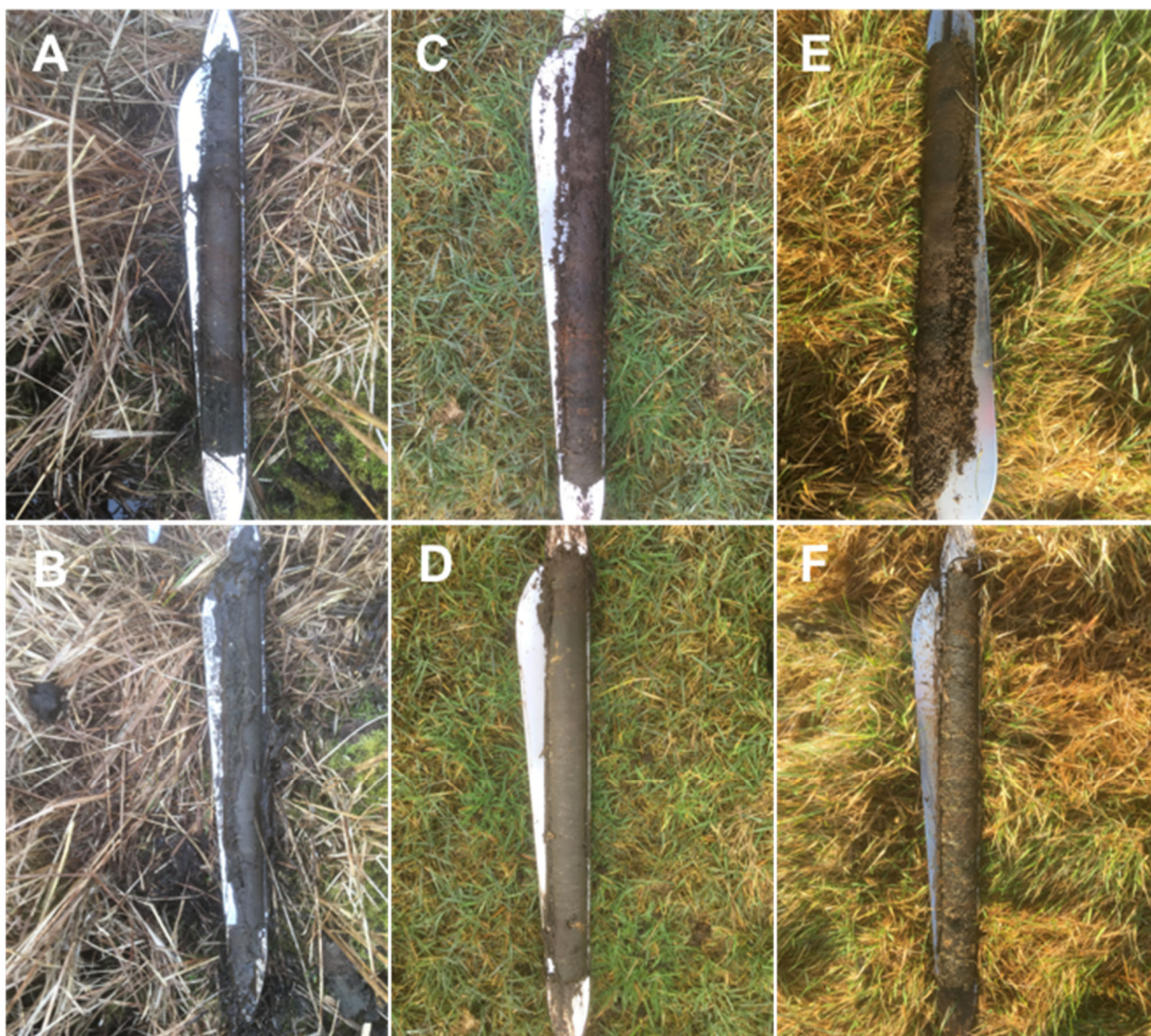


Figur 5. Målte koncentrationer af: $\text{NH}_4\text{-N}$ (ammonium), $\text{NO}_3\text{-N}$ (nitrat), TN (total kvælstof) i vandprøver fra de seks prøvetagningssteder ved Aborg Minde i perioden marts 2018 – april 2020. Bemærk “Drænbrønd” tørrede ud i sommeren 2018 og 2019.

3.2.3 Jordkarakteristika

Jordbundskarakteristika var forskellige langs de tre transekter (Fig. 1), hvorfra der blev udtaget jordkerner. Tørvelagets tykkelse var kun nogle få cm i det første transekt (T1). Herunder lå sorte marine sedimenter, som formodentlig indeholdt jernsulfider (Fig. 6 a, b). I det midterste transekt, T2, var tørvelaget ca. 50 cm tykt, hvorunder der lå brunlige sedimenter med højt indhold af skaller (Fig. 6 c, d). I det sidste transekt, T3, bestod hele profilet ned til 1 meters dybde af tørv (Fig. 6 e, f). Helt generelt var den overfladenære tørv stærkt nedbrudt. I transekt 3 var tørv mindre nedbrudt under overfladen og havde et organisk indhold på mere end 60 % (Tabel 4, Fig. 6 f). Indholdet af total jern, 9 – 27

mg Fe/g tørvægt, varierede mindre mellem jordprøverne end indholdet af reducerbart jern (BD-Fe), som varierede fra 0.4–10.3 mg Fe/g tørvægt (Tabel 4). Interessant nok var mængden af reduktant opløselig fosfor meget ens i alle jordprøverne, da det kun varierede mellem 0.018 og 0.077 mg P/g tørvægt. Denne fraktion, som potentielt kan mobiliseres under vandmættede forhold, udgjorde kun 7 % af den totale P pulje i jorden, mens fraktionen bestående af løst adsorberet fosfor udgjorde mindre end 1 % i hovedparten af jordprøverne. Det molære forhold mellem total jern og total fosfor (TFe/TP) varierede mellem 10 og 18, mens de molære forhold i den redox følsomme fraktion (BD-Fe/BD-P) varierede fra 11 og helt op til 96 (Tabel 4).



Figur 6. Billeder af jordkerner taget i de tre transekter, T1 – T3, i dybderne 0 – 50 cm (A, C, E) og 50 – 100 cm (B, D, F).

Tabel 4. Jordkarakteristika fra de 3 transekter T1, T2 og T3 (Fig. 1), hvor der i februar 2019 er udtaget jordprøver i to dybder 0-50 og 50-100 cm. De viste værdier er gennemsnit af 5 replica (N=5) og koncentrationerne er i gram tørstof. OM: organisk stof, DBD: volumenvægt; TFe: total jern, TP: total fosfor, BD-Fe: dithionite ekstraherbar jern, BD-P: dithionite ekstraherbar fosfor, WS-SRP: vand ekstraherbar opløst reaktivt fosfor, TDP: total opløst fosfor, og molære forhold TFe/TP og BD-Fe/BD-P.

TS	Dybde cm	OM %	DBD g/cm ³	TFe mg/g	BD-Fe mg/g	TP mg/g	WS-SRP mg/g	WS-TDP mg/g	BD-P mg/g	TFe/TP molratio	BD-Fe/BD-P molratio	BD-P g/m ³
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

3.3 Eksport af næringsstoffer og andre stoffer til fjorden

Der er kun beregnet vandtransport for ”Pumpehus” dvs. udpumpet vandmængde fra det dræned og pumpede areal Aborg Minde via pumpestationen. Vandmængden er beregnet på baggrund af information om pumpens elforbrug (indhentet på dagsbasis via elskabet) 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 70 % af den udpumpede kvælstofmængde. I det første måleår – 1. april 2018 til 31. marts 2019 skete den største udpumpning af vand og kvælstof i perioden januar 2019 til og med marts 2019 (Tabel 5), idet det både vandmængden og kvælstofkoncentrationen var højest. I denne periode blev 75 % af den samlede kvælstofmængde udpumpet.

I det andet måleår var vand- og stoftransporten via pumpestationen generelt set noget højere. Eksporten af kvælstof steg med en faktor 10 i september og oktober 2019 og forblev høj i de efterfølgende måneder indtil marts 2020, som også var den periode med højest nedbør. I løbet af denne 7 måneders periode oversteg kvælstoftransporten de foregående 17 måneders eksport med en faktor 2. Den høje kvælstofeksport kan ikke alene forklares med en højere udpumpet vandmængde (denne faktor var 1.2), men må også forklares med en højere N koncentration i denne periode sammenlignet perioden før (Fig. 5). Mængden af ammonium der blev udpumpet udgjorde 5 % af den totale mængde. Mens nitrit ikke blev kvantificeret da koncentrationen i store dele af måleperioden var under detektionsgrænsen (<0,001 mg N/l).

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. Dette medfører således, at mængderne er mere ligeligt fordelt over månederne frem til oktober 2019, hvor der sker en markant stigning i udpumpningen af alle P fraktionerne.

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 (Tabel 5). 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. I september 2018 sås en høj udpumpning af TOC på 4.8 tons C, men den blev overgået i oktober 2019 hvor den månedlige udpumpning af TOC var 6 gange højere, og blev på 28.9 tons C. Eksporten af TOC faldt kun langsom til 4.9 tons C i marts 2020 (Tabel 5). Endelig bør det bemærkes, at den samlede udpumpning af TOC i løbet af den toårige prøvetagningsperiode var på 91.3 tons, og at den samlede udpumpning af sulfat var på 729 tons.

Tabel 5. Månedlige stoftransporter fra pumpestationen pumpet ud i Aborg Minde Nor i perioden 1. april 2018 til 31. marts 2020 (se Fig. 1 for beliggenhed af "Pumpehus"). Til stoftransportberegningen er anvendt puljede prøver fra ISCO prøvetageren, og vandmængden er gennemsnittet af minimums- og maksimumsværdierne (se Fig. 2). Månedstransporterne er angivet i kg og totalerne i tons 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.) and the minerogen fraktion af the Susp. (Minf.).

	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	TN	SRP	TDP	TP	TOC	SO_4^{2-}	Susp.	Minf.
Apr 18	6	367	453	1,18	3,71	8,42	1173	6471	625	335
Maj 18	3	210	253	0,57	1,78	4,64	829	4200	439	257
Jun 18	0,9	8	18	0,06	0,13	0,29	405	1168	33	18
Jul 18	0,7	1	6	0,19	0,23	0,33	292	802	13	7
Aug 18	1,2	0	6	0,40	0,46	0,82	91	1314	23	12
Sep 18	143	20	759	7,91	14,14	64,64	4807	150045	4196	2492
Okt 18	6	8	58	0,88	1,08	2,22	263	25983	226	146
Nov 18	3	10	36	0,09	0,15	1,70	135	12122	278	175
Dec 18	10	264	317	0,22	0,39	2,79	596	25287	732	510
Jan 19	96	1644	1951	0,34	1,76	8,09	3100	137640	2072	1403
Feb 19	23	884	1041	0,18	0,52	2,52	936	33045	839	560
Mar 19	31	1687	1822	0,59	0,94	6,94	2481	47204	2390	1481
Apr 19	1	172	191	0,06	0,09	0,49	299	5305	91	69
Maj 19	9	385	538	0,43	0,59	3,07	1628	32603	809	502
Jun 19	5	78	143	0,25	0,31	1,44	628	14996	322	189
Jul 19	1	14	28	0,12	0,18	0,53	179	3647	74	45
Aug 19	1	7	17	0,09	0,15	0,36	114	1765	26	17
Sep 19	3	266	290	0,44	0,97	2,06	702	13348	259	158
Okt 19	198	404	3096	47,58	74,08	252,39	28883	65807	38332	14112
Nov 19	155	526	1809	29,72	50,72	121,79	15887	33034	12362	5910
Dec 19	83	1292	1705	10,26	18,55	38,79	5934	26096	3986	2473
Jan 20	87	1937	2629	13,60	22,27	39,42	6779	30527	3539	2189
Feb 20	63	2740	3467	18,49	29,02	61,03	9702	33773	5259	3499
Mar 20	24	1527	2028	6,66	12,32	24,78	4872	18225	1889	915
Apr 20	1	195	234	0,35	0,65	1,82	627	4614	175	94
Total i tons	1,0	14,6	22,9	0,1	0,2	0,7	91	729	79	38

Sammenligner man de to måleår 1. april 2018 – 31. marts 2019 og 1. april 2019 – 31. marts 2020 ses en fordobling af den udpumpede vandmængde samt en markant større udpumpning af alle stoffer på nær sulfat, som går markant ned formentlig på grund af markant lavere pyritoxidation. Tabet af total kvælstof, TN, mere end fordobles til 15.9 tons N og tabet af total fosfor, TP, femdobles til 0.55 tons P (Tabel 6). Det høje tab af suspenderet stof i andet måleår på 66.9 tons kan især tilskrives meget høje og intensive nedbørshændelser i oktober – november 2019 (Fig. 2A).

Tabel 6. Udpumpede vand- og stofmængder i første måleår 1. april 2018 – 31. marts 2019 og andet måleår 1. april 2019 -31. marts 2020. Enheder m³ vand x 10⁶ og stofmængder i tons

Måleår	Vand	NH₄⁺-N	NO₃⁻-N	TN	SRP	TDP	TP	TOC	SO₄²⁻	Susp.	Minf.
April 2018 marts 2019	1,2	0,33	5,3	6,9	0,01	0,03	0,10	15,4	451	12,0	7,5
April 2019 marts 2020	2,2	0,63	9,3	15,9	0,13	0,21	0,55	75,6	279	66,9	30,1

4 Diskussion og konklusion

De gennemsnitlige næringsstofkoncentrationer ved pumpestationen – både N og P – var lavere end sammenlignet med den nærliggende Puge Mølle Å ("Åens udløb"), der ligeledes strømmer ud i Aborg Minde Nor. I Puge Mølle Å var den gennemsnitlige nitratkoncentration 1.5 gange højere og den gennemsnitlige fosfatkoncentration 1.9 gange højere sammenlignet med pumpestationen ("pumpehus"; 3,79 vs. 5,72 mg N/L and 0,028 vs. 0,053 mg P/L). Det bør dog tilføjes, at nitratkoncentrationen ved pumpehuset var højere både i vinterhalvåret 2018/2019 og 2019/2020, mens TP var højest i pumpehuset i sommerperioden, men også i oktober 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. Det kan diskuteres om området tilbageholder eller frigiver fosfor og kvælstof. Hvis man beregner den gennemsnitlige daglige mængde nedbør, fordampning og udpumpning, kan den gennemsnitlige daglige mængde vand, der strømmer ind i området opgøres til 4300 m³. Hovedparten af det vand, der strømmer ind i området, er grundvand, og de næringsstoffer der følger med vil være på opløst form. Hvis man antager at fosfatkoncentrationen i det indstrømmende vand er 50 µg P/L og nitratkoncentrationen er 5 mg N/L, så har det pumpede areal i hele undersøgelsesperioden tilbageholdt 0.02 ton opløst P og 2.0 tons nitrat-N. Imidlertid har der samtidig været et tab af både partikulært fosfor og partikulært kvælstof fra det pumpede areal. Ovenstående beregning skal tages med forbehold, da der både er usikkerheder mht. vandbalancen, næringsstofkoncentrationerne og ændringer i vandvolumen på det pumpede areal. 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 drænede del af jordprofilen. Disse betragtninger 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, som tydelige jernudfældninger, hvor der forekom overfladestrømning (Fig. 7). I øvrigt fremgår det af forundersøgelsen fra Aborg Minde, at topjorden er meget jernrig og at Fe:P ratioerne er rimelig høje, i gennemsnit over 10 (se tabel 4 samt 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. 7) 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 7 og dels kunne der måles usædvanlig høje sulfatkoncentrationer på op til 944 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 4). 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-sensitiv jern(III) forbindelser indeholdende fosfor 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, 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., 2020).

Figur 7. Jern(III)-hydroxider, også kaldet okker, udfældet på overfladen af den drænedet tørveflade ved Aborg Minde.



5 Litteratur

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
<http://dce2.au.dk/pub/SR326.pdf>

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.

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. https://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)

FORTSATTE UNDERSØGELSER AF TAB AF NÆRINGSSTOFFER FRA PUMPELAGET VED ABORG MINDE NOR I ASSENS KOMMUNE PÅ VESTFYN 2018-2020

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 april 2020 pumpes ud til recipienten, Aborg Minde Nor.