ANALYSE AF TIDSFORSINKELSE I OPLANDET TIL THISTED BREDNING

Leverance til Kystvandråd for Thisted Bredning

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 376 2026

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

ANALYSE AF TIDSFORSINKELSE I OPLANDET TIL THISTED BREDNING

Leverance til Kystvandråd for Thisted Bredning

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 376 2026

Jørgen Windolf
Rasmus Rumph Frederiksen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Rådgivningsrapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 376
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Analyse af tidsforsinkelse i oplandet til Thisted Bredning
Undertitel:	Leverance til Kystvandråd for Thisted Bredning
Forfattere:	Jørgen Windolf, Rasmus Rumph Frederiksen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	https://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Marts 2026
Redaktion afsluttet:	16. marts 2026
Faglig kommentering:	Brian Kronvang
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Ekstern kommentering:	Thisted kommune, Morsø kommune og Limfjordsrådet har haft mulighed for at kommentere på rapporten før udgivelse. Kommentarerne kan findes her
Finansiel støtte:	Arbejdet er finansieret af Kystvandrådet for Thisted Bredning via Thisted kommune
Bedes citeret:	Windolf J, Frederiksen RR, 2026. Analyse af tidsforsinkelse i oplandet til Thisted Bredning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 17 s. - Teknisk rapport nr. 376
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning:	Rapporten giver en analyse af tidsforsinkelser i transporten af kvælstof fra opland til kystvand for vandløbsoplandet til Storå ved Bromølle. Analysen viser, at der forekommer længere tidsforsinkelser (over 10 år) i oplandet. Der er således en resteffekt af tidligere indsatser som følge af disse tidsforsinkelser, hvilket for oplandet til Bromølle-målestationen svarer til 59 tons kvælstof.

Emneord:	Kvælstof, oplandsanalyse, tidsforsinkelse
Foto forside:	Colourbox, Thisted Bredning
ISBN:	978-87-7648-043-1
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	17

Indhold

Forord **5**

Sammenfatning **6**

Summary **7**

1 Baggrund **8**

2 Datagrundlag **9**

3 Etablering af lange tidsserier **12**

3.1 Rodzonekoncentration 12

3.2 Vandløbskoncentration 13

4 Fremtidig udvikling i vandløbskoncentration **15**

5 Referencer **17**

Forord

Denne rapport afrapporterer en række oplandsanalyser, der udføres af DCE, AU, for Kystvandråd for Thisted Bredning. Dette er "Delprojekt 2: Analyse af tidsforsinkelser i oplandet". De to andre delprojekter rapporteres separat.

Rapporten omfatter resultaterne af den del af projektet, der beskriver tidsforsinkelsen mellem den kvælstofudvaskning der sker fra rodzonen og til kvælstoffet transporteres til Thisted Bredning.

Kystvandrådet ved Thisted kommune og Morsø kommune samt Limfjordsrådet har haft mulighed for at kommentere på rapporten og har fremsendt enkelte kommentarer. Der har været afholdt et afklarende møde med kystvandrådet og Limfjordsrådet.

Sammenfatning

Denne rapport giver en analyse af tidsforsinkelser i transporten af kvælstof fra opland til kystvand for oplandet til Storå ved Bromølle. Analysen viser, at der forekommer længere tidsforsinkelser (over 10 år) i oplandet. Der er således en resteffekt af tidligere indsatser som følge af disse tidsforsinkelser, som estimeres til 59 tons kvælstof.

Summary

This report provides an analysis of time lags in the transport of nitrogen from the catchment to coastal waters for the catchment area of Storå near Bromølle. The analysis shows that longer time lags (over 10 years) occur within the catchment. Consequently, there is a residual effect of previous measures due to these time lags, which is estimated at 59 tonnes of nitrogen.

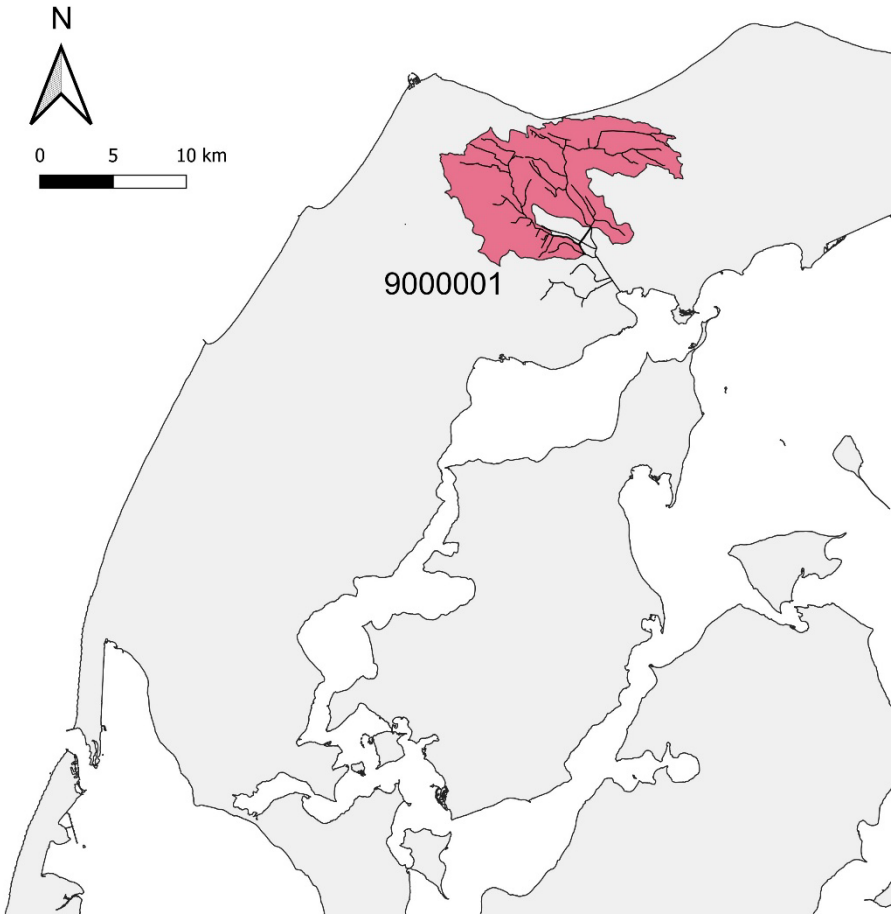
1 Baggrund

I forbindelse med arbejdet under kystvandrådet for Thisted Bredning er DCE ved Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet blevet indbudt til at udføre en række oplandsanalyser. Projektet er opdelt i tre delprojekter, delprojekt 1 vurderer muligheder for reduktion i fosforbelastning af fjorden baseret på en detaljeret kortlægning af fosfortab via forskellige transportveje kombineret med en række virkemidler. Delprojekt 2 omfatter en analyse af tidsforsinkelsen fra kvælstof udvaskes fra rodzonen og til det tabes til fjorden. Delprojekt 3 omfatter en analyse af næringsstofbidraget og ferskvandsafstrømningen til Thisted Bredning.

Denne rapport leveres til Kystvandrådet for Thisted Bredning.

2 Datagrundlag

For at analysere tidsforsinkelsen mellem nitratudvaskning fra rodzonen og transporten af total kvælstof til fjorden er det nødvendigt at have en lang sammenhængende tidsserie for oplandet. En sådan tidsserie findes kun for én station i oplandet til Thisted Bredning: Storå ved Bromølle (ODA-nummer: 9000001, Figur 2.1,).



Figur 2.1. Oplandet til Storå ved Bromølle (oda nr 9000001) i oplandet til Thisted Bredning.

Oplandet til Bromølle stationen i Storåen udgør en lille del af det samlede opland til Thisted Bredning (17 %, 96 km^2 ud af 552 km^2), og det dyrkede areal indenfor Bromølle oplandet udgør en endnu mindre andel (14 %, 53 km^2 ud af 374 km^2) af det samlede dyrkede areal til bredningen.

For Storå ved Bromølle foreligger der 12-20 årlige målinger af kvælstofkoncentrationer for perioden 1984-2023. Desuden er der døgnvandføringsværdier for samme periode. Dog eksisterer der ikke tilstrækkelige målinger for år 2022 til at beregne en årlig vand- og stoftransport. Dette år skiftedes til en anden metode for måling af vandafstrømning, samtidig med at stationens placering blev ændret en smule. Altså findes der sammenlignelige data for perioden 1984-2021.

Det bemærkes, at analysen af tidsforsinkelse foretages på vandføringsvægtede koncentrationer af total kvælstof i vandløb beregnet ud fra måledata for agro-hydrologiske år. Et agro-hydrologisk år løber fra d. 1. april til d. 31. marts året efter. Analysen omfatter alene den del af kvælstoftransporten, der stammer fra diffuse kilder. Eventuelle kendte bidrag fra en række punktkilder

(byspildevand, industri, dambrug m.m.) er altså fratrukket de målte total kvælstof koncentrationer og transporter.

Vandløbsdata for Storå ved Bromølle er nærmere beskrevet i den selvstændige DCE-rapport "Tilførsel af vand og næringsstoffer til Thisted Bredning". Dataene er desuden tilgængelige i ODA-databasen, hvor NOVANA-overvågningsdata opbevares og data kan downloades fra.

Der findes også data for den årlige perkolation af vand ud af rodzonen beregnet med DAISY samt den årlige nitratudvaskning beregnet med NLES5. Yderligere information om beregningsmetoderne kan findes i Børgesen m.fl. (2019). Disse data stammer fra den forrige version af den nationale kvælstofmodel (Højberg et al., 2021). Data fra den seneste version af NLES5 var ikke teknisk tilgængelige i forbindelse med dette projekt. Perkolation af vand (mm $år^{-1}$) og nitratudvaskning fra rodzonen (kg N ha^{-1} $år^{-1}$) er desuden anvendt til at beregne en tidsserie for den årlige perkolationsvægtede nitratkoncentration i rodzonen (mg N l^{-1}). Alle tre tidsserier foreligger for agro-hydrologiske år i perioden 1990/91 til 2017/18.

Der er desuden anvendt oplysninger om kvælstofoverskuddet i dansk landbrug til at etablere en lang tidsserie for den perkolationsvægtede rodzonekoncentration af nitrat. Der anvendes data om den beregnede nationale markbalance for kvælstof samt publicerede erhvervsbalancer. Sidstnævnte tidsserie for kvælstofoverskuddet, der dækker perioden 1900-2018, er sammensat på baggrund af Kyllingsbæk (2008), Vinther og Olsen (2013) samt Vinther m.fl. (2020). Overskuddet er opgjort som en national bedriftsbalance, hvilket betyder, at den beregnes som forskellen mellem tilførte og fraførte kvælstofmængder for den samlede landbrugssektor i landet. Tiltag på markniveau, der reducerer næringsstofudledning – såsom øget brug af efterafgrøder, nedfældning af gylle eller etablering af randzoner – påvirker derfor ikke bedriftsbalancen. For yderligere detaljer om beregningen henvises til Kyllingsbæk (2008).

De anvendte nationale markbalancer kan findes i Blicher-Mathiesen m.fl. (2024). Balancerne er opgjort siden 1990. Markbalancerne opgøres som balancer på markniveau og afviger således lidt fra de anvendte nationale.

Markbalancerne (1000 ton N) er dog relateret til den nationale bedriftsbalance (1000 ton N), idet der kan etableres følgende sammenhæng:

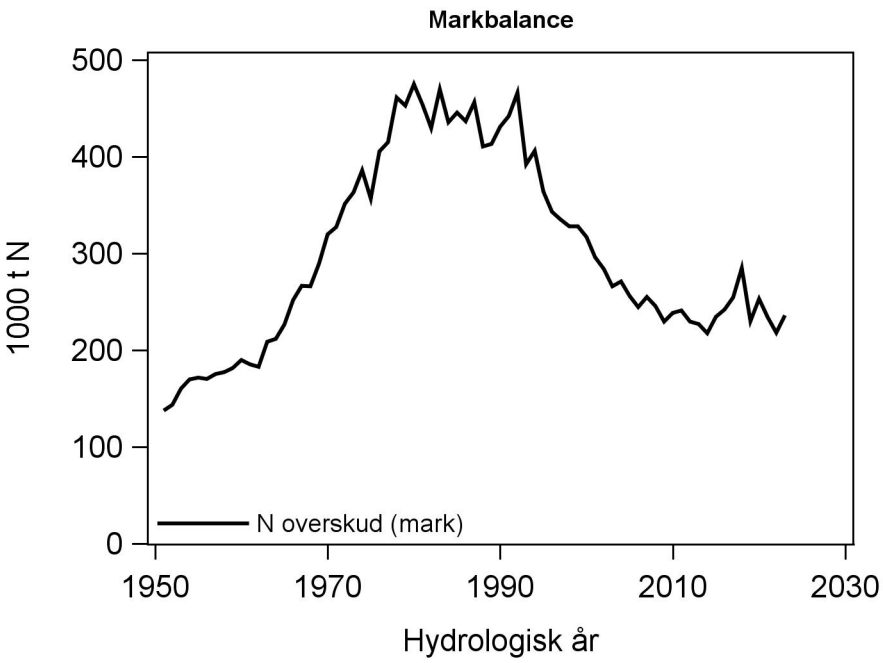
$$Markbalance = 0{,}928 * Bedriftsbalance - 5{,}94 \quad (1)$$

$R^2 = 0{,}95;\ p < 0{,}00001.$

Der kan således etableres en lang tidsserie for markbalancen også for år før 1990. Den sammenstykkede balance er vist i Figur 2.2.

Denne tidsserie giver mulighed for at analysere langsigtede ændringer i kvælstofoverskuddet og er central for at forstå udviklingen i rodzonekoncentrationer over mere end et århundrede. Den anvendes som grundlag for at vurdere effekten af historiske ændringer i landbrugspraksis og politiske tiltag på kvælstofudvaskningen.

Figur 2.2. Kvælstofoverskud i dansk landbrug beregnet som markbalance. Data fra før 1990 er beregnet ud fra relation mellem national mark- og bedriftsbalance.



3 Etablering af lange tidsserier

3.1 Rodzonekoncentration

En lang tidsserie for rodzonekoncentration er etableret ved at udnytte tidsserien for kvælstofoverskuddet i dansk landbrug. Dette gøres ved at opstille en oplandsspecifik lineær sammenhæng mellem national markbalance ($N_{markbalance}$, 1000 ton N) og nitratkoncentration i rodzonen (C_{rod}, mg N/l), som beskrevet i følgende formel gældende for oplandet til Storåen ved Bromølle:

$$C_{rod} = 0{,}0276 * markbalance + 1{,}50 \qquad (2)$$

$R^2 = 0{,}69;\ p < 0{,}00001.$

Denne relation gør det muligt at estimere rodzonekoncentrationen for år, hvor der ikke foreligger modelberegninger med den nationale udvaskningsmodel (NLES5). Det vil sige, at C_{rod} kommer fra NLES5 modellen for de år hvor man har NLES5 beregninger, mens C_{rod} kommer fra formlen for de år hvor man ikke har NLES5 beregninger.

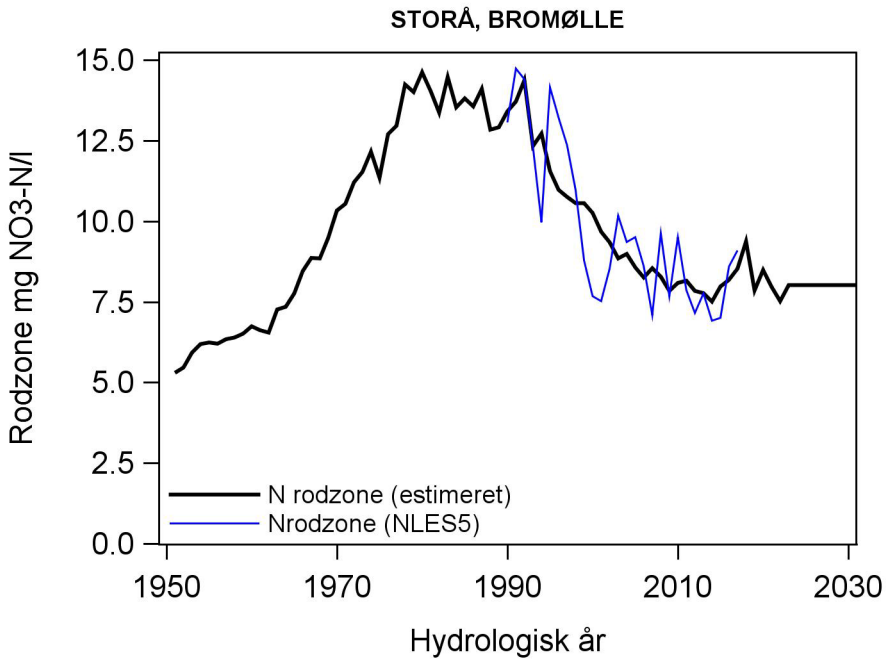
Metoden giver således et vigtigt historisk perspektiv, da den kombinerer modelberegninger og landbrugsstatistik for at udfylde datamangler. Det er særligt relevant for analyser af langsigtede trends i kvælstofbelastning og vurdering af effekten af ændringer i landbrugspraksis.

Figur 3.1 viser den estimerede rodzonekoncentration af nitrat-kvælstof for Storå ved Bromølle for perioden 1950-2023, sammen med den perkolationsvægtede udvaskning baseret på DAISY- og NLES5-modeldata (kun data fra 1990-2017).

Figur 3.1 viser, at udvaskningen af nitrat-kvælstof fra markerne steg markant fra 1950'erne og frem til 1980'erne, hvorefter der ses et tydeligt fald. I de seneste 10-20 år har niveauet været relativt stabilt uden væsentlige ændringer.

Denne udvikling afspejler både intensiveringen af landbruget i midten af det 20. århundrede og de efterfølgende miljøtiltag, der blev indført fra 1980'erne for at reducere kvælstofudvaskningen. Stabiliseringen i de seneste år indikerer, at yderligere reduktioner kræver nye strategier eller teknologiske løsninger, da de eksisterende tiltag har opnået deres fulde effekt.

Figur 3.1. Estimeret perkolationsvægtet nitratkoncentration i rodzonen for Storå, Bromølle vha. formel 2 for perioden 1950-2023. De modelberegnede koncentrationer med udvasknings-modellen (NLES5) er ligeledes vist.



3.2 Vandløbskoncentration

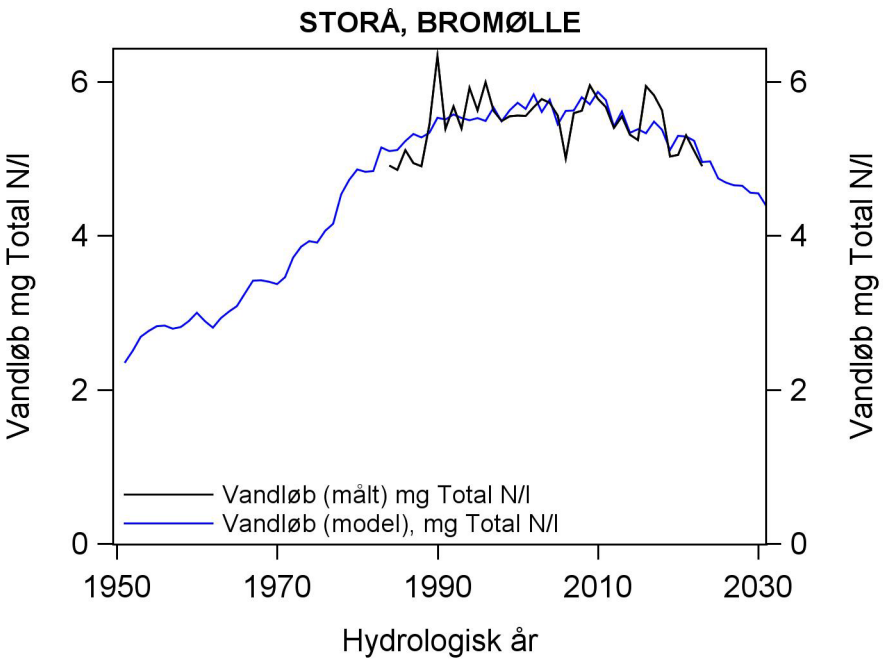
En lang tidsserie for de målte total kvælstof-koncentrationer i vandløb er etableret ved at definere en oplandsspecifik relation mellem vandløbskoncentration (C_{vl}) og rodzonekoncentration (C_{rod} fra formel 2). Denne relation inkluderer fem vægtede forsinkelser (ω_i) på henholdsvis 0, 3, 10, 20 og 30 år og er beskrevet ved følgende formel:

$$C_{vl} = a + \omega_0 C_{rod,0} + \omega_3 C_{rod,3} + \omega_{10} C_{rod,10} + \omega_{20} C_{rod,20} + \omega_{30} C_{rod,30} \qquad (3)$$

Her er a en konstant, $C_{rod,i}$ rodzonekoncentrationen for i år siden, og ω_i den vægt, som den pågældende rodzonekoncentration tildeles.

Denne sammenhæng gør det muligt at estimere vandløbskoncentrationer for år uden direkte måledata. Figur 3.2 viser den estimerede vandløbskoncentration af total kvælstof for Storå ved Bromølle for perioden 1950-2030, sammen med de målte koncentrationer.

Figur 3.2. Målt og estimeret årlig vandføringsvægtet koncentration af total kvælstof i vandløb for perioden 1950-2030. Diffuse kilder, idet bidrag fra kendte punktkilder er fratrukket.



4 Fremtidig udvikling i vandløbskoncentration

De modellerede vandløbskoncentrationer af total kvælstof er fremskrevet til 2080 under to scenarier: (1) fastholdelse af den nuværende rodzonekoncentration af nitrat (niveauet i 2023) og (2) halvering af den nuværende rodzonekoncentration af nitrat. Formålet er at vurdere, om der findes endnu ikke realiserede effekter af tidligere ændringer i rodzonen samt hvorledes og hvor hurtigt en halvering af nitratudvaskningen vil påvirke total kvælstofkoncentrationerne i vandløbet.

Figur 4.1 viser et forskudt forløb af kvælstofkoncentration i rodzone og vandløb ved Bromølle. Det markante fald i rodzonekoncentration fra 1990 afspejles ikke i et tilsvarende fald i vandløbskoncentrationen. Der er med andre ord en forsinkelse i responsen på anvendelse af virkemidler på markerne i oplandet. Det skyldes dels en lang transporttid af vand og kvælstof fra mark til vandløb.

Med megen forsigtighed kan der laves overslag over fald i vandløbskoncentration og -tab ved en halvering af udvaskningen. Det er købmandsregning og ikke statistisk solidt. Det skyldes blandt andet, at den opstillede vandløbsmodel ikke har måledata for kvælstofkoncentrationen i vandløb længere tilbage end slut 1980'erne, og at der endnu ikke er kommet et tydeligt fald på kurven for vandløbskoncentration. Desuden er forudsætningen, at der ikke sker store ændringer i perioden i klimaet (herunder øgede temperaturer og ændrede nedbørsmængde) og andre processer som påvirker kvælstofbalancen i systemet, f.eks. at denitrifikation i rodzonen og grundvandet falder i perioden.

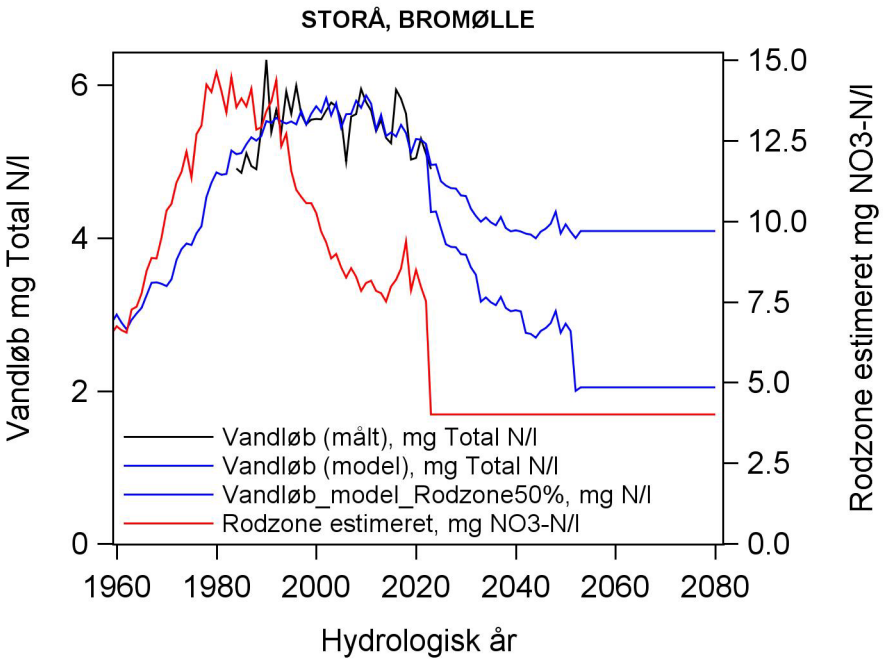
Hvis vi for en stund antager, at modellen er rimelig, vil der i scenarie 1 ske et fald i vandløbskoncentration fra 5,2 mg N l^{-s} til 4,1 mg N l^{-s} (21 %) fra 2022 til 2053. Dette fald i koncentration kan beregnes til at medføre et fald i vandløbstransport på 59 tons N. Det vil sige, at der ved nuværende udvaskning (dvs. landbrugspraksis og dyrket areal i år 2022) kan forventes en udledningsreduktion på omkring 59 tons N pr. år. Det tilsvarende fald i scenarie 2 er 172 tons N. Koncentrationsændringerne er omsat til ændringer i afstrømningsnormaliseret kvælstoftransport ved anvendelse af gennemsnitlig årlig vandafstrømning. Disse vandafstrømninger ganges med koncentrationsændringerne.

Det bemærkes, at konklusionerne her kun gælder for oplandet til Storå ved Bromølle, da der ikke er lavet en generel model for de andre oplande, som afvander til Thisted Bredning.

Oplandet til Storå ved Bromølle er karakteriseret ved at have mange pumpede arealer og et fladt terræn, og det har en anderledes geomorfologi end mange af de små tilløb i de stejle bakker ned til Thisted Bredning fra Thisted siden. Det har også en anden geologi og dannelseshistorie end tilløbene fra Mors siden. Disse andre tilløb kan vi altså ikke sige noget om tidsforsinkelsen i.

En væsentlig usikkerhed ved metoden er, at reduktion i nitratudvaskning ikke nødvendigvis medfører reduktion i organisk bundet kvælstof, som også bidrager til total kvælstofkoncentrationen i vandløbet. Viden om diffuse kilder til organisk kvælstof og deres transportveje er fortsat meget begrænset (Frederiksen et al., 2025).

Figur 4.1. Kvælstofkoncentrationer målt i vandløb fratrukket kvælstof fra punktkilder (bidrag fra diffuse kilder), modelleret kvælstofkoncentration i vandløb, fremskrevet modelleret kvælstofkoncentration i vandløb ved en fastholdt rodzonekoncentration som i 2023 (øverste blå kurve) samt endelig fremskrevet modelleret kvælstofkoncentration i rodzonen med en antaget reduktion på 50 % i 2023, (nederste blå kurve).



5 Referencer

Blicher-Mathiesen, G., Thorsen, M., Wienke, J., Petersen, R. J., Andersen, H. E., Frederiksen, R. R., Jensen, P. G., Hansen, B., & Thorling, L. (2024). *Landovervågningsoplande 2023. NOVANA*. Aarhus Universitet. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi No. 628 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR628.pdf

Børgesen, C.D., Sørensen P., Blicher-Mathiesen G., Kristensen M.K., Pullens, J.W.M., Zhao J., Olesen J.E. (2019). NLES5 - An empirical model for predicting nitrate leaching from the root zone of agricultural land in Denmark. Aarhus University, DCA - Danish Centre for Food and Agriculture. 116 p. - DCA report No. 163.

Frederiksen, R. R., Larsen, S. E., Tornbjerg, H., Thodsen, H., & Kronvang, B. (2025). Modeling annual total organic nitrogen concentrations in streams using machine learning at national scale. Water Resources Research, 61(6), e2024WR039451.

Højberg, A.L., Thodsen, H., Børgesen, C.D., Tornbjerg, H., Nordstrøm, B.O., Troldborg, L., Hoffmann, C.C., Kjeldgaard, A., Holm, H., Audet, j., Ellermann, T., Christensen, J.H., Bach, E.O. & Pedersen, B.F. (2021). National kvælstofmodel – version 2020, Metoderapport. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. GEUS Specialrapport

Kyllingsbæk, A. (2008). Landbrugets husholdning med næringsstoffer 1900-2005. Kvælstof, Fosfor, Kalium. DJF Markbrug nr. 18, 2008. Aarhus Universitet.

Vinther, F.P. & Olsen, P. (2013). Næringsstofbalancer og Næringsstofoverskud i landbruget 1991/92-2011/12. DCA-rapport nr. 025, 2013. Aarhus Universitet.

Vinther, F.P. & Olsen, P. (2020). Næringsstofbalancer næringsstofoverskud i landbruget 1998/99-2018/19. DCA-rapport nr. 173. Aarhus Universitet.

ANALYSE AF TIDSFORSINKELSE I OPLANDET TIL THISTED BREDNING

Leverance til Kystvandråd for Thisted Bredning

Rapporten giver en analyse af tidsforsinkelser i transporten af kvælstof fra opland til kystvand for vandløbsoplandet til Storå ved Bromølle. Analysen viser, at der forekommer længere tidsforsinkelser (over 10 år) i oplandet. Der er således en resteffekt af tidligere indsatser som følge af disse tidsforsinkelser, hvilket for oplandet til Bromølle-målestationen svarer til 59 tons kvælstof.

ISBN: 978-87-7648-043-1
ISSN: 2244-999X