

Notat:

Spørgsmål til brugen af lyssvækkelseskoefficient (K_d) til beregning af målbelastningen i vandområdeplanerne 2021–2027.

Fokus på kystvandene i Vanddistrikt Sjælland

**Høringssvar til vandområdeplanerne 2021 – 2027 genbesøg fra
Landbrugspolitisk Forum v. foreningerne:**

VKST
Nordsjællands Landboforening
Østdansk Landboforening
Landøkonomisk Selskab

Juni 2025

Lyssvækkelseskoefficient (Kd): Høringssvar til vandområdeplanerne 2021 – 2027 genbesøg

INDSENDT AF

VKST f.m.b.a.

Fulbyvej 15, 4180 Sorø og

Agrovej 1, 4800 Nykøbing F.

☎ 7027 9000

✉ politik@vkst.dk

UDARBEJDET FOR

Landbrugspolitisk Forum

v. Østlige Øer f.m.b.a

Fulbyvej 15

4180 Sorø

Landbrugspolitisk Forum består af foreningerne VKST, Landøkonomisk Selskab, Østdansk Landboforening og Nordsjællands Landboforening. Foreningerne er alle hjemmehørende på Sjælland, Lolland og Falster og repræsenterer tilsammen 2.792 landmænd.

UDARBEJDET AF

Erhvervspolitisk afdeling, VKST

REDAKTØR

Ane Popp-Kristensen, Afdelingsleder

FORFATTERE

Jens Allan Kahr, Erhvervspolitisk konsulent

Erik Hansen Blegmand, Erhvervspolitisk konsulent

Baggrund og formål

I forbindelse med vandområdeplanerne 2021–2027 beregnes målbelastningerne (*de maksimalt tilladte næringsstofbelastninger, som understøtter God økologisk tilstand*), ved modelberegninger fra marine økosystemmodeller. Modelberegningerne anvendes til at opgøre sammenhængen mellem næringsstofbelastninger og de to miljøindikatorer "klorofyl-a" og "lys(Kd)" (*som en proxy for dybde-grænsen for bundplanter/Ålegræs*).

Med afsæt i aktuel status og miljømål for de to miljøindikatorer i hvert kystvand kan modellerne, på baggrund af forudsætninger om fremtidige næringsstofbelastninger, angive hvilket niveau af næringsstofbelastninger, som er foreneligt med opnåelse af miljømålene.

I næsten alle kystvande anvendes en mekanistisk (*MEK*) model til at modellere, hvordan indikatorerne klorofyl-a og lyssvækkelseskoeficienten Kd påvirkes som følge af ændringer i næringsstofbelastninger. I nogle kystvande anvendes også en statistisk (*STAT*) model.

I bladet DM-BIO NR4. 2023 blev der i artiklen "*Kritiske spørgsmål til vandområdeplanernes faglige grundlag*" redegjort for, at det internationale panel i forbindelse med evaluering af VP2 i 2017, rejser kritik over for brugen af lys (Kd) som proxy for udbredelsen af Ålegræs. Kritikken beror på, at lystilgængelighed ikke er den eneste forudsætning for vækst af Ålegræs.

Kritikken førte ikke til ændringer i brugen af Kd i forbindelse med udarbejdelsen af VP3.

Artiklen i DM-BIO NR.4 2023 beskriver også, at det internationale panel i 2017 udtalte, at sammenhængen mellem lys(Kd) og kvælstoftilførsler er svag.

I Second Opinion sept. 2024, har det internationale panel igen påtalt, at man benytter lys(Kd) som proxy for udbredelsen af ålegræs i de lavvandede danske vandplaner. Denne gang med henvisning til, at det ikke er i overensstemmelse med Vandrammedirektivet, at Kd, som kun er støtteparameter, benyttes i stedet for det interkalibrerede biologiske kvalitetselement udbredelsen af Ålegræs.

Denne kritik er blevet ignoreret i forbindelse med udarbejdelsen af VP3 II, med henvisning til, at der skal udarbejdes en helt ny metode at måle ålegræs på.

I Second Opinion september 2024 anerkender det internationale panel, at modelarbejdet til beregning af målbelastning (N-MAI) er forbedret, samt at "The N-MAIs computed by the models are of sufficient quality to be used within RBMP 3 without further improvements "

Uagtet det internationale panels anerkendelse af forbedringerne i modelarbejdet til beregning af N-MAI, vil der her blive

- 1) påpeget mulige metodiske begrænsninger i brugen af K_d til beregning af N-MAI.
- 2) Vurderet om målbelastningen udregnet som lys (STAT) og lys (MEK) underestimerer målbelastningen i forhold til Chl-a (STAT) og Chl-a(MEK)

Det skal understreges, at vi selvfølgelig anerkender, at der er en klar kobling mellem udledning af næringsstoffer og mængden af alger i de indre danske farvande samt, at $Lys(K_d)$ er et udtryk for ålegræs og andre angiosperme planters udbredelsesgrænse.

Lys(K_d) og Chl-a til bestemmelse af målbelastningen

I teorien er der en veldokumenteret sammenhæng mellem udledning af kvælstof, øget algeproduktion og lavere lysgennemtrængelighed – hvilket afspejles i stigende værdier for $Lys(K_d)$. Men i praksis – særligt i lavvandede kystområder – brydes denne teoretisk sammenhæng ofte.

Flere forhold gør sig gældende:

- Bundforstyrrelser som for eksempel vind, bølger, skibstrafik og fiskeri mobiliserer sediment og skaber uklarhed, som ikke har relation til alger.
- Turbiditet fra f.eks. lerpartikler eller humus vil reducere sigtddybden, men er ikke påvirket af næringsstofniveauer/N-udledning.
- Bundrefleksion og lav vanddybde forvrænger lysmålinger og gør $Lys(K_d)$ vanskeligt at tolke entydigt.
- Rumlig og tidslig variation i fjorde og vige kan betyde, at punktmålinger af K_d ikke er repræsentative for økosystemets tilstand.

Hvis ikke der tages højde for ovenstående forhold, vil der ved at benytte en ukorrigeret $Lys(K_d)$ (enten direkte eller estimeret fra Secchi-dybde) ikke tages højde for den ikke-algerelaterede turbiditet. Herved opstår en risiko for, at den del af lyssvækkelsen (K_d), der tilskrives kvælstofbelastningen, overvurderes. Dette kan medføre, at indikatoren $Lys(K_d)$ overvurderer graden af eutrofieringspåvirkning og dermed fører til en fejlvurdering af indsatsbehovet – med risiko for, at det fastsættes højere end nødvendigt.

- **I modelberegningerne ville det kunne komme til udtryk i en lavere målbelastning beregnet for lys (K_d) end for Chl-a.**

Sammenligning af målbelastningstal.

Til VP3-II er målbelastningerne for de enkelte oplande beregnet i *Revision of maximum allowable nitrogen inputs applicable for the Danish River Basin Management Plan 2021-2027: A follow-up on the international evaluation*.

I Appendix A1 fremgår beregningerne N-MAI på de enkelte kystvande for Chl-a og Light, samt den resulterende Average MAI som den målbelastning, der indgår i VP3 II.

Da der kun er målbelastningsberegning for Chl-a (STAT) og Light (STAT) i 2 ud af 29 kystvande, vil det kun blive undersøgt, om Light (MEK) undervurderer N-MAI i forhold til Chl-a (MEK).

Kystvande, hvor Average Annual N-load topskærer N-MAI for både Light(MEK) og Chl-a(MEK), vil blive frasorteret, da vi ikke har eller kan få kendskab til bagvedliggende værdier, der vil være før topskæringen.

Tilbage er 21 kystvande, hvor N-MAI er baseret på den mekanistiske model for både Light og Chl-a.

Da Light (MEK) er baseret på Lys (Kd), som proxy for udbredelsen af Ålegræs, er det i næstsidste kolonne i tab.1 angivet om Kd er modelberegnet/typeberegnet eller baseret på historiske data.

Dette er baseret på tabel.1 i rapporten *Referenceværdier og grænseværdier for ålegræsdybdegrænser til brug for vandområdeplanerne*.

I sidste kolonne er forskellen på N-MAI beregnet som Light(MEK) og Chl-a(MEK) angivet for de 21 kystvande.

Name	Average annual N-load	Chl-a (STAT)	Light (STAT)	Chl-a (MEK)	Light (MEK)	N-MAI (STAT)	N-MAI (MEK)	Avg. MAI	Kd Modelberegnet eller typebestemt	Forskel på Light(MEK) og Chl-a(MEK). %
Ros Fjord,ydre	853			735	490		613	613		50
Ros Fjord, indre	434	434		434	396	434	415	425		10
Nordlige Øresund	1,149			1,149	1,149		1,149	1,149		0
Korsør Nor	32			32	16		24	24		100
Basnæs Nor	70			70	34		52	52		106
Holsteinborg Nor	26			26	26		26	26		0
Isefjord, ydre	1,079	600	804	685	849	702	767	734		24
Skælskør Fjord og Nor	40			32	33		33	33		3
Sejersø Bugt	198			198	198		198	198		0
Kalundborg Fjord	84	13	50	46	84	32	65	48		83
Smålandsfar, syd	543			543	543		543	543		0
Karrebæk Fjord	1,268			1,268	738		1,003	1,003		72
Dybsø Fjord	59			59	59		59	59		0
Avnø Fjord	234			234	131		182	182		79
Guldborgsund	374			374	374		374	374		0
Hjelm Bugt	87			87	87		87	87		0
Grønsund	298			298	146		222	222		104
Fakse Bugt	589			577	589		583	583		2
Præstø Fjord	232			161	141		151	151		14
Stege Bugt	298			298	298		298	298		0
Stege Nor	29			22	15		18	18		47
Isefjord, indre	975	439		482	975	439	729	584		102
Kattegat Nordsj	2,155			2,155	637		1,396	1,396		238
Køge Bugt	1,179	897		1,162	1,179	897	1,170	1,034		1
Jammerland Musholm	1,381			1,381	549		965	965		252
Smålandsfar, åbne	2,017			2,017	1,657		1,837	1,837		22
Nakskov Fjord	359			349	279		314	314		25
Femerbælt	1,337			874	1,337		1,105	1,105		52
Røds-Bredningen	410			222	279		250	250		26

Tabel 1 uddrag fra *Appendix A1 i Revision of maximum allowable nitrogen inputs applicable for the Danish River Basin Management Plan 2021-2027: A follow-up on the international evaluation*. Værdier med gul er sorteret fra. Værdier med rødt er Light (MEK) lavere end Chl-(MEK). Værdier med grønt er Light (MEK) højere end Chl-a (MEK). Kolonnen Kd modelberegnet eller typebestemt er uddrag fra *tabel 3.1 i Referenceværdier og grænseværdier for ålegræsdybdegrænser til brug for vandområdeplanerne*. Lyseblå markering angiver, at for ålegræsudbredelsen er Kd modelberegnet eller typebestemt, da der ikke findes historiske data til fastlæggelsen af Ålegræsudbredelsen og den tilhørende Kd. Brun markering viser de kystvande, hvor ålegræsudbredelsen og dermed Kd er baseret på historiske data.

Light (MEK) højere eller lavere end CHL-a(MEK):

- I 13 ud af de 21 kystvande (62 %) er Light (MEK) lavere end Chl-a (MEK). I 8 af de 21 kystvande (38%) er Light(MEK) højere end Chl-A(MEK)
- Af de 13 kystvande hvor Light(MEK) er lavere end Chl-a (MEK) er Ålegræsudbredelsen/Kd i 8 tilfælde (62%) baseret på modelberegninger/typebestemt.
- Af de 5 kystvande hvor Light(MEK) er højere end CHL-a (MEK) er Ålegræsudbredelsen/Kd i 1 tilfælde (20%) baseret på modelberegninger eller typebestemt. 4 ud af de 5 kystvande (80%) er baseret på historiske data for udbredelsen af Ålegræs.

Baseret på en simpel sammenligning af N-MAI beregninger udført som Light(MEK) og Chl-a(MEK), er der indikationer på, at Light(MEK) i kystvande i Vanddistrikt Sjælland, langt oftere overvurderer eutrofieringen sammenlignet med Chl-a(MEK). Dette medfører et skærpet indsatskrav i de berørte kystvande.

Der er klare indikationer på, at Light(MEK) baseret på en modelleret Lys(Kd) som proxy for udbredelsen af Ålegræs, sammenlignet med Chl-a(MEK), oftere overvurderer eutrofieringen i kystvande i Vanddistrikt Sjælland. Dette medfører et skærpet indsatskrav i de berørte kystvande.

I en række kystvande overstiger forskellen mellem målbelastninger beregnet ud fra henholdsvis lys (Light(MEK)) og klorofyl-a (Chl-a(MEK)) 200 %. Det er bemærkelsesværdigt, at de to beregningsmetoder, som principielt er metodisk sidestillede og har samme formål, kan resultere i så markant forskellige estimer for den nødvendige reduktion i næringsstofudledning for at opnå målopfyldelse.

Modellering af Lysforholdene i danske kystvande

Som tidligere skrevet, anerkender det internationale panel, at modelarbejdet til beregning af målbelastning (N-MAI) er forbedret samt at "The N-MAIs computed by the models are of sufficient quality to be used within RBMP 3 without further improvements".

Det internationale panel blev i sit arbejde præsenteret for en række faglige rapporter som overbeviste panelet om, at danske forskere har formået at udvikle modeller, der beskriver den lysbegrænsende dybde for ålegræs i danske vandområder med tilstrækkeligt datagrundlag, som funktion af landbaseret kvælstof- og fosforbelastning, fysisk-kemiske og klimatiske prædiktorer. Se rapporten *Modelling light conditions in Danish coastal waters using a Bayesian modelling approach*.

Som vi tidligere har vist, så er der indikationer på, at beregninger af målbelastninger baseret på modeller der beskriver den lysbegrænsende dybde af Ålegræs, overestimerer eutrofieringen af de danske kystvande, sammenlignet med målbelastninger baseret på klorofylmålinger.

På den baggrund vil vi se nærmere på, hvilke faktorer, der kan have indflydelse på om lysforholdene, udtrykt ved K_d , overestimerer eutrofieringen i et kystvand. Derudover vil vi også undersøge om disse forhold håndteres i det danske overvågningsprogram og i rapporten *Modelling light conditions in Danish coastal waters using a Bayesian modelling approach*

Lyssvækkelseskoefficienten K_d

Som tidligere nævnt er Lyssvækkelseskoefficienten K_d en central parameter i marin økologi, som beskriver hvor hurtigt lysintensiteten aftager med dybden i vand. K_d er en udbredt og anerkendt metode til vurdering af undervandslysforhold.

Indekset antages typisk at være eksponentielt. En antagelse der bygger på idealiserede forhold, som sjældent forekommer i bl.a. lavvandede kystmiljøer, hvor en række andre faktorer end alger og klorofylkoncentrationer, har indflydelse på K_d .

Hydrodynamiske forstyrrelser og suspenderet materiale

Kystnære områder er ofte præget af vind- og bølgepåvirkede sedimenter, som ophvirvles og øger turbiditeten betydeligt. Dette skaber vertikale og horisontale variationer i partikelkoncentration, som gør det vanskeligt at opnå et repræsentativt K_d .

Desuden kan kortvarige forstyrrelser som storme eller tidevand forårsage hurtige ændringer i lysklimaet, som et statisk K_d - estimat ikke kan fange.

Bundrefleksion og spektrale forvrængninger

I lavvandede områder reflekterer havbunden en del af det indkomne lys tilbage op i vandsøjlen. Denne opadgående flux kan føre til en kunstig øgning af lysniveauet, som bryder med den eksponentielle formel bag K_d . Effekten er særlig udtalt ved lyse sandbunde og lavvande, hvor refleksionsandelen er høj.

Optisk heterogenitet og skalaeffekter

Lavvandede kystområder er ofte karakteriseret ved stor rumlig heterogenitet i farvandet – fx pga. åudløb, algeopblomstringer og sedimentlommer. K_d -målinger repræsenterer en punktmåling, og skalaen er derfor ikke altid repræsentativ for større områder.

Turbiditet og suspenderet materiale

Turbiditet og suspenderet materiale spiller en central rolle for lyssvækkelseskoefficienten (K_d) i vandmiljøer – især i lavvandede områder som fjorde og nor.

Turbiditet beskriver, hvor uklart eller grumset vandet er og skyldes lys, der spredes af partikler i vandet. Jo flere partikler, jo mere lys bliver spredt eller absorberet – og jo højere bliver turbiditeten.

Suspenderet materiale er partikler, der svæver frit i vandet uden at bundfælde sig umiddelbart. Det kan være:

- **Uorganisk materiale:** f.eks. ler, silt, sand
- **Organisk materiale:** dødt plankton, bakterier, humus
- **Levende mikroorganismer:** alger, bakterier

I lavvandede områder stammer suspenderet materiale ofte både fra algeproduktion (biologisk) og fra sediment, der hvirvles op fra bunden (fysisk).

K_d beskriver som sagt, hvor hurtigt lysintensiteten aftager med dybden. Hvis der er mange partikler i vandet:

- **Spredes og absorberes lyset hurtigere**, især i de øverste vandlag
- **Lyset når ikke så langt ned**, hvilket resulterer i en højere K_d -værd

Derfor stiger K_d , når turbiditeten øges – **uanset** om partiklerne skyldes alger eller mudder.

Problemet: K_d skelner ikke mellem kilderne

K_d -målinger registrerer blot, hvor hurtigt lyset forsvinder, men **de siger ikke noget om, hvorfor**.

Det kan skyldes:

- **Algeopblomstring** efter kvælstofudledning (økologisk problem)
- **Ophvirvlet sediment** (fysisk påvirkning)

Begge dele øger turbiditeten og dermed K_d , men kun det første er direkte koblet til næringsstofudledning.

Derfor er det vigtigt at supplere K_d -målinger med:

- Klorofyl-a (mål for algeindhold)
- Partikelanalyse (organisk vs. uorganisk)
- Turbiditetsmålere og lysprofiler
- Data om vind, bølger og sedimentforhold

Kun med disse supplerende oplysninger kan man vurdere, om en høj K_d faktisk skyldes et miljøproblem, eller blot naturlig bundpåvirkning.

Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2023-27 (NOVANA)

Tager Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NOVANA) højde for at der er behov for supplerende oplysninger, hvis man skal kunne vurdere om en høj K_d er relateret til udledningen af næringsstoffer?

Data fra delprogrammet for hav og fjord under NOVANA indberettes og lagres bl.a. i VanDa, hvor vandkemiske data, profilmålinger, sedimentkemiske data, miljøfarlige forurenende stoffer i sediment og biota, ålegræs, makroalger, blødbunds- og hårdbundsfauna samt fyto- og zooplankton, registreres.

En stikprøve af data på miljøportalen viser, at der ikke måles for suspenderet stof eller laves glødtabs/partikel målinger på de stationer hvor der måles for K_d . Prøver som heller ikke umiddelbart fremgår af Programbeskrivelsen for NOVANA for delprogrammet for hav og fjord.

Koblingen mellem K_d (som proxy for dybdegrænsen for ålegræs) og næringsstofudledningen, synes derfor at mangle de supplerende oplysninger, der skal gøre det muligt at skelne mellem

- **Algeopblomstring** efter kvælstofudledning (økologisk problem)
- **Ophvirvlet sediment** (fysisk påvirkning)

Modellering lys (kd) I danske farvande J.P.A., et al (2021)

Når det internationale panel udtaler, at modelarbejdet til beregning af målbelastning (N-MAI) er forbedret samt at "The N-MAIs computed by the models are of sufficient quality to be used within RBMP 3 without further improvements". sker det bla på baggrund af rapporten *Modelling light conditions in Danish coastal waters using a Bayesian modelling approach* Christensen, J.P.A., et al (2021)

I rapporten beskrives det, at "Vi har udviklet bayesianske hierarkiske modeller, der beskriver den lysbegrænsende dybde for ålegræs i danske vandområder med tilstrækkeligt datagrundlag, som funktion af landbaseret kvælstof- og fosforbelastning, fysiskkemiske og klimatiske prædiktorer"

I kap .2.2 Data collection and preparation of predictor variables, tabel 2.1 gennemgår man om data til etablering af tidsserier for prædikatorvariablerne: "næringsstofftilførsel", "næringsstoffbegrænsning", "saltindhold", "havoverfladetemperatur" og "opdriftsfrekvens (Brunt-Väisälä-frekvens)". samt klimapædikatorvariablerne "bestråling" og "vind" har en positiv eller negativ effekt på lys, forstået som henholdsvis mere eller mindre lys.

Table 2.1. Overview of the statistical models possible variables and some of the expected effects.

Variable	Positive effect (more light)	Negative effect (less light)
Nutrient input		Feed the productivity of the ecosystem and hence the productivity of potentially light absorbing and scattering organic matter
Nutrient limitation (nutrient concentration)	If the concentration of bioavailable nutrients are low the primary production is limited	
Salinity	Water of oceanic origin (more saline) are often more clear, in Danish waters	
Sea surface temperature	High temperature can affect the stratification of the water column and lead to a more stable water column with fewer suspended particles.	Water temperature affects a lot of processes that, either directly or indirectly can change the light penetration of the water higher temperature will increase both primary production and respiration of the system and increase the risk of oxygen depletion
Buoyancy frequency (Brunt-Väisälä frequency)	A stable water column (high BV) can lead to nutrient depletion of the photic zone and settlement of particles.	High BV can lead to increased growth of certain algae if nutrient are replete and increase the risk of hypoxia
Irradiance	UV light is known to breakdown coloured DOM and thus "bleach" the water	High incoming radiation can increase primary production under nutrient replete conditions
Wind	High wind speed can increase the amount of suspended particles in the water	

Suspenderet materiale beskrives ikke direkte, men kun indirekte som en mulig effekt af høje vindhastigheder. Ret overraskende er høje vindhastigheder angivet som en variabel, der bidrager positivt til lysforholdene, her forstået som mere lys.

Angivelsen af at højere vindhastigheder har en positiv effekt på lysmængden samt at suspenderet materiale ikke indgår med målinger, kan indikerer en metodisk fejl eller mangel i forhold til at beregne målbelastningen Light(MEK).

Spørgsmål

Denne simple sammenligning af N-MAI beregnet som Chl-a(MEK) eller Light(MEK) viser 3 forhold.

1. Light(MEK) trækker, sammenlignet med Chl-a (MEK), oftere den gennemsnitlige N-MAI ned, hvilket betyder at Light(MEK) alt andet lige oftere skærper N-reduktionskravene i VP3 II end Chl-a(MEK), i de 21 kystvande der er undersøgt
 2. Når Light(MEK) har en lavere N-MAI end Chl-a(MEK) er Light(MEK) langt oftere baseret på modelleret Kd som proxy for ålegræsudbredelsen.
 3. Når Light(MEK) har en højere N-MAI en Chl-a(MEK) er Light(MEK) langt oftere baseret på kd som proxy for ålegræs, end hvis udgangspunktet var historiske data der viser udbredelsen af ålegræs.
- **Hvad er årsagen til, at beregningerne ikke i højere grad udfordres, når en simpel sammenligning mellem Chl-a(MEK) og Light(MEK) viser en systematisk afvigelse, hvor Light(MEK) underestimerer målbelastningen i forhold til Chl-a(MEK)? Bør denne forskel ikke give anledning til faglig revurdering – selvom statistiske analyser ikke kan påvise signifikante forskelle, bl.a. som følge af begrænset datagrundlag?**
 - **Hvor sikre er målbelastningsberegningerne når der er så store procentvise forskelle (op til 258%) på Chl-a (MEK) og Light(MEK) ?**
 - **Er de store forskelle en indikation på, at enten Kd eller klorofyl i en række kystvande, ikke er egnet til at beskrive næringsstofbelastningen ?**
 - **Er det muligt, at lyssvækkelseskoeficienten (Kd) ikke kan korrigeres tilstrækkeligt i forhold til suspension af ikke-algerelateret materiale, når det ikke umiddelbart fremgår, at det danske overvågningssystem måler glødetab og suspenderet materiale, når der måles for Lys(Kd) ?**