



AFSTRØMNING OG NÆRINGSSTOFTILFØRSLER TIL LIMFJORDEN BASERET PÅ TRE FORSKELLIGE MODELLER

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 115

2018



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

AFSTRØMNING OG NÆRINGSSTOFTILFØRSLER TIL LIMFJORDEN BASERET PÅ TRE FORSKELLIGE MODELLER

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 115

2018

Hans Thodsen¹
Eugenio Molina-Navarro¹
Jacob Woge Nielsen²
Janus Larsen¹
Marie Maar¹

¹ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

² Danmarks Meteorologiske Institut



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 115
Titel:	Afstrømning og næringsstofftilførsler til Limfjorden baseret på tre forskellige modeller
Forfattere:	Hans Thodsen ¹ , Eugenio Molina-Navarro ¹ , Jacob Woge Nielsen ² , Janus Larsen ¹ , Marie Maar ¹
Institutioner:	¹ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, ² Danmarks Meteorologiske Institut
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Marts 2018
Redaktion afsluttet:	Marts 2018
Faglig kommentering:	Anders Nielsen
Kvalitetssikring, DCE:	Poul Nordemann Jensen
Finansiel støtte:	Projektet 'Udvikling af nye modelværktøjer til vurdering af miljøeffekter af muslingefiskeri' (TASSEEF) bevilliget af Landbrugs- og Fiskeristyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet under den Europæiske Hav- og Fiskerifond (EHFF).
Bedes citeret:	Thodsen H, Molina-Navarro E, Nielsen JW, Larsen J, Maar M. (2018) Afstrømning og næringsstofftilførsler til Limfjorden baseret på tre forskellige modeller. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 20 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 115 http://dce2.au.dk/pub/TR115.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Denne rapport sammenligner beregnede afstrømninger og næringsstofftilførsler til Limfjorden fra tre forskellige oplandsmodeller og evaluerer deres egnethed som input til marine modeller. I den nationale, empiriske model QNP-DK er ca. halvdelen af oplandet dækket af målinger og anses for at give de mest korrekte resultater ud af de tre anvendte modeller. Modellen har dog en forholdsvis grov rumlig og tidslig (månedlig) opløsning sammenlignet med de dynamiske SWAT- og E-HYPE-modeller. De beregnede afstrømningsværdier var dog rimelig ens og indikerer en god simulering af vandbalancen for alle tre modeller for hele Limfjorden. TN-tilførsler var overstimerede af SWAT, mens TP-tilførsler var understimerede af E-HYPE i forhold til DK-QNP-niveauerne. Den sæsonmæssige udvikling i data var sammenlignelig for de tre modeller med højest tilførsel i vinterhalvåret og lavest i sommerhalvåret. Den lokalt opsatte SWAT-model havde flest ferskvandskilder, daglige tidskridt og flere næringsstoffraktioner, som gjorde den mest egnet som input til en økologisk Limfjordsmodel. SWAT-data blev dog korigeret for de høje TN-værdier mod DK-QNP-niveauer. E-HYPE havde den største geografiske dækning og blev brugt til forcering af den hydrodynamiske model HBM for Limfjorden, som indgår i et større modelkompleks for hele Nordsøen-Østersøen.
Erneord:	Oplandsmodeller, Limfjorden, afstrømning, næringsstofftilførsel, marine modeller
Layout & sproglig kvalitetssikring:	Anne van Acker
Illustrationer:	Forfatterne
Foto forside:	Google Earth flyfotos overlagt med 4. ordens kystoplande for Limfjordens opland.
ISBN:	978-87-7156-323-8
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	20
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/TR115.pdf

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	7
1 Indledning	8
2 Metode	9
2.1 DK-QNP	9
2.2 SWAT	10
2.3 E-HYPE	11
3 Resultater	13
3.1 Afstrømning til Limfjorden	13
3.2 Tilførsel af total-N til Limfjorden	14
3.3 Tilførsel af total-P til Limfjorden	15
3.4 Tilførsler af uorganisk N og P til Limfjorden	16
3.5 Tilførsler til 6 marine områder i Limfjorden	16
4 Diskussion og konklusion	18
5 Referencer	20

[Tom side]

Forord

Denne rapport sammenligner beregnede afstrømninger og næringsstofftilførsler til Limfjorden fra tre forskellige oplandsmodeller. Studiet er en del af projektet 'Udvikling af nye modelværktøjer til vurdering af miljøeffekter af muslingefiskeri' (TASSEEF) bevilliget af Landbrugs- og Fiskeristyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet under den Europæiske Hav- og Fiskerifond (EHFF). Partnerne i projektet er AU-DCE, DMI og DTU Aqua (Dansk Skaldyrcenter).

Sammenfatning

Denne rapport sammenligner beregnede afstrømninger og næringsstofftilførsler til Limfjorden fra tre forskellige oplandsmodeller og evaluerer deres egnethed som input til marine modeller. I den nationale, empiriske model QNP-DK er ca. halvdelen af oplandet dækket af målinger og anses for at give de mest korrekte resultater ud af de tre anvendte modeller. Modellen har dog en forholdsvis grov rumlig og tidslig (månedlig) opløsning sammenlignet med de dynamiske SWAT- og E-HYPE-modeller. De beregnede afstrømningsværdier var dog rimelig ens og indikerer en god simulering af vandbalancen for alle tre modeller for hele Limfjorden. TN-tilførsler var overstimerede af SWAT, mens TP-tilførsler var understimerede af E-HYPE i forhold til DK-QNP-niveauerne. Den sæsonmæssige udvikling i data var sammenlignelig for de tre modeller med højest tilførsel i vinterhalvåret og lavest i sommerhalvåret. Den lokalt opsatte SWAT-model havde flest ferskvandskilder, daglige tidsskridt og flest næringsstoffraktioner, som gjorde den mest egnet som input til en økologisk Limfjordsmodel. SWAT-data blev dog korrigeret for de høje TN-værdier mod DK-QNP-niveauer. E-HYPE havde den største geografiske dækning og blev brugt som input til den hydrodynamiske model HBM for Limfjorden, som indgår i et større modelkompleks for hele Nordsøen-Østersøen.

Summary

The report compares estimated freshwater and nutrient inputs to the Limfjorden based on three different catchment models and evaluates their suitability as input to marine models. In the national, empirical model DK-QNP, approximately half of the catchment is monitored and is assumed to give the most reliable results among the three models. The DK-QNP model, however, has a rather coarse spatio-temporal (monthly) resolution compared to the other two dynamic models, SWAT and E-HYPE. The estimated freshwater inputs between the three models were nevertheless similar and indicate a good simulation of the water balance in the whole Limfjord. TN-inputs were overestimated by SWAT, whereas TP inputs were underestimated by E-HYPE compared to DK-QNP. The seasonal patterns of the inputs were similar between the models with the highest input during winter and the lowest input during summer. The locally calibrated model SWAT had the highest amount of freshwater sources included, daily time-steps and several nutrient fractions, which all together made it the most suitable model for providing input to marine ecological models. However, the bias of TN-values in SWAT was corrected against the DK-QNP levels. E-HYPE had the highest geographical coverage and was used as input to the hydrodynamic model HBM for the Limfjorden, which is a part of a larger model system for the North Sea-Baltic Sea.

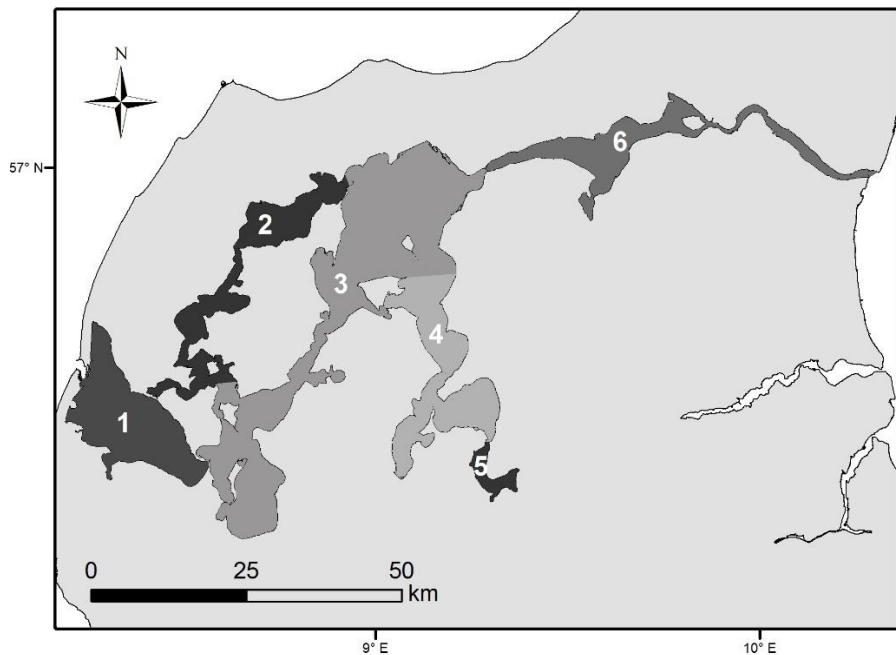
1 Indledning

I projektet 'Udvikling af nye modelværktøjer til vurdering af miljøeffekter af muslingefiskeri (TASSEEF)' sammenlignes forskellige måder at opgøre afstrømning og næringsstofftilførsel til Limfjorden. Projektet anvender tre oplandsmodeller kaldet DK-QNP, SWAT og E-HYPE. DK-QNP er baseret på en kombination af målinger, grundvandsmodellering og empirisk modellering af næringsstoffer, mens SWAT og E-HYPE er semi-distribuerede, dynamiske oplandsmodeller.

Den modelberegnete vandafstrømning og tilførslen af næringsstoffer fra land (havbelastningen) vil efterfølgende blive brugt som inputdata til marine modeller for Limfjorden. De marine modeller bliver anvendt til at beregne fx re-suspension og spredning af sedimentpartikler som følge af muslingefiskeri, udvikling af iltsvind samt transport af muslingelarver. De dynamiske marine modeller har generelt en høj rumlig- og temporal opløsning og er sensitive over for nøjagtigheden og typen af inputdata til at drive modellerne (Maar et al. 2011; Maar et al. 2016). Det er derfor vigtigt at kende fordele og ulemper ved at anvende forskellige typer af modelleret afstrømning og næringsstofftilførsler i forhold til forcering af marine modeller.

I denne rapport sammenlignes resultater fra tre oplandsmodellens med hensyn til afstrømning og næringsstofftilførsel til hele Limfjorden (årligt og månedligt) og 6 marine områder (årligt) (figur 1.1) for årene 2010-2015. Desuden diskuteres oplandsmodellernes rumlige fordeling af kilder, temporale opløsning, fraktioner af næringsstoffer og deres generelle egnethed som input til marine modeller.

Figur 1.1. Limfjorden inddelt i 6 marine områder.



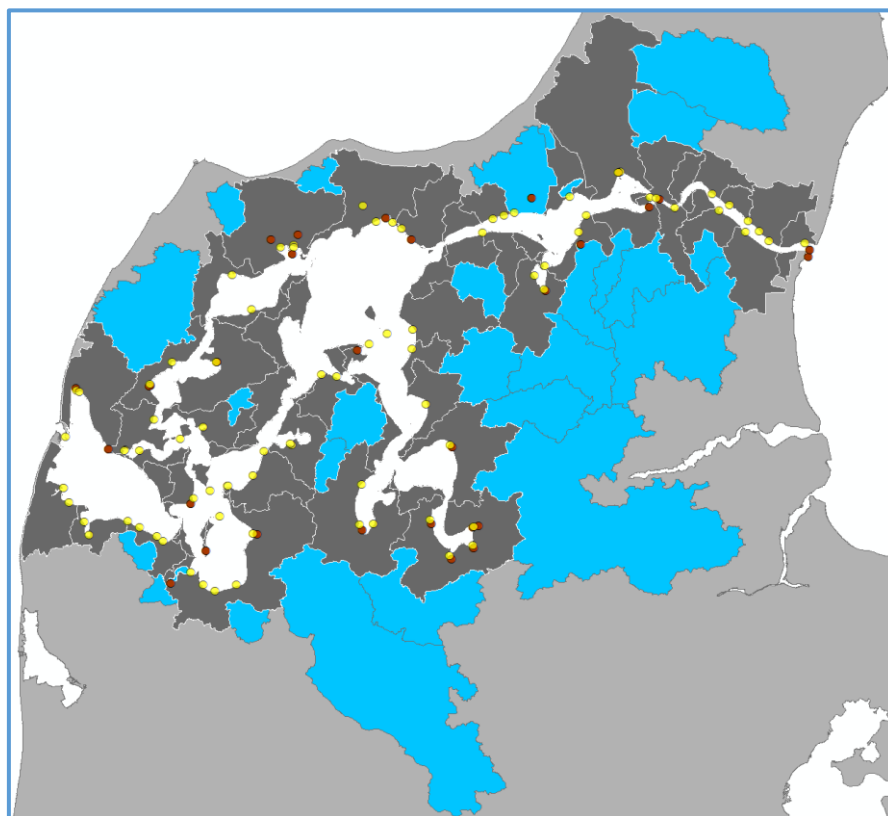
2 Metode

Der blev anvendt tre forskellige oplandsmodeller til at opgøre tilførslen af vand (Q) og næringsstoffer fra oplandet til Limfjorden. Næringsstofferne opgives som total-N (TN) og total-P (TP), og i nogle tilfælde kan TN opdeles i fraktioner såsom ammonium (NH_4), nitrat (NO_3) og organisk-N (orgN), mens TP opdeles i fosfat (PO_4) og organisk-P (orgP). Modellerne er beskrevet nedenfor. Data er fra perioden 2010-2015.

2.1 DK-QNP

DK-QNP er et modelkompleks konstrueret med det formål at beregne den månedlige afstrømning af vand, TN og TP fra land til havet omkring Danmark på 2-3 ordens kystafsnit (Windolf et al. 2011; Thodsen et al. 2016). Modelleringen foregår geografisk for oplande med et middelareal på 25 km² (ID25 skala) og aggregeres til 31 kystafsnitsniveauer (4. ordens kystafsnit i Limfjordsoplandet) (*figur 2.1*). Der er anvendt målinger for den del af oplandet, der ligger opstrøms en målestation svarende til 49 % af oplandet. Det skal her nævnes at der i skrivende stund er begrundet mistanke om at total nitrogen målinger fra perioden 2010 til 2014 (begge år inklusiv) er målt med en forkert laboratorie metode, som underestimerer koncentrationen (Larsen et al., 2018). Analysefejlen ventes at være mindre for hele oplandet end de ca. 7% som Larsen et al., (2018) kommer frem til for målinger indsamlet i 2016 og første kvartal 2017. Derudover er der anvendt modelresultater for den resterende del, der ligger nedstrøms målestationer og for oplande, der er helt uden målinger (*figur 2.1*). Afstrømningen modelleres ud fra en kombination af referencestationer og resultater fra DK-modellen (GEUS's nationale grundvandsmodel). For det umålte opland er TN og TP modelleret med empiriske modeller (Henriksen et al. 2003; Windolf et al. 2011; Thodsen et al. 2016). De empiriske modeller drives af jordparametre, arealanvendelse, vejr/klima-parametre og næringsstofbalancer og giver en næringsstofkoncentration i vandløbet. Modelleringen af TN- og TP-tilførsler fra oplandene er kalibreret (fittet) på målte koncentrationer fra mindre oplande i hele landet og giver derfor ikke nødvendigvis et korrekt estimat på lokal skala. Derfor er der nogle steder foretaget en BIAS korrektion og/eller en trendkorrektion af resultaterne (Windolf et al. 2011). Modellen er udviklet og anvendes af Aarhus Universitet og resultaterne indrapporteres løbende til Miljøministeriet i forbindelse med miljøovervågningen. Modelresultater bliver desuden brugt i de lokale marine modeller på Aarhus Universitet.

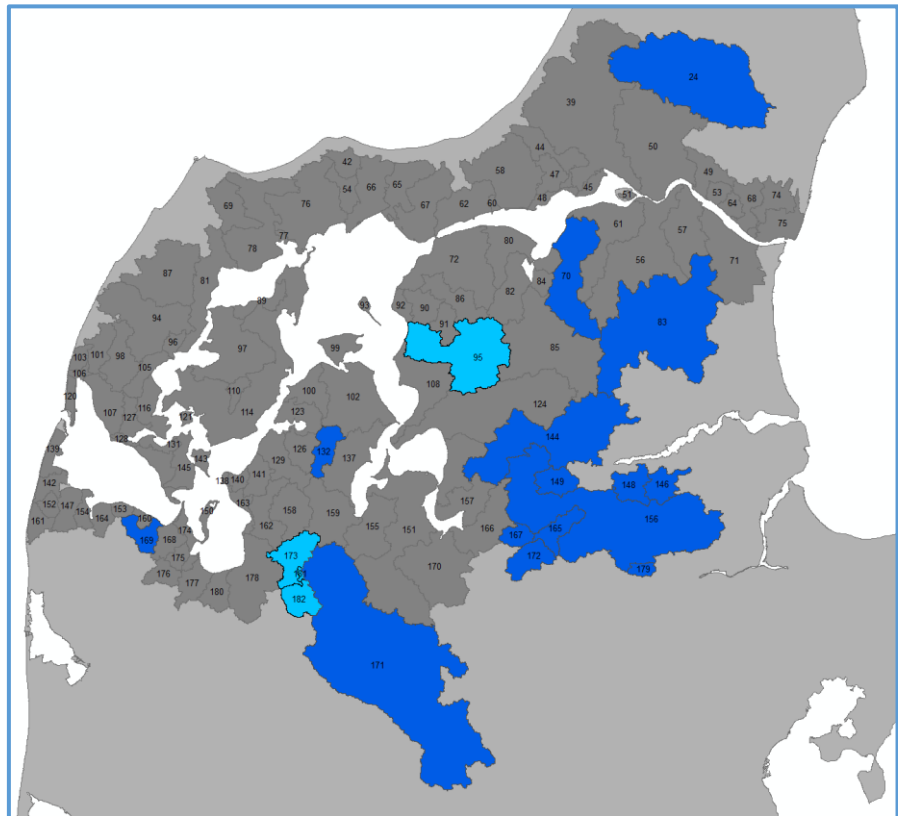
Figur 2.1. Udløb fra SWAT (gul), E-HYPE (rød) og DK-QNP målte (blå) og umålte (mørkegrå) oplande for 4. ordens kystafsnit.



2.2 SWAT

Modellen er en semi-distribueret, dynamisk oplandsmodel, der beskriver det hydrologiske system, næringsstoffodynamik og vegetationsdynamik (Arnold et al. 1998). Der er opsat en regional SWAT-model (SWAT 2009 ver.) for Nordjylland (Molina-Navarro et al. 2017), som indeholder 182 deloplande, hvoraf 118 dræner til Limfjorden. Ud af disse 118 deloplande er der 82 med direkte udløb til Limfjorden (*figur 2.2*). SWAT giver daglige output af afstrømning, NO_3 , OrgN, NH_4 , NO_2 , PO_4 og OrgP fra hvert opland. Modellen er drevet af daglige, observerede klimaparametre (nedbør, temperatur, vindhastighed, solindstråling, relativ fugtighed). Landbruget i oplandet simuleres i modellen og matcher fordelingen af landbrugstyper (kvæg-, svin-, plantebrug og andet samt gødskningsintensiteten – intensiv, middel, ekstensiv) og afgrøder, der findes i landbrugsstatistikken, igennem 14 forskellige 5-årige afgrøderotationer. Den p.t. anvendte regionale SWAT-model bygger på landbrugsdata repræsentativ for 2005 og vil følgelig give resultater, der er baseret på landbrug i 2005. SWAT-modellen er for hhv. afstrømning og næringsstoffer kalibreret individuelt for en række oplande, hvis udløb matcher placeringen af en monitoringsstation (*figur 2.2*). De øvrige umålte oplande har fået overført et kalibreret parametersæt, efter 'nearest neighbour'-princippet. Kalibreringen er primært foretaget i den sydlige og østlige del af Limfjordsoplandet, da det er her de fleste monitoringsstationer findes. SWAT bruges indtil videre primært i forskningsøjemed i Danmark og kan fx bruges til scenarier af landbrugspraksis (ændret gødskning, afgrødevalg, efterafgrøder, sprøjtning, tidspunkter for markoperationer m.m.), arealanvendelse og klimaændringer. Modellens udvikling drives primært af institutioner i USA (USDA), men fordi koden bag er open source, er der løbende udviklingsbidrag fra Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, som anvender modellen i nationale og EU-projekter og bl.a. som input til lokale marine modeller på Aarhus Universitet.

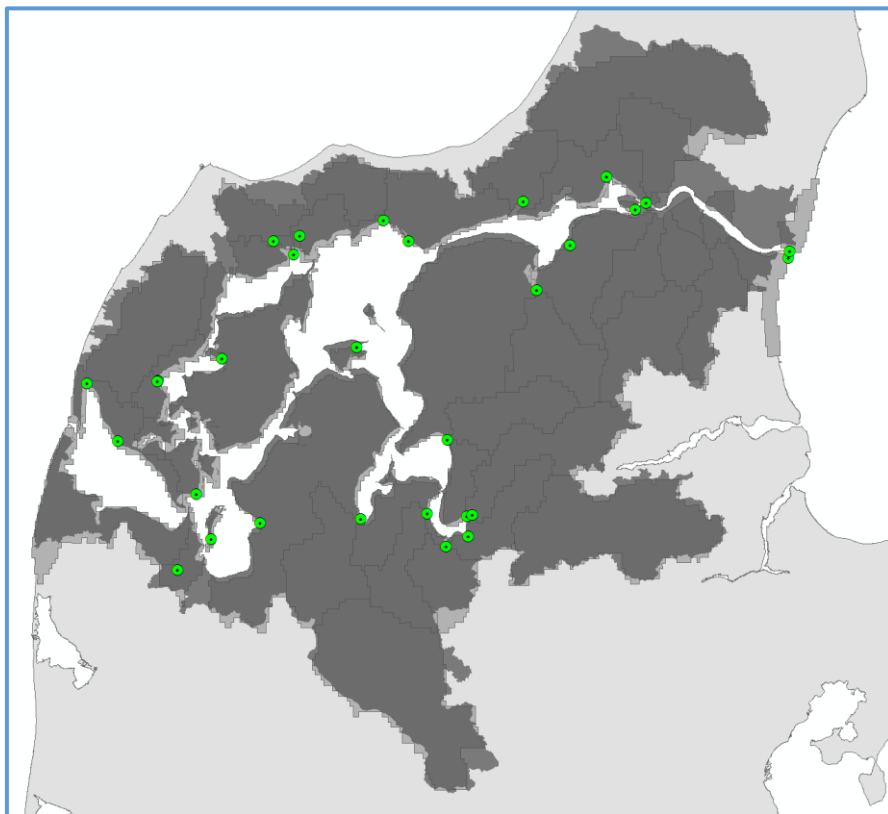
Figur 2.2. SWAT's 118 oplande (82 med direkte udløb), der dræner til Limfjorden. Blå oplande er kalibreret for både afstrømning og næringsstoffer. Lyseblå oplande er kun kalibreret for afstrømning. Grå oplande er ikke kalibreret direkte, men får overført kalibreret parametersæt fra et kalibreret opland.



2.3 E-HYPE

E-HYPE (The Hydrological Predictions for the Environment) er en semi-distribueret, dynamisk oplandsmodel, der beskriver det hydrologiske system, næringsstoffdynamik og vegetationsdynamik (Arheimer et al. 2008; Lindström et al. 2010). Modellen er sat op for Europa og indeholder 42 deloplande til Limfjorden. Disse deloplande har 30 direkte udløb til Limfjorden, som svarer til den rumlige opløsning for DK-QNP (figur 2.3). E-HYPE giver daglige værdier af Q, TN og TP. Modellen har mulighed for at beregne forskellige fraktioner af næringsstoffer, men i denne version leveres der kun TN og TP. Derfor bliver TN efterfølgende fordelt på to faste fraktioner, NO_3 og NH_4 , mens hele puljen af TP indgår i PO_4 for alle kilder, når værdierne bruges i den koblede marine model HBM-ERGOM. Derudover anvendes der klimatiske værdier for den organiske pulje. Modellen er drevet af daglige, observerede klimaparametre (nedbør, temperatur, vindhastighed, solindstråling, relativ fugtighed). De forskellige typer af arealanvendelse inkl. landbrug og afgrødetyper er inkluderet i modellen baseret på en gennemsnitsbetragtning af perioden 2000-2010. Modellen er kalibreret mod 116 udvalgte oplande i Europa, der ligger opstrøms målestationen for perioden 1980-2000. E-HYPE blev udviklet af Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) tidligt i 2000'erne i forbindelse med implementeringen af vandrammedirektivet i Sverige (<http://hypecode.smhi.se/about-hype/>). Modellen bruges i en lang række EU-projekter og videreudvikles løbende. Den kører operationelt og leverer dagligt opdaterede ('real-time') værdier til regionale marine modeller, inklusiv den operationelle 3D model HBM-ERGOM for Nordsøen-Østersøen, som benyttes af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), Aarhus Universitet, Institut for Bioscience og Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH).

Figur 2.3. E-HYPE (lysegrå) overlappet af DK-QNP oplandet (mørkegrå), grønne punkter er E-HYPE udløbspunkter.



3 Resultater

3.1 Afstrømning til Limfjorden

Den årlige afstrømning til Limfjorden er opgjort for alle tre modeller, DK-QNP, SWAT og E-HYPE. Forskellen i årsafstrømning ses af *figur 3.1* og *tabel 3.1*. Da ca. halvdelen af DK-QNP oplandet er dækket af målinger, vurderes den årlige gennemsnitsværdi på $2700 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som værende tættest på den reelle afstrømning. For seksårsperioden 2010 til 2015 er afvigelsen -3 % for SWAT og -1 % for E-HYPE, som indikerer en god simulering af vandbalancen. Afvigelsen er for de enkelte år -13 % til 18 % for E-HYPE og -17 % til 8 % for SWAT.

Tabel 3.1. Årlig gennemsnit (afrundede) og standardafvigelse (2010-2015) af tilstrømning og tilførsler af TN, TP, DIN og DIP.

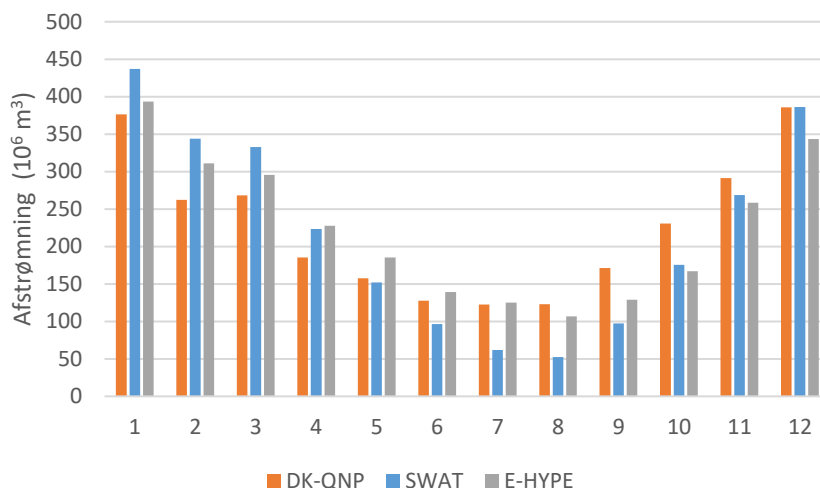
	DK-QNP	SWAT	E-HYPE
Q (10^6 m^3)	2700 ± 370	2600 ± 440	2700 ± 590
TN (tons)	13000 ± 2400	17800 ± 2200	11000 ± 1700
TP (tons)	400 ± 70	360 ± 50	220 ± 50
DIN (tons)	-	16600 ± 2200	8900 ± 1300
DIP (tons)	-	100 ± 20	190 ± 30

Figur 3.1. Årlig afstrømning til Limfjorden for perioden 2010-2015 fra de tre modeller.



Den middelmånedlige afstrømning viser generelt en modelleret overestimering af afstrømningen fra januar til april og en underestimering mellem august og november, SWAT har lidt større udsving end E-HYPE (*figur 3.2*).

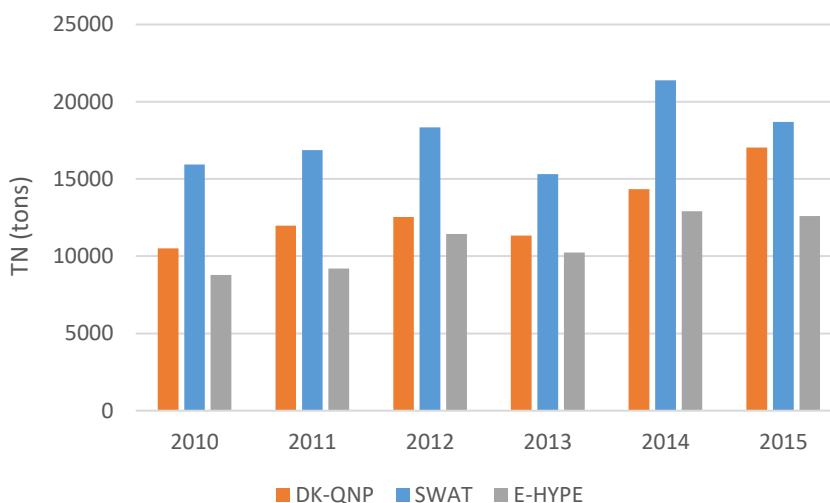
Figur 3.2. Månedlig afstrømning til Limfjorden.



3.2 Tilførsel af total-N til Limfjorden

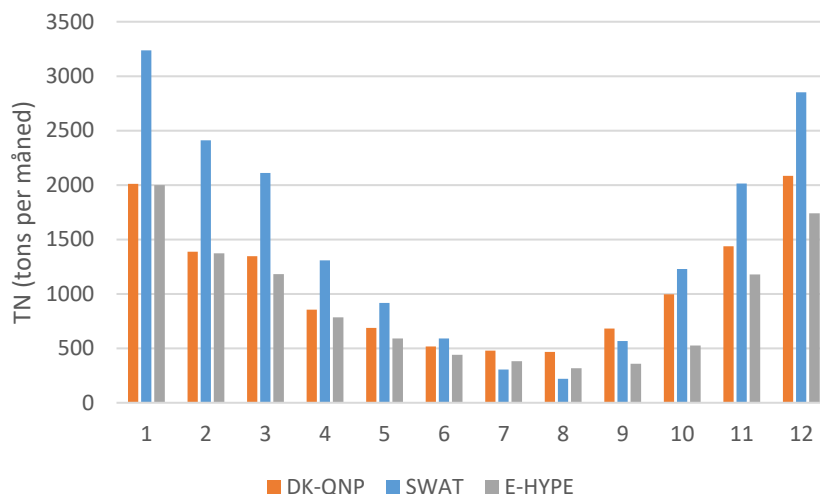
Den årlige TN-tilførsel til Limfjorden er opgjort med både DK-QNP, SWAT og E-HYPE (figur 3.3). Den årlige gennemsnitlige tilførsel er 13.000 tons N for DK-QNP (tabel 3.1). SWAT overestimerer tilførslen for alle 6 år og udgør som middel 137 % (110 %-151 %) af DK-QNP-tilførslen. E-HYPE er lavere end DK-QNP alle år og udgør som middel 84 % (74 %-91 %) af DK-QNP-tilførslen. E-HYPE er således tættere på DK-QNP end SWAT i 5 af 6 år.

Figur 3.3. Årlig TN-tilførsel til Limfjorden for de tre modeller.



Den månedlige TN-tilførsel er højest om vinteren og lavest om sommeren for alle tre modeller. Der tegner sig det samme mønster som for den årlige TN-tilførsel, hvor SWAT overestimerer og E-HYPE underestimerer TN-tilførslen lidt (figur 3.4). Specielt i perioden november til april overestimeres tilførslen med SWAT. Begge modeller underestimerer tilførslen i juli, august og september.

Figur 3.4. Månedlig TN-tilførsel til Limfjorden for de tre modeller.

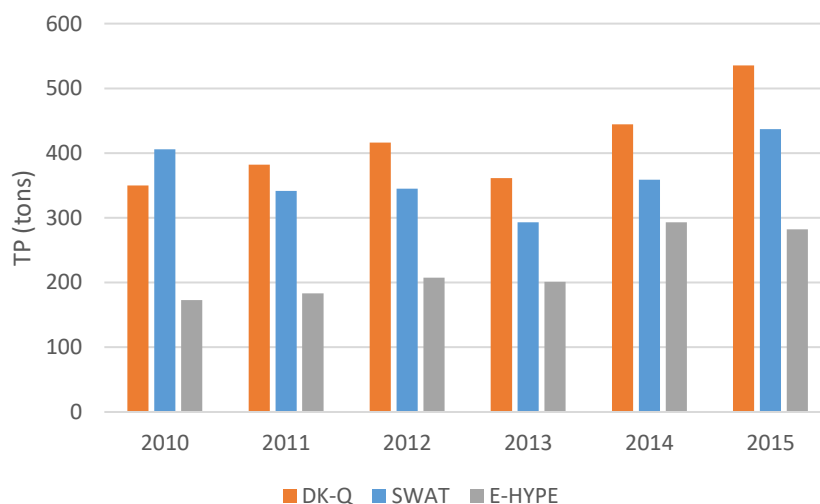


3.3 Tilførsel af total-P til Limfjorden

Den årlige TP-tilførsel er modelleret med både DK-QNP, SWAT og E-HYPE (figur 3.5). Det årlige gennemsnit fra DK-QNP-modellen er på 400 tons P (tabel 3.1). SWAT udgør 88 % (81 %-116 %) af DK-QNP, mens E-HYPE generelt er lavere og udgør 54 % (48 %-66 %) af DK-QNP-tilførslen for den seksårige periode.

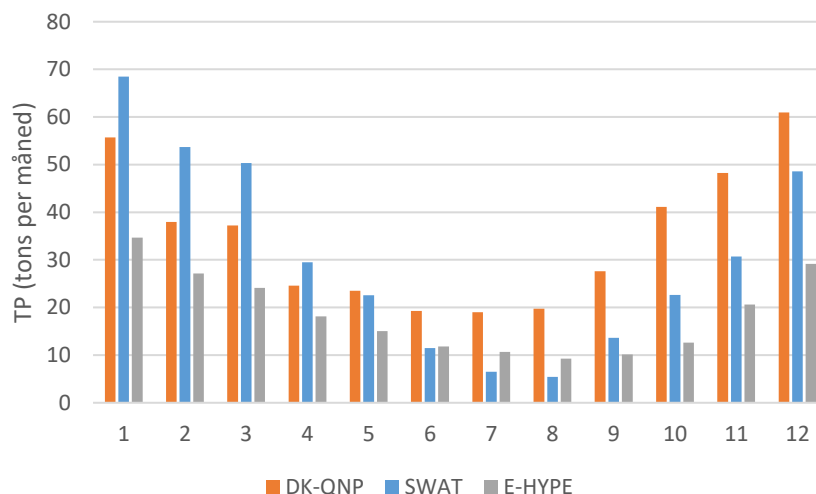
Punktkilder (rensningsanlæg m.m.) er i nogle områder vigtige kilder for TP (Thodsen et al. 2016). Alle punktkilder i oplandet til Limfjorden er inkluderet i DK-QNP. Punktkilder, der ikke er udledt direkte til havet, er inkluderet i SWAT- og E-HYPE-modellerne (Thodsen et al. 2016). Det er ikke opgjort i SWAT eller E-HYPE, hvor stor en andel af TP-tilførslen til Limfjorden, der stammer fra punktkilder.

Figur 3.5. Årlig TP-tilførsel til Limfjorden for de tre modeller.



Den månedlige fordeling af TP-tilførsel er højest i vinterhalvåret og lavest i sommerhalvåret (figur 3.6). E-HYPE er lavere end DK-QNP i alle måneder og lavere end SWAT i alle måneder undtagen i juni, juli og august. SWAT er højere end DK-QNP i januar til april, men lavere imellem juni og december (maj er nogenlunde ens).

Figur 3.6. Månedlig TP-tilførsel til Limfjorden for de tre modeller.



3.4 Tilførsler af uorganisk N og P til Limfjorden

Tilførslen af opløst uorganisk N (DIN) og P (DIP) er beregnet med SWAT og E-HYPE. E-HYPE-værdier er dog baseret på efterbehandlede modeldata, som forklaret tidligere. DK-QNP leverer kun TN og TP, så der kan ikke umiddelbart beregnes værdier for DIN og DIP.

Årsværdierne af både DIN og DIP er estimeret noget højere for SWAT end for E-HYPE (tabel 3.1). Det er i tråd med, hvad der ses for TN og TP, hvor E-HYPE generelt matcher den årlige tilførsel af TN bedre end SWAT, og hvor SWAT generelt matcher tilførslen af TP bedre end E-HYPE.

3.5 Tilførsler til 6 marine områder i Limfjorden

Afstrømning og næringsstofftilførsel varierer mellem de 6 marine områder i Limfjorden (figur 1.1). Afstrømningen og næringsstofftilførsel var størst til område 6 (østlige del), mens den generelt var lavest til områderne 1 og 2 (vestlige del) (tabel 3.2, 3.3 og 3.4). Som forventeligt er der større afvigelser imellem de tre modeller på tilførsler til de 6 marine områder, end der er for hele Limfjorden. DK-QNP kan heller ikke på samme måde som for opgørelsen til hele Limfjorden anses som den 'korrekte' værdi, da andelen af målt opland er lille i nogle oplande (figur 2.1). Den relative afvigelse for afstrømning modellerne imellem var størst i områder 2 og 5 (E-HYPE), mens den for TN- og TP-tilførsel var størst i område 4 (hhv. SWAT og E-HYPE).

Tabel 3.2. Afstrømning til seks marine områder i Limfjorden (se figur 1.1).

$10^6 \text{ m}^3 \text{ år}^{-1}$	1	2	3	4	5	6
DK-QNP	260	260	440	500	370	880
SWAT	260	260	510	390	430	780
E-HYPE	270	410	400	330	590	680

Tabel 3.3. TN-tilførsel til seks marine områder i Limfjorden.

Tons år^{-1}	1	2	3	4	5	6
DK-QNP	930	2100	2200	1600	1700	4500
SWAT	1400	1400	3100	2600	3400	5700
E-HYPE	1400	1400	1600	970	1900	3700

Tabel 3.4. TP-tilførsel til seks marine områder i Limfjorden.

Tons år ⁻¹	1	2	3	4	5	6
DK-QNP	35	47	69	65	45	150
SWAT	54	59	76	38	43	93
E-HYPE	27	26	32	23	48	68

4 Diskussion og konklusion

I DK-QNP-modellen er ca. halvdelen af oplandet dækket af målinger, og dens resultater anses for at være de mest korrekte ud af de tre anvendte modeller for hele Limfjorden (figur 2.1). De beregnede afstrømningsværdier var dog rimelig ens og indikerer en god simulering af vandbalancen for alle tre modeller for hele Limfjorden. TN-tilførsler var overestimerede af SWAT, mens TP-tilførsler var underestimerede af E-HYPE i forhold til DK-QNP-niveauerne. Den sæsonmæssige udvikling i data var sammenlignelig for de tre modeller med højest tilførsel i vinterhalvåret og lavest i sommerhalvåret. Nøjagtigheden af modellerne på mindre skala, dvs. for de 6 delområder i Limfjorden (tabel 3.2, 3.3 og 3.4), er dog mere usikker, da andelen af målt opland er varierende. DK-QNP kan derfor ikke på samme måde, som for opgørelsen til hele Limfjorden, anses som den 'korrekte' værdi. De lokalt opsatte oplandsmodeller antages dog at være mere nøjagtige end den mere generelle model (E-HYPE) opsat på europæisk skala.

Selvom DK-QNP antages at være mest korrekt i forhold til Q-, TN- og TP-niveauerne for hele Limfjorden, så betyder den grove tidslige opløsning på månedsbasis, at data ikke er velegnede til at drive en 3D marin model (med tidsskridt på sekunder). Med månedlige input vil det ikke være muligt at beskrive den daglige dynamik af fx lagdelingen/opblanding og pulse af næringsalte korrekt i den marine model. Til gengæld så leverer både SWAT og E-HYPE daglige værdier, som er bedre egnede til at forcere en marin model.

Den rumlige fordeling af kilder til Limfjorden vil også have betydning for dynamikken i den marine model, da der oftest ses højeste ændringer i marine variable tæt på udmundingen af en kilde (Maar et al. 2016; Larsen et al. 2017). Her har SWAT en fordel med 82 udløb i Limfjorden mod hhv. 31 og 30 i DK-QNP og E-HYPE (figur 2.1). Den høje opløsning i SWAT gør det til gengæld sværere at producere output, som er realistiske både tidsligt og rumligt. I E-HYPE er oplandsinddelingen ikke helt overensstemmende med den officielle inddeling i DK-QNP (figur 2.3). Der ses både områder medtaget uden for Limfjordsoplandet, og omvendt områder som mangler at blive inkluderet i E-HYPE. For eksempel så inkluderer E-HYPE ikke området nord for Limfjorden i den østligste del af oplandet. Den større geografiske unøjagtighed i E-HYPE sammenlignet med de to andre modeller forøger naturligvis usikkerheden på E-HYPE-tilførslerne til de forholdsvis små marine områder (figur 1.1). Det samme problem, men i mindre grad pga. 82 mod 30 udløbspunkter, ses for SWAT-resultaterne (figur 2.2).

En marin økologisk model kræver, at de totale næringsstofftilførsler (TN og TP) bliver fordelt ud på de forskellige uorganiske og organiske tilstandsvariable (fx NH_4 , NO_3 , PO_4 , detritus) i modellen. Det er derfor her en fordel at anvende SWAT, som beregner både organiske og uorganiske fraktioner af TN og TP. For DK-QNP og E-HYPE er det derimod nødvendigt at efterbehandle TN- og TP-data ud fra litteraturværdier eller tilgængelig data. For DK-QNP er der tidligere blevet anvendt monitoringsdata fra vandløb til inddelingen af TN og TP (Maar et al. 2016).

En anden vigtig parameter i forhold til anvendelsen af oplandsmodeller til forcering af marine modeller er den geografiske og periodemæssige tilgængelighed af data. DK-QNP dækker de danske områder for perioden 1989 op til i

dag og kvalitetssikres én gang om året. SWAT er sat op for alle danske oplande og dækker p.t. perioden fra 1990 til 2016 og opdateres årligt. E-HYPE har til gengæld den fordel, at den dækker hele Europa og således kan levere ensartede data til de regionale marine modeller. Desuden er det en fordel, at den kører operationelt, dvs. den beregner både 'hind-cast' (1980-2017), 'real-time' og 'fore-cast' data til marine modeller.

De beskrevne oplandsmodeller rummer derfor både fordele og ulemper i forhold til at forcere en marin model med en høj rumlig- og tidslig opløsning og behov for flere næringsstoffraktioner. I TASSEEF-projektet anvendes SWAT-data til at dække databehovet bedst muligt for en lokal økologisk Limfjordsmodel. SWAT-data bliver dog korrigeret for de høje TN-værdier mod DK-QNP-niveauer. En nyere version af SWAT er under udvikling på Aarhus Universitet, der formodentligt vil blive mere præcis mht. TN-værdier. For eksempel kan SWAT kombineres med målinger, således at kun de umålte oplande modelleres. En anden mulighed er at opdatere DK-QNP til at kunne beregne daglige værdier og næringsstoffraktioner. E-HYPE bliver også anvendt i TASSEEF-projektet til forcering af den hydrodynamiske model HBM for hele Limfjorden, som indgår i et større modelkompleks for Nordsøen-Østersøen.

5 Referencer

Arheimer B, Lindström G, Pers C, Rosberg J, Strömqvist J (2008) Development and test of a new Swedish water quality model for small-scale and large-scale applications. XXV Nordic Hydrological Conference, Reykjavik, August 11-13, 2008 NHP Report No 50: 483-492

Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR (1998) Large area hydrologic modeling and assessment - Part 1: Model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34:73-89

Henriksen HJ, Troldborg L, Nyegaard P, Sonnenborg TO, Refsgaard JC, Madsen B (2003) Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark. *Journal of Hydrology* 280:52-71

Larsen J, Maar M, Brüning T, She J, Mohn C (2017) Flexsem: a new method for offline ocean modelling. Technical report from DCE - Danish Centre for Environment and Energy No 105

Larsen, S.E., Windolf, J., Tornbjerg, H., Hoffmann, C.C., Søndergaard, M. & Blicher-Mathiesen, G. 2018. Genopretning af fejlbehæftede kvælstof- og fosforanalyser. *Ferskvand*. Aarhus Universitet, DCE- Nationalt center for Miljø og Energi, 70 s. – Teknisk rapport fra DCE- Nationalt center for Miljø og Energi nr. 110. <http://dce2.au.dk/pub/TR110.pdf>

Lindström G, Pers C, Rosberg J, Strömqvist J, Arheimer B (2010) Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41:295-319

Molina-Navarro E, Andersen HE, Nielsen A, Thodsen H, Trolle D (2017) The impact of the objective function in multi-site and multi-variable calibration of the SWAT model. *Environmental Modelling & Software* 93:255-267

Maar M, Møller EF, Larsen J, Madsen KS, Wan ZW, She J, Jonasson L, Neumann T (2011) Ecosystem modelling across a salinity gradient from the North Sea to the Baltic Sea. *Ecological Modelling* 222:1696-1711

Maar M, Markager S, Madsen KS, Windolf J, Lyngsgaard MM, Andersen HE, Møller EF (2016) The importance of local versus external nutrient loads for Chl *a* and primary production in the Western Baltic Sea. *Ecological Modelling* 320:258-272

Thodsen H, Windolf J, Rasmussen J, Bøgestrand J, Larsen SE, Tornbjerg H, Ovesen NB, Kjeldgaard A, Wiberg-Larsen P (2016) Vandløb 2015. NOVANA. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 206

Windolf J, Thodsen H, Troldborg L, Larsen SE, Bogestrand J, Ovesen NB, Kronvang B (2011) A distributed modelling system for simulation of monthly runoff and nitrogen sources, loads and sinks for ungauged catchments in Denmark. *Journal of Environmental Monitoring* 13:2645-2658

[Tom side]

AFSTRØMNING OG NÆRINGSSTOFTILFØRSLER TIL LIMFJORDEN BASERET PÅ TRE FORSKELLIGE MODELLER

Denne rapport sammenligner beregnede afstrømninger og næringsstofftilførsler til Limfjorden fra tre forskellige oplandsmodeller og evaluerer deres egnethed som input til marine modeller. I den nationale, empiriske model QNP-DK er ca. halvdelen af oplandet dækket af målinger og anses for at give de mest korrekte resultater ud af de tre anvendte modeller. Modellen har dog en forholdsvis grov rumlig og tidslig (månedlig) opløsning sammenlignet med de dynamiske SWAT- og E-HYPE-modeller. De beregnede afstrømningsværdier var dog rimelig ens og indikerer en god simulering af vandbalancen for alle tre modeller for hele Limfjorden. TN-tilførsler var overestimerede af SWAT, mens TP-tilførsler var underestimerede af E-HYPE i forhold til DK-QNP-niveauerne. Den sæsonmæssige udvikling i data var sammenlignelig for de tre modeller med højest tilførsel i vinterhalvåret og lavest i sommerhalvåret. Den lokalt opsatte SWAT-model havde flest ferskvandskilder, daglige tidsskridt og flere næringsstoffraktioner, som gjorde den mest egnet som input til en økologisk Limfjordsmodel. SWAT-data blev dog korigeret for de høje TN-værdier mod DK-QNP-niveauer. E-HYPE havde den største geografiske dækning og blev brugt til forcering af den hydrodynamiske model HBM for Limfjorden, som indgår i et større modelkompleks for hele Nordsøen-Østersøen.