

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Notat

SEGES Innovation
Plante- & MiljøInnovation

Notat omkring modelopsætning og kalibrering for Odense Fjord	Ansvarlig	hmhm & matl
	Oprettet	18-01-2024
Projekt: 2555 Succes med vandmiljøet og økonomi for landbruget	Side	1 af 14

SWAT+ modelopsætning for udvaskning af kvælstof til Odense Fjord

Introduktion

Dette dokument beskriver modelopsætningen og kalibreringen af SWAT+ modellen til Odense Fjord i projektet *2555 Succes med vandmiljøet og økonomi for landbruget* ledet af Flemming Gertz, SEGES. Formålet med modelopsætningen er at have en hurtig og dynamisk model til at beskrive udvaskningen til Odense Fjord ved forskellige scenarier.

Opsætningen af SWAT+ modellen er sket i tæt samarbejde med Katrin Bieger fra Aarhus Universitet. Parallelt med vores projekt har AU et EU-projekt om udvaskning fra Odense Fjord, så vi i samarbejde kan sætte en fælles model op for oplandet. SEGES bidrager med sædskifter og generel landbrugsfaglig viden og AU bidrager med ekspertise indenfor modelopsætning i SWAT+.

Arbejdet med at sætte en SWAT+ model op for Odense Fjord er startet i 2022 i projektet Helhedsorienteret Vandmiljøindsats. Mappen med SWAT+ opsætning findes [her](#), hvor der findes de grundlæggende opsætningstrin, som der er fulgt.

Til arbejdet er der brugt meget tid på at lave en ny sædskiftemodel for Odense Fjord oplandet. Til dette arbejde har Søren Kolind Hvid og Jacob Krog fra SEGES begge hjulpet meget til.

SWAT+ modellen

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) er et modelværktøj, der bl.a. bruges til at beregne oplandsbaserede simulationer af vandstrømninger, næringsstoftransporter og pesticidtransport. SWAT+ modellen er en populær og anerkendt model der bliver brugt i tusindvis af peer-reviewed publikationer (https://www.card.iastate.edu/swat_articles/INDEX.ASPX). SWAT+ er en videreudvikling af SWAT. SWAT+ er designet til at have langt flere avancerede funktioner og egenskaber til at håndtere udfordrende oplandsmodelleringer og som bedre skal kunne beskrive de hydrologiske processer og stoftransporten i naturlige systemer. SWAT+ modellen køres igennem et plugin til QGIS.

Input data

Til selve modelopsætningen af SWAT+ modellen kræves viden om topografi, jordtype, arealanvendelse, vejrforhold samt søer og vandløb. I dette projekt har vi anvendt input data, som er vist i tabel 1 nedenfor. Input data inkluderer et kort over topografien, et jordtypekort, information om arealanvendelse, sædskifter og bedriftstyper i området, kort over søer og vandløb samt en tidsserie af klimadata (temperatur, minimum og maksimum lufttemperatur, solindstråling, luftfugtighed, og vindstyrke).

Tabel 1. Inputdata til SWAT+ model brugt i projektet.

Input data	Beskrivelse
Topografi	Danmarks højdemodel af Fyn (32 m x 32 m)
Arealanvendelse	Kombination af arealanvendelse over Fyn hentet fra MiljøGIS under og markkort hentet fra LandbrugsGIS (10 m x 10 m)
Jorddata	Nationalt jordbundstypekort (250 m x 250 m)
Markkort	Markblokkort fra Landbrugsstyrelsen fra 2020
Vejrdata	Korrigeret nedbørskort (10 km grid); temperatur og fugtighed; solindstråling og vindhastighed fra DMI (20 km grid)
Søer	Kort over søer på Fyn fra MiljøGIS
Vandløb	Kort over vandløb på Fyn fra MiljøGIS

Til at opstille sædskifter for Odense Fjord er der taget udgangspunkt i det landsdækkende markkort, hvor alle CVR-registrerede marker i Danmark indgår. Dette datasæt er kombineret med Gødningsregisteret. Gødningsregisteret indeholder informationer om type og mængde af gødning, som landmanden har brugt i det pågældende gødningsår. Det er en opgørelse pr. CVR nr. med den totale mængde gødning og harmoniareal. Der er brugt data fra 2020. Det oprindelige data findes tilgængeligt [her](#) og [her](#). Ved at kombinere disse to datasæt fås et samlet datasæt med alle bedrifter og deres marker, og det samlede gødningsregnskab pr. bedrift. I dette samlede datasæt har vi også viden om, hvilke afgrøder der er dyrket, hvilken jordtype der er, om markerne kan vandes, hvilket kystvandområde de tilhører og mere.

Det samlede datasæt med alle bedrifter og deres marker er blevet brugt til at sammensætte repræsentative typesædskifter for Odense Fjord oplandet. Først er bedrifterne blevet inddelt i repræsentative bedriftstyper inklusiv bl.a. planteavlbedrift, kvæg- og svinebrug. Dernæst er disse bedriftstyper blevet yderligere inddelt i specifikke plantetyper, husstandsbesætning ud fra afrapporteret nitrogenforbrug, samt konventionel og økologisk produktion. Dette resulterer i 13 unikke bedriftstyper, hvor hver bedriftstype får tildelt deres egen unikke 5- til 8-årssædskifter. Hver mark i markkortet har herefter fået tildelt en bedriftstype. Markkortet indeholder kun opdyrket områder, men SWAT+ opsætningen har også behov for generel viden om ikke-opdyrkede områder. Derfor er markkortet kombineret med et generelt arealanvendelseskort. En oversigt over alle sædskifter ses i figur 1.

CR1 Seed production conv		CR2 Seed production conv		CR3 Vegetables conv		
Year	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop
1	Spring barley	Undersown grass	Spring barley	Undersown grass	Peas	Catch crop
2	Rye grass	Catch crop	Rye grass		Onion	Catch crop
3	Spring barley		Rye grass	Catch crop intermediate	Peas	Catch crop
4	Winter rape		Winter wheat		Spring barley	Catch crop
5	Winter wheat	Catch crop intermediate	Spring barley	Undersown grass	Winter wheat	
6	Winter wheat	Catch crop	Rye grass	Catch crop intermediate	Spring barley	Catch crop
7			Winter wheat	Catch crop	Peas	Catch crop
CR4 Potatos conv		CR5 Cattle >20% roughage conv		CR6 Cattle >20% roughage conv		
Year	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop
1	Winter wheat	Catch crop	Spring barley		Maize	Catch crop
2	Potatos		Grass with legume		Maize	Catch crop
3	Spring barley	Undersown grass	Grass with legume		Spring barley	Undersown grass
4	Rye grass		Maize	Catch crop	Rye grass	
5	Winter wheat	Catch crop	Maize	Catch crop	Winter wheat	
6	Potatos		Maize	Catch crop	Winter wheat	
7	Spring barley		Maize	Catch crop	Spring barley	Catch crop
8						
CR7 Cattle >20% roughage conv		CR8 Cattle <20% roughage conv		CR9 Cattle <20% roughage conv		
Year	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop
1	Winter wheat	Catch crop intermediate	Spring barley	Undersown grass	Spring barley	Undersown grass
2	Winter wheat	Catch crop	Grass with clover		Rye grass	
3	Spring barley	Undersown grass	Maize	Catch crop	Rye grass	
4	Rye grass		Maize	Catch crop	Winter wheat	
5	Winter barley		Spring barley	Undersown grass	Winter barley	
6	Winter rape		Rye grass	Catch crop	Winter rape	
7			Winter wheat	Catch crop intermediate	Winter wheat	Catch crop
8			Winter wheat		Spring barley	Catch crop
CR10 Oil seeds and legumes conv		CR11 Oil seeds and legumes conv		CR12 Pigs >80 kg N conv		
Year	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop
1	Winter barley		Spring barley		Winter barley	
2	Winter rape		Winter rape		Winter rape	
3	Winter wheat	Catch crop intermediate	Winter wheat	Catch crop	Winter wheat	Catch crop intermediate
4	Winter wheat	Catch crop	Spring barley	Catch crop intermediate	Winter wheat	Catch crop
5	Spring barley	Undersown grass	Winter wheat	Catch crop	Spring barley	Undersown grass
6	Rye grass	Catch crop intermediate	Spring barley	Catch crop intermediate	Rye grass	Catch crop intermediate
7	Winter wheat		Winter rye	Catch crop		
8						
CR13 Pigs >80 kg N conv		CR14 Cattle derogation conv		CR15 Seed production organic		
Year	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop
1	Spring barley		Grass with clover		Spring barley	
2	Winter rape		Grass with clover		Rye grass	
3	Winter wheat	Catch crop intermediate	Grass with clover		Rye grass	
4	Winter wheat	Catch crop	Maize	Catch crop	Spring oats	
5	Spring barley	Catch crop intermediate	Maize	Catch crop	Horse beans	
6	Winter wheat	Catch crop	Maize	Catch crop	Spring oats	
7			Maize	Catch crop	Horse beans	
8			Spring barley	Undersown grass	Winter wheat	
CR16 Cattle >20% roughage organic		CR17 Cattle <20% roughage organic		CR20 Oil seed and legumes organic		
Year	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop	Main crop	Catch crop
1	Grass with clover		Grass with clover		Horse beans	
2	Grass with clover		Grass with clover		Winter wheat	
3	Grass with clover		Grass with clover		Spring barley	
4	Spring oats		Spring oats		Peas	
5	Maize		Rye grass		Winter rye	
6	Spring oats	Undersown grass	Spring barley		Horse beans	
7	Rye grass		Spring oats		Spring oats	
8	Winter rye	Catch crop	Winter wheat		Spring barley	
CR21 Permanent grass						
Year	Main crop	Catch crop				
1	Grass					
2	Grass					
3	Grass					
4	Grass					
5	Spring Barley	Catch crop				

Figur 1. Oversigt over alle typebedrifter og sædskifter opsat i Odense Fjord oplandet.

Under opsætningen af SWAT+ modellen viste det sig at der vil blive dannet enormt mange HRU-enheder i modellen, hvis alle typebedrifter blev implementeret i modellen. Antallet af HRU-enheder har en direkte effekt på modellens kørselstid, og for mange gør det praktisk talt umuligt at kalibrere modellen, da

flere HRU-enheder øger kørselstiden af modellen. Derfor er der valgt at samle enkelte af de mindre typebedrifter med andre og kun tildele ét sædskifte pr. typebedrift. De implementerede typebedrifter og deres sædskifte kan ses i tabel 2.

Tabel 2. Implementerede typebedrifter og deres tilhørende sædskifte.

Typebedrifter	% af oplandet	% af opdyrket land og beboelsesområder	Sædskifte anvendt i SWAT+
Kartoffel med min. 15% kartofler (konventionel)	1,45	2,4	4
Grøntsager med min 20% grøntsager (konventionel)	0,97	1,6	3
Frøavl med min. 15% frøgræs og < 80 kg N (både konventionel og økologisk)	2,33	3,9	2
Grisefarm < 80 kg N/ha (konventionel)	2,00	3,3	13
Grisefarm > 80 kg N/ha (konventionel)	12,34	20,5	13
Kvægfarm 80 – 170 kg N/ha og < 20% grovfoder (konventionel og økologisk)	2,27	3,8	5
Kvægfarm 80 – 170 kg N/ha og > 20% grovfoder (konventionel og økologisk)	6,58	10,9	5
Planteavl med > 75% raps + vårfrø + vinterfrø + oliefrø (konventionel og økologisk)	19,99	33,2	10
Græs omdrift miljø	4,77	7,9	21
Permanent græs	3,35	5,6	21
Ikke landbrugsproduktion	0,23	0,4	-
Fastholdelsesarealer (frugtplanter, bærproduktion, planteskoler)	2,53	4,2	10
Ukendt	0,21	0,3	10
Andet	1,17	1,9	10

Regnearket Kalkule Mark kan beregne, hvor meget gødning hver afgrøde er blevet tildelt. Det er Søren Kolind Hvid der har udviklet regnearket. I dette projekt er regnearket brugt til at skrive sædskifterne ind og sørge for, der bruges den rette mængde efterafgrøder for at leve op til kravene. De er sat op i Kalkule Mark [her](#).

For at finde den rette gødningsmængde er feltet 717 brugt fra gødningsregnskabet. Dette felt indeholder gødningsmængden (husdyr) pr. harmoniareal. Der er for hver bedriftstype indenfor Odense Fjord oplandet fundet den gennemsnitlige mængde gødning, som er brugt. Denne mængde er sat ind i Kalkule Mark i feltet "husdyrg., total-N". Af gødningsmængde er der valgt kvæggylle ved kvægbedrifter og ellers er der valgt svinegylle. Kalkule Mark beregner selv udnyttelsesprocenten som er 80% for svinegylle og 75% for kvæggylle. I dette [ark](#) er angivet værdierne for felt 717, som er brugt som den gødningsmængde bedriftstyperne i gennemsnit har tildelt markerne. Det er flyttet til et nyt excelark, for at gøre beregningerne hurtigere, men det oprindelige data stammer [herfra](#).

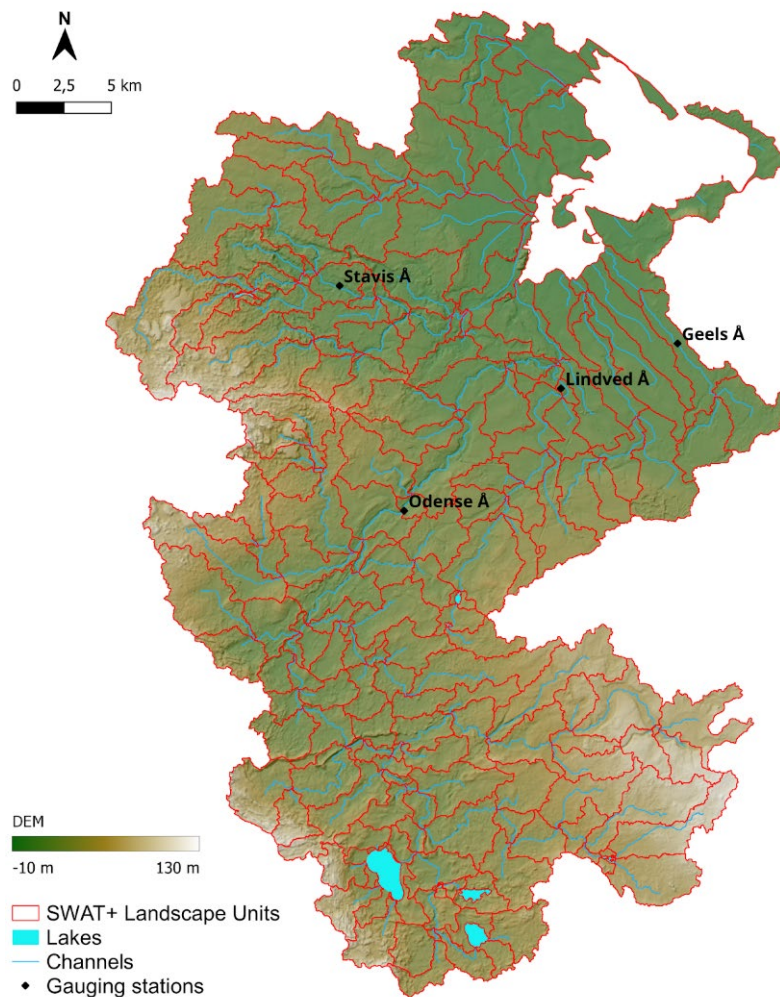
Når gødningsmængden er fundet og denne er sat ind i Kalkule Mark arket "Saedsk", så beregner excel, hvor meget handelsgødning der skal tilføjes for at nå op til normen. Den fordeler også husdyrgødningen baseret på afgrødens norm, hvilken forfrugt der har været, og om der er efterafgrøde. Derfor vil en vårbyg på JB6 ikke altid have den samme gødningsmængde, da det afhænger af flere ting. Dette gør det også svært at opstille generelle gødningsmængder. Dette kan overvejes, om det ikke er bedre at opstille

generelle norm-gødningmængder, for at gøre SWAT-modellen mere generisk. I arket "CR to SWAT input" i [dette](#) excelark er der lavet kopier fra Kalkule Mark. Det er fordi, at i Kalkule Mark ændres gødningsberegningerne sig hver gang der ændres i, hvor stort et input af gødning sædskiftet får. Her er der kopieret over fra Kalkule Mark, så det er den rette mængde gødning for hvert sædskifte, der vises. Det er denne mængde, som skal bruges til at sætte gødningmængden ind i SWAT-modellen.

Modelopsætning

Modelopsætningen er gennemført med QSWAT+ interface (version 2.4.6). Dette værktøj eksisterer som et plugin til QGIS, og det er benyttet til opsætning af oplandet. Derudover indeholder værktøjet også en SWAT+ Editor (version 2.3.3), som er blevet anvendt til dannelsen af SWAT+ inputfiler.

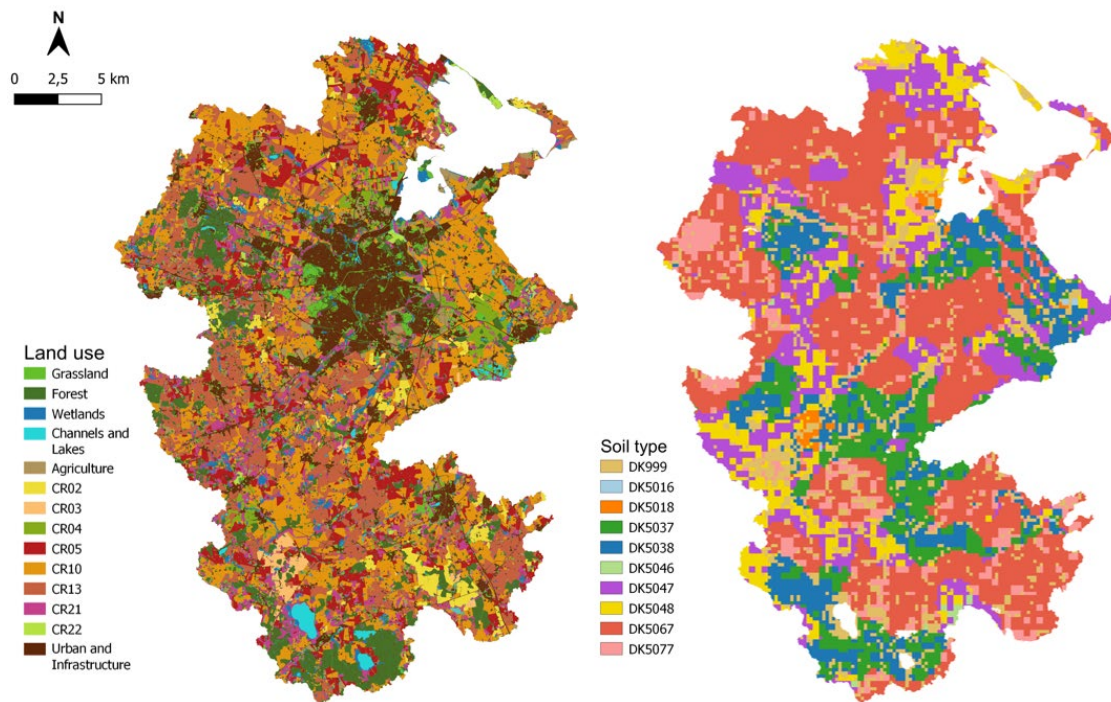
I første skridt af opsætningen af et opland i SWAT+ modellen skal vandskellene defineres hvilket sker gennem en beregning baseret på topografi- sø- og vandløbsdata. Ud fra DEM data opdeles oplandet først i landskabsenheder, hvorefter vandløbenes udformning i området udregnes. QSWAT+ har en "burn-in" funktion, som tillader at definere vandløbene i modellen på baggrund af opmålte vandløbsdata. Ved brug af burn-in funktionen sænkes topografien i de modelpunkter, som overlapper med vandløbsdata. Herved assisterer burn-in funktionen med at identificere og beregne de korrekte placeringer af vandløb i oplandet. Dette er særligt nødvendigt for et opland som Odense Fjord, da vandløb er besværlige at opløse i områder med flad topografi. QSWAT+ tillader også brugeren at styre en tærskelværdi, der afgør minimumsarealet, som er nødvendigt for at danne et vandløb i modellen. Sættes denne tærskelværdi lavt vil der dannes en meget detaljeret vandløbsskildring med inkludering af alle mindre vandløb. Omvendt vil en stor tærskelværdi kun vil opløse de større vandløb i oplandet. Med efterprøvning af forskellige tærskelværdier endtes det med en værdi på 3 km², som gav en tilfredsstillende skildring af vandløbene i Odense Fjord oplandet. Herefter indlæses sødata til QSWAT+. QSWAT+ interface kan kun indlæse søer, som er forbundet til vandløb i oplandet, og derfor blev 9 mindre søer fjernet fra datafilen på grund af manglende forbindelse. I sidste skridt af defineringen af vandskellene skal landskabsenhederne opdeles i højbundsarealer og ådale. Her anvendtes en "branch length method", hvor en tærskelværdi på 0.1 blev benyttet. Landskabsenhederne samt definerede vandløb og søer ses på figur 1.



Figur 2. Odense Fjord oplandet inddelt i SWAT+ landskabsenheder samt vandløb, søer og målestationer som senere bruges til kalibrering af afstrømning og kvælstoftransport. Bemærk landskabsenheder på dette kort ikke vises opdelt i ådale og højbundarealer.

Algoritmen i QSWAT+, som bruges til at udregne vandskellene, virker kun for arealer, der drænes til et vandløb. Da enkelte områder i den nordlige del af oplandet drænes direkte til det indre farvand i fjorden er det nødvendigt at inkludere disse områder til modelopsætningen manuelt i QGIS. De manuelle ændringer af landskabsenhederne resulterer i modificering af landskabsenhedernes udbredelse langs fjorden samt tilføjelse af 3 manglende landskabsenheder, som blev optegnet ud fra ID15-oplande og kystlinjen af Odense Fjord. Den endelige modelopsætning består af 420 landskabsenheder, 197 vandløb og 8 søer.

Næste skridt efter at vandskellene er blevet beregnet er at definere såkaldte "Hydrological Response Units" også kaldet HRU-enheder. Disse enheder er små, unikke celler i modellen, og er afgrænset på antagelsen at arealet indenfor hver HRU-enhed opfører sig ens i forhold til input data. HRU-enhederne defineres med udgangspunkt i arealanvendelses- og jordbundstypekort samt et hældningskort, som er dannet i QSWAT+ på baggrund af brugerdefinerede hældningsklasser og topografidata. Ved at lægge disse kort oven på hinanden opnås i alt 20012 HRU-enheder i modellen.



Figur 3 Arealanvendelses- og jordbundstypekort anvendt i SWAT+ modellen.

Sidste skridt før modelkalibreringen er at indlæse vejrdata og udskrive alle SWAT+ inputfilerne gennem SWAT+ Editor. Enkelte standardværdier i SWAT+ Editor afspejler ikke nødvendigvis de specifikke forhold i Odense Fjord oplandet, og derfor er nogle af inputfiler blevet redigeret manuelt før modelkalibreringen:

- Dræn er blevet implementeret i alle de HRU-enheder, som både er defineret som landbrugsjord og har en gennemsnitshældning mindre end 5%. Dette resulterer samlet set i at omkring 80% af i Odense Fjord oplandet er drænet.
- Værdierne af tre parametre, som styrer udløbs- og nedsivningspotentialer i HRU-enhederne, er blevet tilrettet, da deres værdier i den nuværende version af SWAT+ Editor ikke er korrekte. Dette er sket efter anbefaling fra SWAT+ udviklingsteamet.
- Bedriftstabeller, som er defineret ud fra de forskellige sædskifter, er implementeret i modellen. Disse tabeller indeholder præcise datoer for markhandlinger såsom høstning, såning, tilførsel af gødning osv.
- Punktkilder for de ti største vandværker i Odense Fjord oplandet er implementeret og forbundet til deres nærmeste vandløb.
- Et udløb til fjorden er tilføjet i modelopsætningen. I dette udløb summeres den samlede afstrømning og kvælstoftransport fra alle vandløb der løber til Odense Fjord.

Modelkalibrering og validering

Modellen er kalibreret med SWAT+ version 60.5.7 (30. oktober, 2023), og data er blevet anvendt til både kalibrering og validering af SWAT+ modellen.

Før kalibreringen er det nødvendigt at evaluere bedriftstabellerne og plantevæksten i modellen. Til denne diagnosticering er R-værktøjet SWATdoctR blevet anvendt til at verificere at modellen er opsat korrekt. SWATdoctR er et værktøj udviklet i R af Svajunas Plunge (<https://biopsichas.github.io/svatools/>), og det består af en række nyttige funktioner til identificering og eliminering af fejl i det tidlige stadie af modelopsætningen.

Bedriftstabellerne indeholder de planlagte markoperationer for modellen, og sommetider kan der være fejl i disse, som er svære at opspore i løbet af modelopsætningen. Hvis der er opstået fejl i bedriftstabellerne, kan det forårsage at enkelte planlagte markoperationer ikke bliver gennemført. Ved hjælp af SWATdoctR køres et hurtigt værktøj, som gennemgår hele bedriftstabellen, hvorved der sørges for at alle markoperationer i modellen bliver gennemført.

Efterfølgende er plantevæksten blevet evalueret. Til dette er den simulerede plantevækst for de forskellige afgrøder blevet sammenlignet med udbytteværdier fra "Vejledning om gødsknings- og harmoniregler for planperioden 2022/2023" fra Landbrugsstyrelsen. Det er vigtigt at sikre sig at den simulerede plantevækst er nogenlunde sammenlignelig med tabelværdierne, da plantevæksten påvirker evapotranspiration, afstrømningsprocesser og næringstransport. Det simulerede udbytte af vårbyg og ærter ligger tæt på udbyttенormen. Det simulerede udbytte af vinterhvede og majs er delvist underestimeret men stadig acceptabelt i forhold til udbyttенormen. Derimod er udbyttet af vinterbyg overestimeret i modellen. I fremtidige modelstudier kan forskellene i simulerede udbytte og udbyttенormen sandsynligvis blive reduceret ved at justere afgrødeparametrene i SWAT+ til bedre at repræsentere de danske forhold og afgrødevarianter produceret i Danmark.

Efter opsætningen af SWAT+ modellen skal den kalibreres med daglige afstrømninger og nitrogentransporter (nitrat og nitrit), således der opnås en tilfredsstillende sammenhæng mellem simulerede og observerede data. Denne kalibrering foregår ved sideløbende at justere og sammenligne udvalgte modelparametre med observationer fra målestationer i oplandet indtil resultatet af baseline modellen er tilfredsstillende.

Daglige data er tilgængeligt fra målestationer ved Odense Å, Stavis Å, Lindved Å og Geels Å. Simuleringsperioden, som strækker sig fra 2008 til 2022, blev opdelt i en opvarmningsperiode fra 2008 til 2010, en kalibreringsperiode fra 2011 til 2016 og en valideringsperiode fra 2017 til 2022.

Til at køre kalibreringen er der blevet brugt SWATrunR, hvilket er et værktøj udviklet i R af Christoph Schuerz (<https://chrisschuerz.github.io/SWATrunR/>). Dette værktøj tillader at køre flere modelsimuleringer parallelt med hinanden med forskellige værdier af essentielle modelparametre, hvilket gør værktøjet ideelt for en mere effektiv kalibrering af større modeller.

Kalibrering af afstrømning blev udført med "Automatic calibration" værktøjet. For hver parameter i kalibreringen blev der testet 280 forskellige værdier indenfor de definerede afgrænsninger, der ses i tabel 4. Der blev brugt "Latin Hypercube Sampling", og alle 280 parameterpar er blevet simuleret.

Tabel 3. Kalibrerede parametre med deres enheder, ændringstype (absval = startværdien er udskiftet, abschg = startværdien er ændret ved at addere eller subtrahere en absolut værdi, relchg = startværdien er ændret med en relativ værdi), minimums- og maksimumsværdi samt deres endelige kalibrerede værdi.

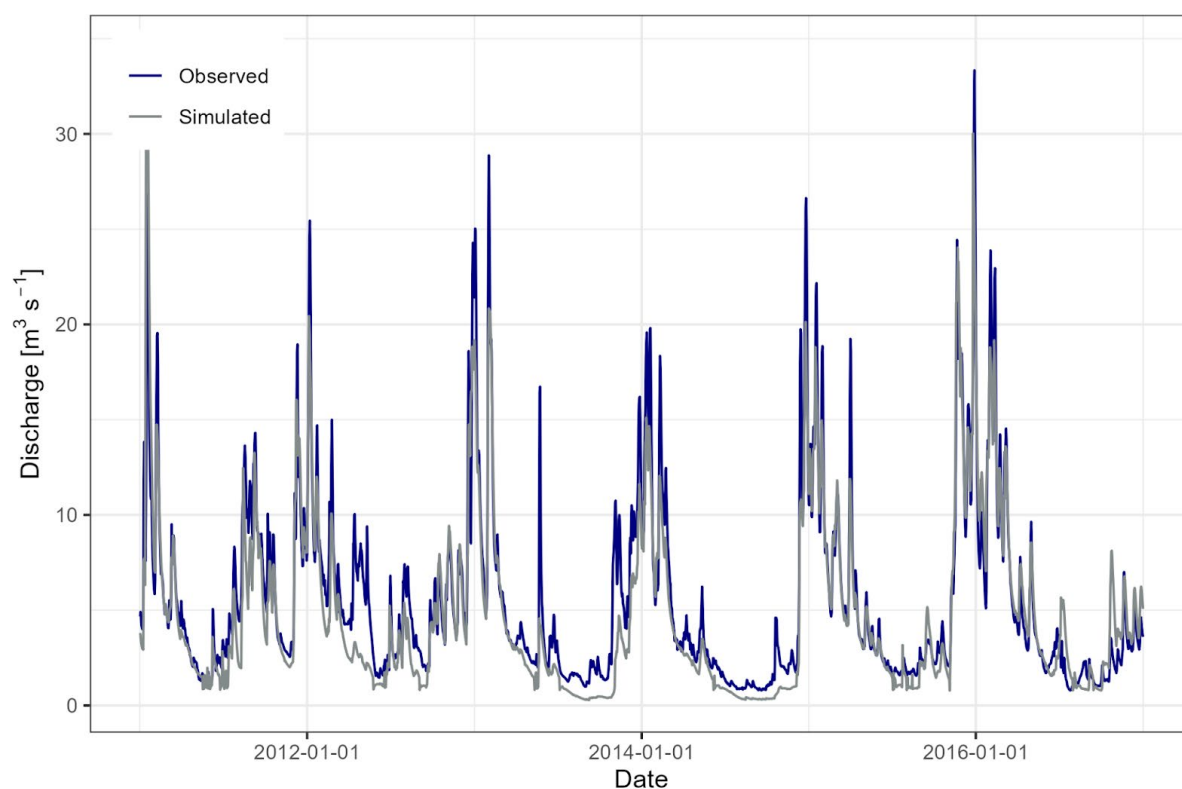
Parameter	Beskrivelse	Enhed	Ændring	Min værdi	Max værdi	Endelig værdi
surq_lag	Overfladeafstrømningsforsinkelseskoeficient		absval	0.05	5	0.32
esco	Kompensationsfaktor for jordevaporation	none	absval	0.1	0.5	0.25
epco	Kompensationsfaktor for planteoptagelse	none	absval	0.1	0.5	0.48
ov_mann	Ruhed over land (Manningtallet n)	none	abschg	-0.3	0.3	0.28
cn2	Curve Number for moisture condition II	none	abschg	-15	0	-8.24
cn3_swf	Soil water adjustment factor for CN3	none	abschg	-0.5	0.5	0.15
perco	Nedsivningskoeficient	none	abschg	-0.5	0.5	-0.12
latq_co	Lateral flowkoeficient	none	abschg	-0.5	0.5	0.07
lat_ttime	Lateral flowhastighed		absval	0.5	20	6.92
dp	Dybde til drænrør for overfladen	cm	absval	800	1200	870.5
t_fc	Dræningstiden	hr	absval	10	72	57.74
lag	Dræningsforsinkelse	hr	absval	10	100	54.33
drain	Dræningskoeficient		absval	10	51	33.39
z	Lagtykkelsen af jordlag	mm	relchg	-0.5	1	0.18
awc	Vandkapacitet i jordlag		relchg	-0.1	0.1	-0.09
k	Hydraulisk konduktivitet i jordlag	mm/hr	relchg	-0.5	1	0.96
alpha	Faktor for grundvandsnedsivning		absval	0.001	0.9	0.42
sp_yld	Specifikt udbytte af vandmagasin		absval	0	0.5	0.25
mann	Ruhed i vandløb (Manningtallet n)		relchg	-0.5	0.5	-0.03

Til at udvælge den model simulation, som har klaret sig bedst i kalibreringen, er der anvendt statistiske analysemetoder til at vurdere kvaliteten af hver enkelt simulering. I alt er der brugt 3 statistiske metoder til at evaluere og rangere alle 280 kalibreringssimuleringer. Der er tale om Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), procentvis bias (pbias) og Kling-Gupta Efficiency (KGE). Effekten og kvaliteten af kalibreringen vil variere alt efter hvilken målingsstation simuleringen bliver sammenlignet med i oplandet. Derfor udvælges den bedste kalibreringssimulering ud fra puljen af 40 simuleringer, som har klaret sig bedst ved alle målingsstationerne. Yderligere er der også udregnet en korrelationskoeficient (R²) for den udvalgte kalibreringssimulering, som har klaret sig bedst af de 40. Resultaterne af den statistiske analyse ved hver målestation i den udvalgte kalibreret model ses i tabel 4.

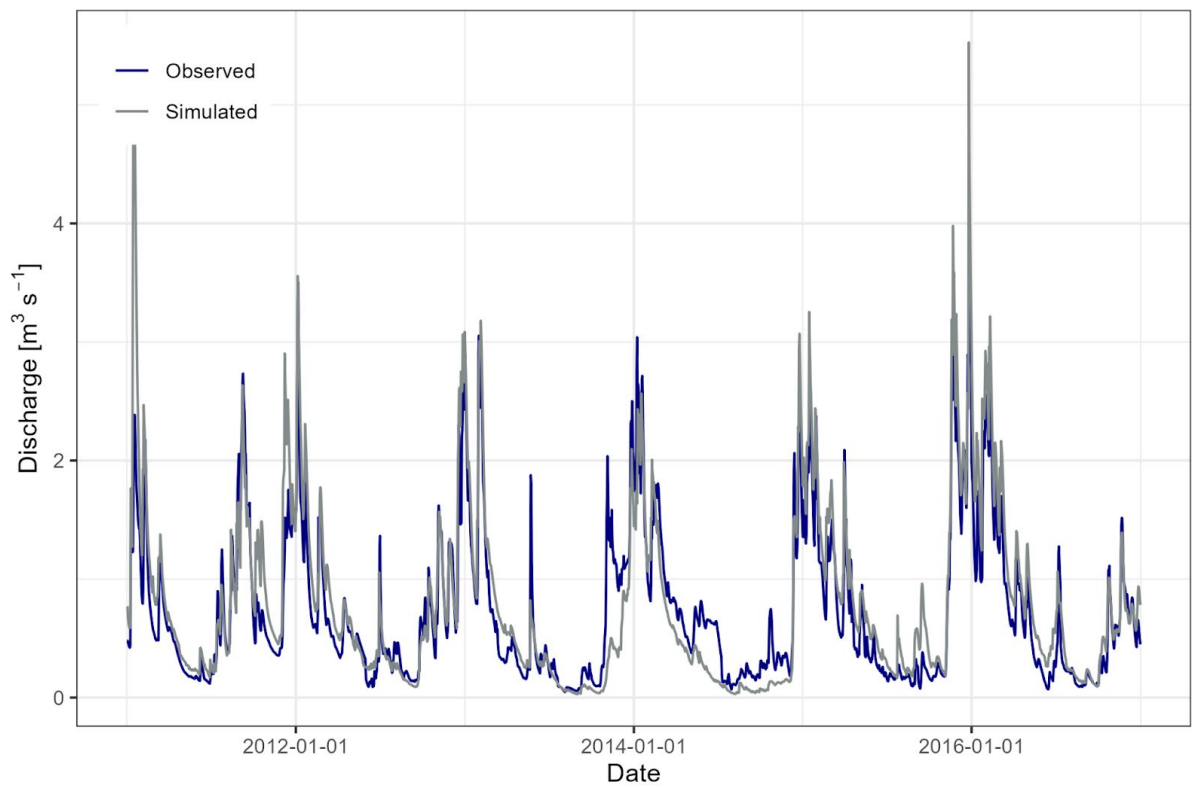
Udover den statistiske analyse er der også lavet en kvalitativ sammenligning af hydrograferne for den kalibrerede model og observationer (Figurerne 4-7). Vandbalancen for den kalibrerede model er også verificeret. Overordnet var evapotranspirationen på oplandsniveau en anelse underestimeret, men det var ikke muligt at justere dette uden også at underestimere afstrømningen ved tre af de fire målestationer (se pbias for kalibreringen i tabel 4).

Tabel 4. Resultat af statistisk evaluering af daglig vandføring for både kalibrerings- og valideringsperioden (hvh. Kal og Val)

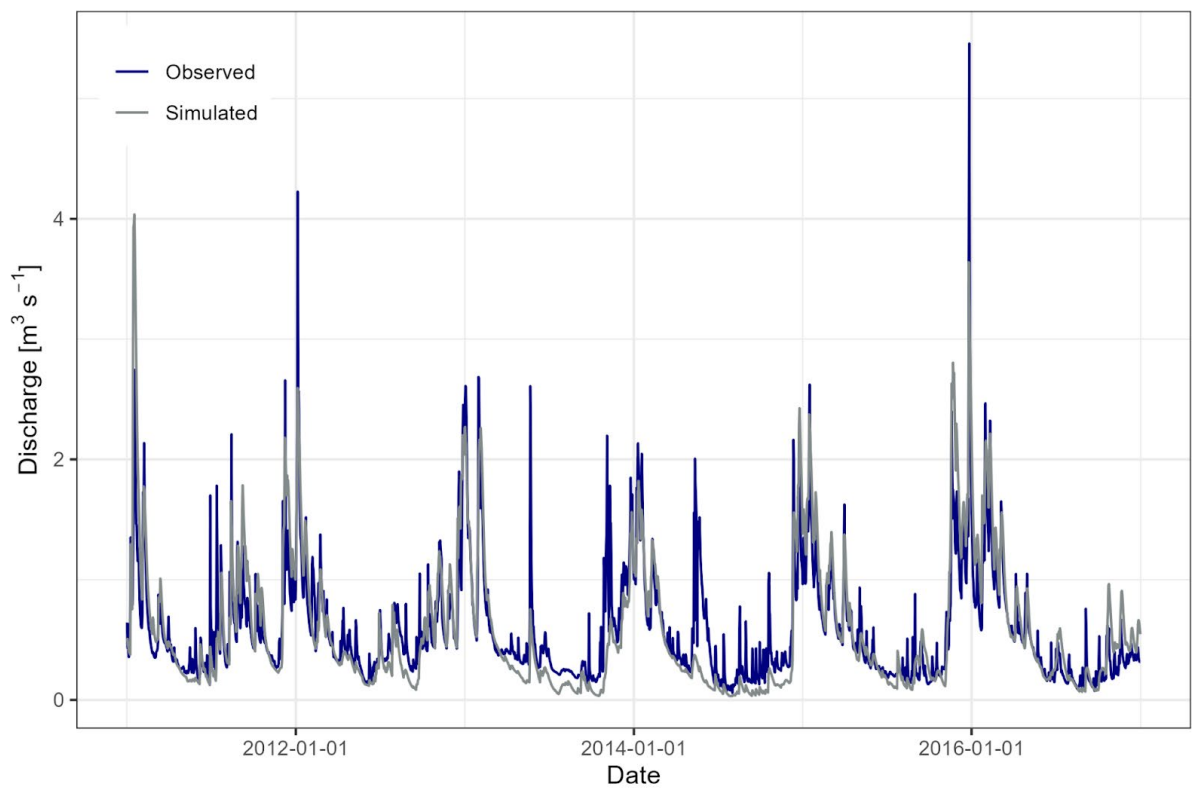
Gauging station	R2		KGE		pbias		NSE	
	Kal	Val	Kal	Val	Kal	Val	Kal	Val
Odense Å at Kratholm	0,85	0,87	0,85	0,90	-12,7	-3,8	0,83	0,87
Stavis Å	0,82	0,81	0,77	0,74	10,7	15,7	0,73	0,70
Lindved Å	0,75	0,86	0,79	0,61	-1,3	15,0	0,66	0,65
Geels Å	0,73	0,87	0,45	0,56	0,1	3,8	0,27	0,62



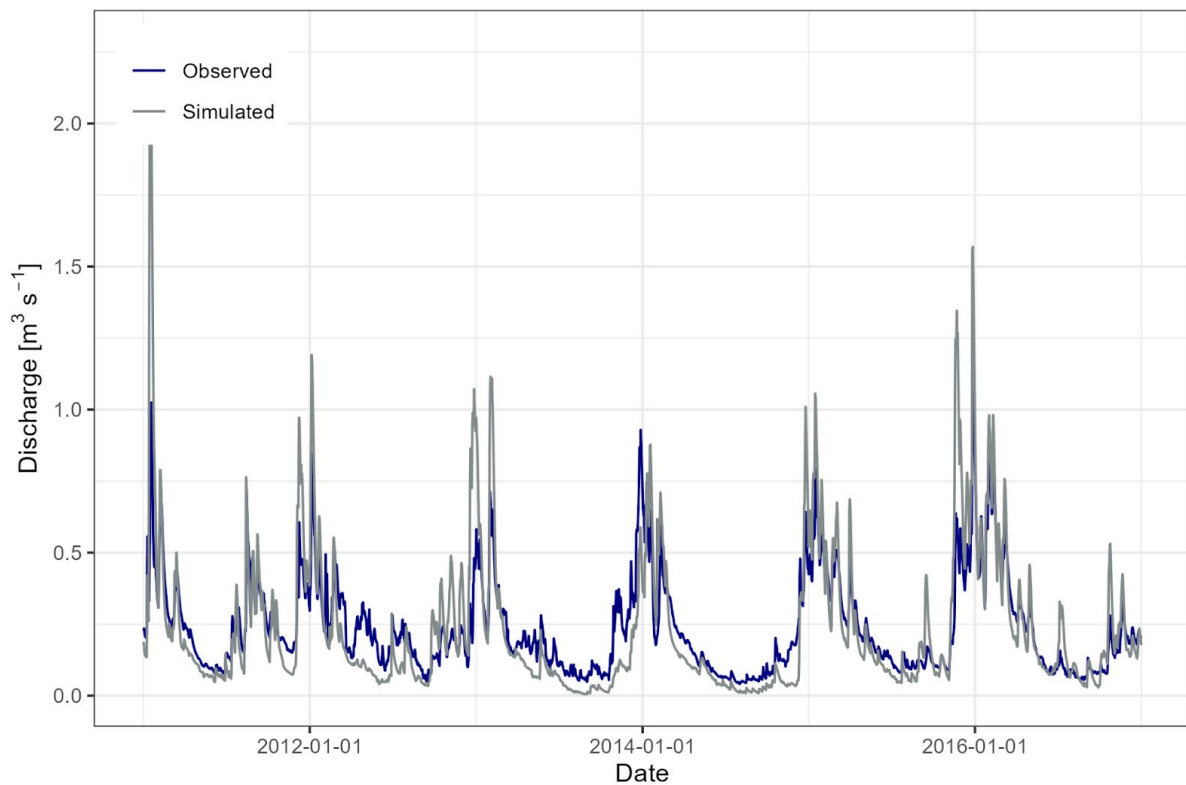
Figur 4. Kalibreret afstrømning for Odense Å ved Kratholm.



Figur 5. Kalibreret afstrømning for Stavis Å.

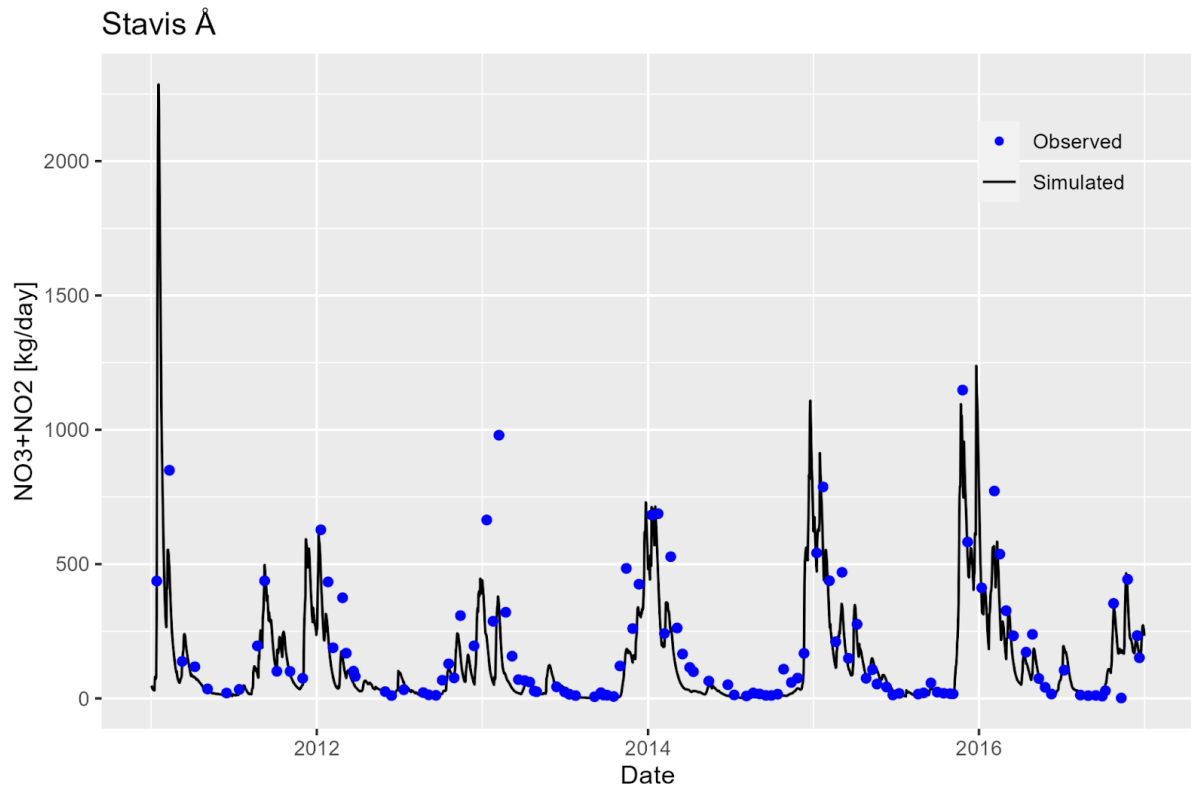


Figur 6. Kalibreret afstrømning for Lindved Å.

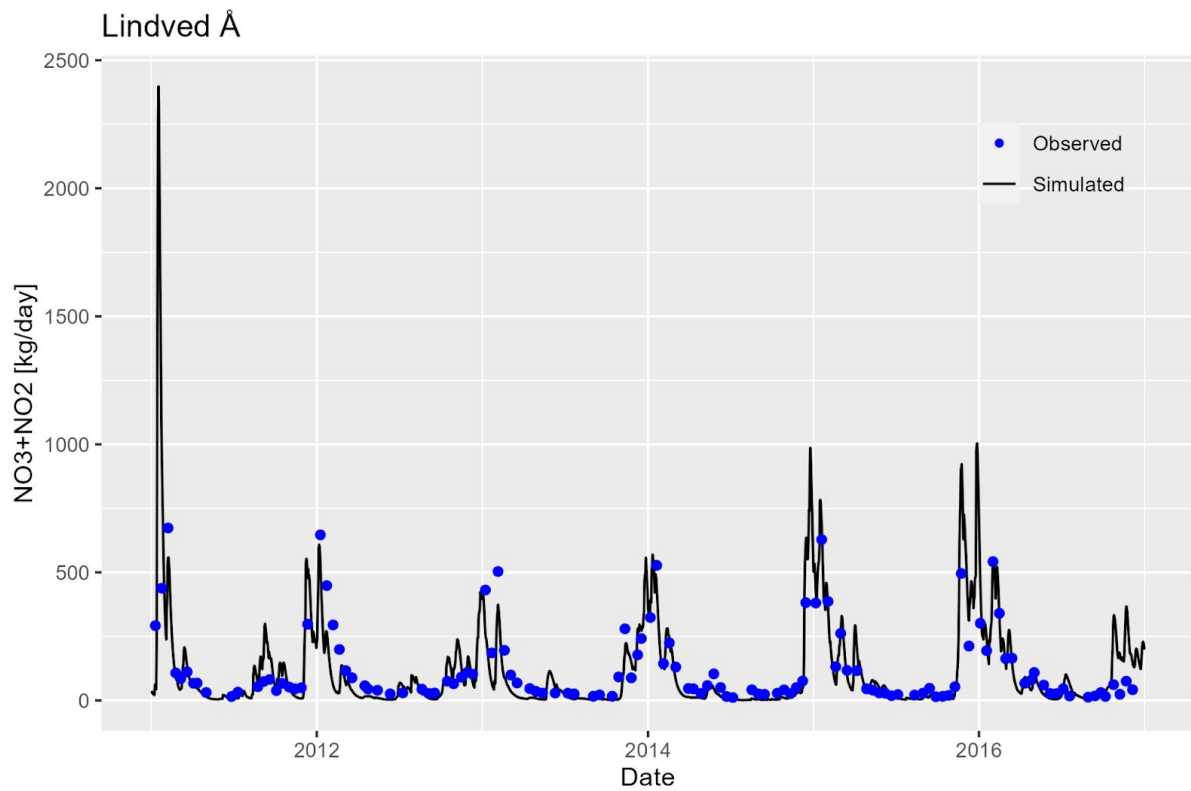


Figur 7. Kalibreret afstrømning for Geels Å.

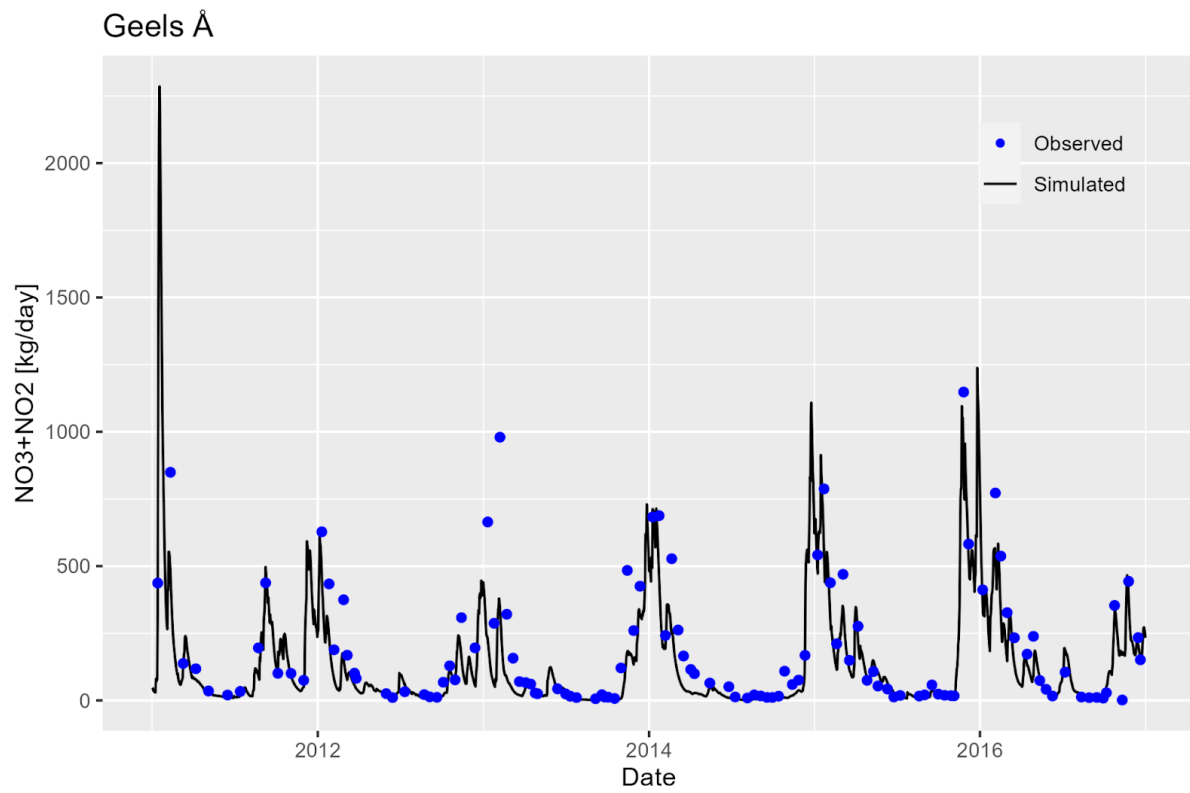
Kvælstoftransporten er kalibreret manuelt ved at justere parametrene n_perc (nitratfiltreringskoefficient), $nperc_lchtile$ (nitrogenkoncentrationskoefficient), og $denit_frac$ (denitrifikation). Kvælstoftransporten i modellen er kun visuelt evalueret ved at sammenligne simuleret og observeret data. Da målingerne af kvælstof ved målingsstationerne er foretaget med to ugers mellemrum, er usikkerheden ved de målte data forholdsvis stor. Derfor er der lagt fokus på kun at sammenligne sæsonvariationen af de simulerede og observerede kvælstoftransporter (Figurene 8 til 10).



Figur 8. Observerede og simulerede nitrat- og nitrittransport for Stavis Å.



Figur 9. Observerede og simulerede nitrat- og nitrittransport for Lindved Å.



Figur 10. Observerede og simulerede nitrat- og nitrittransport for Geels Å.