

# BRANCHESTANDARD FOR RECIPIENT-SPECIFIKKE VILKÅR I INDVINDINGS- OG UDLEDNINGSTILLADELSER

(BREVIU)



Branchestandard for **RE**cipientspecifikke **V**ilkår i **I**ndvindings- og **U**dledningstil-  
ladelser (BREVIU)

**DANVA VUDP PROJEKTRAPPORT**

**DATO:** 06. december 2020

---

**Projekt ID:**

Id nr. 104.2016

**Udgiver:**

DANVA

**Udarbejdet af:**

Esben Astrup Kristensen, Søren Højmark, Anders Gade, Dennis Trolle, Hans Thodsen, Jens Ravn Knudsen og Erland Stubkjær Christensen

**Finansiering:**

Vejledningen er finansieret af  
VUDP, Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram

**Samarbejdspartnere:**

Skanderborg Forsyning A/S

Aarhus Universitet

Skanderborg Kommune

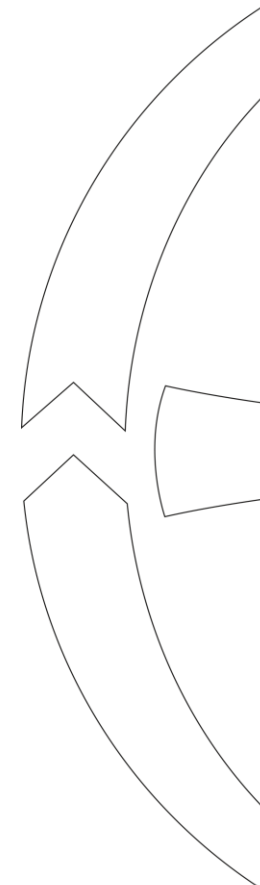
EnviDan A/S

**Kategori (Spildevand, drikkevand eller klimatilpasning):**

Drikkevand

## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Sammenfatning</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>English summary</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Introduktion</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Projektets betydning for vandbranchen</b>	<b>7</b>
4.1	Marked og/eller anvendelsesmuligheder	7
4.2	Næste skridt	7
4.3	Formidlingsplan	8
<b>5</b>	<b>Projektet</b>	<b>9</b>
5.1	Formål	9
5.2	Metoder	11
5.3	Output	16
5.4	Projektresultater	20
5.5	Konklusion	32

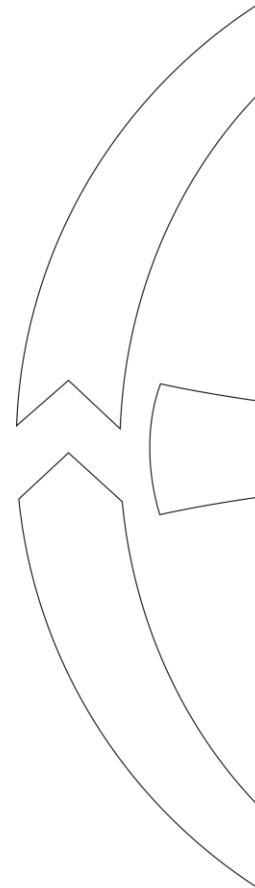


# 1 Sammenfatning

Der investeres store summer i forsinkelse og rensning af regn- og spildevand ligesom nye vandværksboringer er afgørende for at opretholde en høj kvalitet i drikkevandsforsyningen. Det har derfor meget stor nytte for forsyningsbranchen, at myndighedernes tilladelser bygger på ensartede og evidensbaserede vurderinger af de konkrete vandløb. Dette behov danner grundlag for udviklingsprojektet BREVIU (**B**ranchestandard for **RE**cipientspecifikke **V**ilkår i **I**ndvindings- og **U**dlledningstilladelser). Projektet er gennemført fra 2017-2020 med økonomisk støtte fra Vandsektorens Udviklings- og demonstrationsprogram (VUDP).

Udgangspunktet for udvikling af en standard for vurdering af påvirkning på vandløbs økologiske tilstand er den nyeste forskning fra Aarhus Universitet. Denne forskning har frembragt empiriske sammenhænge mellem den økologiske tilstand i vandløb og ændringer i vandløbets hydrograf. En vurdering af påvirkning tager derfor udgangspunkt i en hydrograf over vandføringen for det pågældende vandløb. Til beregning af en hydrograf kræves en hydrologisk model og første skridt i projektet var derfor at undersøge hvilken model, der mest omkostningseffektivt kan beregne en hydrograf for et givent vandløb. Der blev derfor afprøvet 3 forskellige hydrologiske modeller: En koblet MIKE-model, en SWAT-model, samt en gennem projektet udviklet simpel model (kaldet GG-modellen). Afprøvningen af de hydrologiske modeller viste, at SWAT-modellen var mest præcis og mest omkostningseffektiv og der blev derfor arbejdet videre med denne.

Vha. SWAT-modellen kunne påvirkning fra udledning og indvinding på den økologiske tilstand i vandløb beregnes og der blev udviklet et web-baseret værktøj til beregningerne. Beregningerne viste, at påvirkningen fra indvinding med stor sikkerhed kan gennemføres via dette værktøj. Vurdering ift. en påvirkning fra udledning viste en række usikkerheder og der kræves således flere test, før denne del kan implementeres i det endelige værktøj.

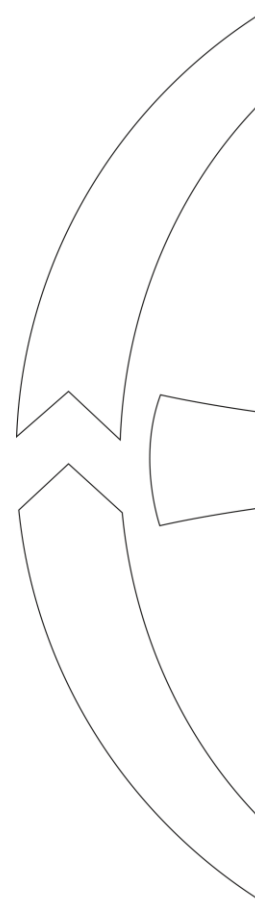


## 2 English summary

Large sums are invested in delaying and purifying rainwater and wastewater, just as new waterworks boreholes are crucial for maintaining a high quality in the drinking water supply. It is therefore of great benefit to the supply industry that the authorities' permits are based on uniform and evidence-based assessments of the specific watercourses. This need forms the basis for the development project BREVIU (Industry Standard for Recipient-Specific Terms in Extraction and Discharge Permits). The project has been completed from 2017-2020 with financial support from the Water Sector's Development and Demonstration Program (VUDP).

The starting point for the development of a standard for assessing the impact on the ecological status of watercourses is the latest research from Aarhus University. This research has produced empirical correlations between the ecological state of watercourses and changes in the hydrograph of the watercourse. An impact assessment is therefore based on a hydrograph of the water flow for the watercourse in question. To calculate a hydrograph, a hydrological model is required and the first step in the project was therefore to investigate which model can most cost-effectively calculate a hydrograph for a given watercourse. Therefore, three different hydrological models were tested: a coupled MIKE model, a SWAT model, and a simple model developed through the project (called the GG model). The testing of the hydrological models showed that the SWAT model was the most accurate and most cost-effective and work was therefore continued on it.

The SWAT model could calculate the impact from discharges and extraction on the ecological condition of watercourses and a web-based tool was developed for the calculations. The calculations showed that the impact of recovery can be carried out with great certainty via this tool. Assessment in relation to an impact from emissions showed a number of uncertainties and more tests are thus required before this part can be implemented in the final tool.



### 3 Introduktion

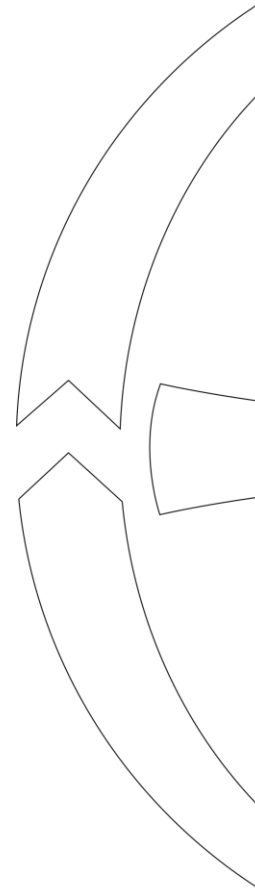
Baggrunden for projektet er den nyeste forskning, der viser, at påvirkning fra indvinding på vandløbenes økologiske kvalitet ikke kan vurderes vha. medianminimumsvandføring (Q<sub>mm</sub>) som hidtil. Derimod er påvirkninger af det hydrologiske regime, udtrykt via en række specifikke vandføringsparametre, afgørende for den økologiske kvalitet. Denne nye viden er implementeret i Vandområdeplanerne via en landsdækkende model, der opstiller sammenhænge mellem det hydrologiske regime og den økologiske kvalitet. Tilsvarende viser afgørelser fra Miljø- og Fødeklagenævnet, at der kræves en konkret vurdering af et vandløbs kapacitet og erosionsrisiko, før der kan gives en udledningstilladelse, og at det generelle krav om drosling til 1-2 l/s/ha ikke som automatik kan anvendes. Samlet danner den nye viden, Vandområdeplaner og krav fra Miljø- og Fødevareklagenævnet dermed præcedens for det fremtidige myndighedsarbejde ifm. indvindings- og udledningstilladelser, men der mangler dog en standardiseret metode til en site-specifik vurdering af påvirkning fra indvinding og udledning på vandløb.

Beregning af påvirkning tager ifølge den nyeste viden udgangspunkt i en tidsserie af vandføringen, hvor de relevante parametre og den økologiske kvalitet beregnes med og uden påvirkning. Tidserien er derfor nøglen til vurdering af eksisterende eller planlægning af nye indvindinger eller udledninger. Der er derfor behov for modelberegninger af vandføringen i vandløbet, af grundvandet og af vandstrømme på befæstede områder samt relevante koblinger mellem disse. Integreret hydraulisk modellering er omkostningstungt, og det er derfor relevant at identificere en optimal metode gennem afprøvning af forskellige værktøjer og modeller samt udvikling af en alternativ mere simpel model. I dette projekt gøres dette gennem opsætning af modeller i et østdansk (moræne) og et vstdansk (sandjord) opland ved anvendelse af deterministiske og analytiske værktøjer i forskellige kombinationer henover en gradient i modelkompleksitet fra den dynamiske modellering af vandløb, grundvand og byer, over en ny tilgang via SWAT, til udvikling af simple modeller, der kan anvendes uden brug af specialister.

Projektets mål er at udvikle en branchestandard for fastsættelse af recipientspecifikke vilkår i indvindings- og udledningstilladelser, beskrive simple modelleringstilgange, og dermed bane vejen for en smidig og effektiv myndighedsproces samt omkostningseffektive beregninger. Samtidigt vil vi undersøge mulighederne for realtidsstyring af indvinding og udledning til optimering af ressourceforbrug og til gavn for miljøet.

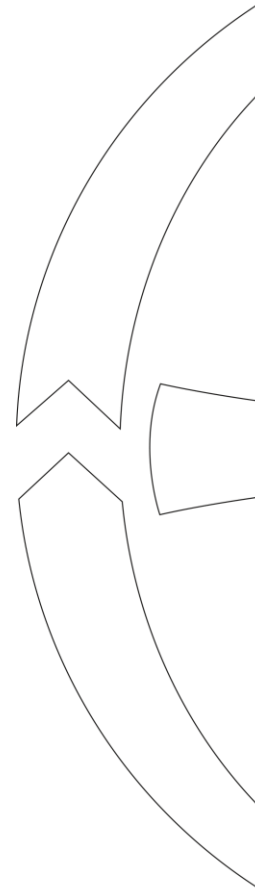
Projektet er gennemført som et samarbejdsprojekt mellem forsyningsvirksomhed, rådgiver, myndighed og universitet. Skanderborg Forsyningsvirksomhed A/S var hovedansøger med Jens Ravn Knudsen som projektleder. Jens havde den overordnede rolle som projektleder, samt ansvaret for instrumentering af Sommerbækken og vurderinger ift. realtidsstyring. Jens opsigte hans stilling ved Skanderborg Forsyning under projektets gennemførelse og projektlederrollen blev overtaget af Erland Stubkjær Christensen.

EnviDan A/S deltog med biolog Esben Astrup Kristensen, udviklingschef Mads Uggerby og civilingeniør Michael Kristensen. Gennem projektets afvikling bidrog en række yderligere medarbejdere fra EnviDan A/S i projektets forskellige faser. EnviDans rolle var hydrologisk modellering med MIKE-modellen, udvikling af en ny simpel hydrologisk model (GG-modellen), vurdering af økologisk påvirkning på vandløb, samt udvikling af det endelige værktøj. Derudover har EnviDan haft ansvaret for formidling af projektets resultater undervejs og udarbejdelse af slutrapporten.



Fra Aarhus Universitet deltog seniorforsker Dennis Trolle og seniorrådgiver Hans Thodsen. Aarhus Universitet har bidraget med hydrologisk modellering i SWAT-modellen, bidraget til vurdering af påvirkning på den økologiske tilstand i vandløb samt i udvikling af det endelige værktøj.

Fra Skanderborg Kommune deltog biolog Kaare With Jensen. Skanderborg Kommune har bidraget med viden omkring myndighedsforhold ved udledning og indvinding, samt deltaget i workshops undervejs i projektet.



## 4 Projektets betydning for vandbranchen

Indvindings- og udledningstilladelser er helt centrale for forsyningssekskabernes forretning. Produkterne fra dette projekt vil højne kvaliteten i hele processen omkring fornyelse eller tildeling af nye tilladelser. Branchestandarden fra projektet vil sikre, at tilladelser gives på det mest gennemsigtige og fagligt veldokumenterede niveau – til gavn for sagsgange omkring udarbejdelse af ansøgninger, myndighedsbehandlingen, det rette investeringsniveau og sidst men ikke mindst for miljøet i vandløbene.

Fokus på Asset Management øges i den danske forsyningsbranche. Det betyder også øget fokus på konkrete investeringers bidrag til overholdelse af selskabernes målsætninger. Med dette projekt skabes grundlaget for, at investeringer i relation til udledning af regn- og spildevand samt indvinding af grundvand til vandforsyning tilpasses de faktiske forhold. Derved undgås overinvesteringer som følge af ubegrundede, rigide krav, som eksempelvis drosling af udledninger til vandløb til 1-2 l/s/ha. Dette sikres ved at udvikle en branchestandard for vurdering af påvirkning fra vandindvinding og udledning af overfladevand på vandløb.

### 4.1 Marked og/eller anvendelsesmuligheder

Optimering af modellering og identifikation af den mindst ressourcekrævende tilgang, som samtidig giver pålidelige resultater, har forretningspotentiale på både kort og lang sigt. Potentialet består på kort sigt af effektivisering af arbejdsgange gennem anvendelse af den nye branchestandard og minimering af ressourceforbrug hos myndighederne og forsyningssekskaberne. Derudover kan de udviklede modeller på længere sigt udgøre et selvstændigt forretningspotentiale i både Danmark og udlandet.

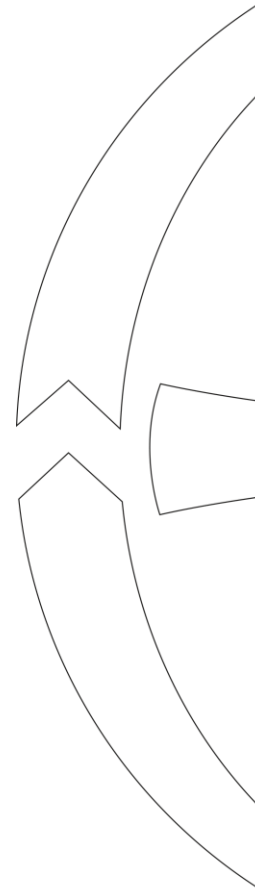
Det vurderes, at den udviklede metode og det tilhørende værktøj har potentiale til at blive udbredt hos omkring halvdelen af de danske kommuner og forsyninger.

### 4.2 Næste skridt

Den udviklede metode vurderes at have et stort potentiale som et værktøj til en bedre vurdering af påvirkning på vandløb ved udledningstilladelser og indvindingstilladelser. Ift. en påvirkning fra indvinding er det udviklede værktøj klar til brug. Ift. påvirkning fra udledning viser resultaterne fra projektet, at det er nødvendigt med yderligere test før metoden, er færdig. EnviDan A/S vil tage initiativ til at dette gennemføres.

Behovet for en forbedret vurdering af påvirkning på vandløb fra indvinding og udledning er stadig stort. Dette er senest bekræftet via en afgørelse fra Miljø- og Fødevareklagenævnet fra maj 2020, hvor en konkret afgørelse om tilladelse til indvinding af grundvand, blev hjemvist til fornyet behandling, da den nyeste viden ikke var anvendt ved vurderingen. Det nævnes specifikt i afgørelsen, at der ved vurdering af påvirkning skal anvendes de empiriske sammenhænge mellem påvirkning på den økologiske tilstand og vandføringen i vandløbet. Og dette er netop fokus for BREVIU og det værktøj, der er udviklet.

Det er planlagt, at det udviklede værktøj skal frigives til markedet i første halvdel af 2021. EnviDan A/S vil varetage denne del og tilbyde værktøjet til danske kommuner og





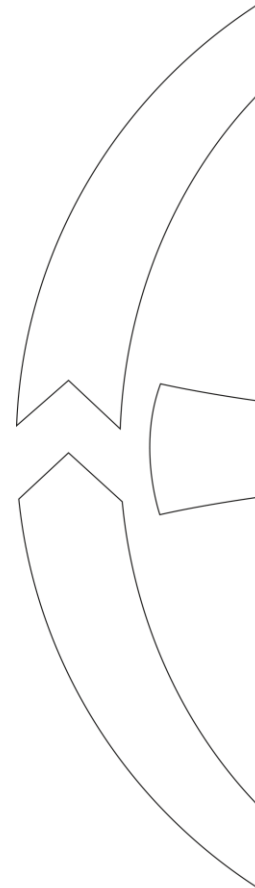
---

forsyningselskaber. Værktøjet er udviklet i samarbejde med WaterWebTools og den web-baserede platform er udviklet gennem dette firma. I første halvdel af 2021 skal der derfor formuleres en samarbejdsaftale mellem EnviDan A/S og WaterWebTools omkring markedsføring og salg af værktøjet.

### **4.3 Formidlingsplan**

Gennem projektafviklingen har der været stor fokus på løbende formidling. Der er blevet afholdt 2 workshops, holdt oplæg på konferencer (bl.a. Dansk Vand 2019) og den afsluttende workshop blev afholdt som et webinar.

Fremadrettet vil formidlingsfokus være på markedet. Der planlægges en indsats overfor kommuner og myndigheder, da det udviklede værktøj vurderes at have et stort potentiale i den daglige myndighedsbehandling af udlednings- eller indvindingstilladelser. Formidlingsindsatsen vil ske gennem afholdelse af webinar, udgivelse af artikler i fagblade samt deltagelse på konferencer.



## 5 Projektet

### 5.1 Formål

Der investeres store summer i forsinkelse og rensning af regn- og spildevand ligesom nye vandværksboringer er afgørende for at opretholde en høj kvalitet i drikkevandsforsyningen. Det har derfor meget stor nytte for forsyningsbranchen, at myndighedernes tilladelser bygger på ensartede og evidensbaserede vurderinger af de konkrete vandløb.

Den nyeste forskning viser, at påvirkning fra indvinding på vandløbenes økologiske kvalitet ikke kan vurderes vha. Qmm som hidtil<sup>1</sup>. Derimod er påvirkninger af det hydrologiske regime udtrykt via en række specifikke vandføringsparametre, afgørende for den økologiske kvalitet. Denne nye viden er implementeret i Vandområdeplanerne via en landsdækkende model, der opstiller sammenhænge mellem det hydrologiske regime og den økologiske kvalitet. Tilsvarende viser afgørelser fra Miljø- og Fødevarerklagenævnet, at der kræves en konkret vurdering af et vandløbs kapacitet og erosionsrisiko, før der kan gives en udledningstilladelse, og at det generelle krav om drosling til 1-2 l/s/ha ikke som automatik kan anvendes. Allernyeste afgørelse fra Miljø- og Fødevarerklagenævnet fastlægger endvidere, at den nyeste viden omkring påvirkninger på vandløb fra indvinding skal anvendes, når ansøgningerne om tilladelser vurderes. Samlet danner den nye viden, Vandområdeplaner og krav fra Miljø- og Fødevarerklagenævnet dermed præcedens for det fremtidige myndighedsarbejde ifm. indvindings- og udledningstilladelser, men der mangler dog en standardiseret metode til en site-specifik vurdering af påvirkning fra indvinding og udledning på vandløb.

Beregning af påvirkning på vandløbs økologiske tilstand tager ifølge den nyeste viden udgangspunkt i en tidsserie af vandføringen, hvor de relevante hydrologiske parametre beregnes med og uden påvirkning<sup>1</sup>. Disse hydrologiske parametre indgår derefter i empiriske sammenhænge, der beskriver den økologiske tilstand. Tilstanden beskrives separat for smådyr, fisk og planter og i de empiriske sammenhænge indgår udover de hydrologiske parametre også vandløbenes slyngningsgrad, som er et udtryk for vandløbenes fysiske tilstand.

Den empiriske sammenhæng for smådyr (DVFI) er følgende:

$$DVFI_{EQR} = 0,217 + 0,103 \cdot \text{Sin} + 0,020 \cdot Q_{90} \cdot \text{Fre}_1$$

hvor Sin er slyngningsgraden på vandløbet,  $Q_{90}$  er vandføringen under 90 percentilen af vandføringens varighedskurve divideret med medianvandføringen og  $\text{Fre}_1$  er det årlige antal vandføringer over medianvandføringen. EQR er den økologiske tilstandsratio, der spænder fra 0 (den dårligste økologiske tilstand) til 1 (den bedste økologiske tilstand). Sammenhængen for smådyr viser, at den økologiske tilstand ift. smådyr er positivt korreleret med slyngningsgraden,  $Q_{90}$  og  $\text{Fre}_1$ , da der er en positiv faktor foran disse parametre i lig-

---

<sup>1</sup> Vurdering af effekten af vandindvinding på vandløbs økologiske tilstand. Notat fra DCE, 2014

ningen. En positiv sammenhæng mellem vandløbenes slyngningsgrad og smådyr er tidligere fundet i mange undersøgelser, se bl.a.<sup>2</sup>. Lave værdier af  $Q_{90}$  betyder, at lave vandføringer er langt mere ekstreme, end hvis  $Q_{90}$  er højere. Den positive korrelation mellem  $Q_{90}$  og den økologiske tilstand ift. smådyr betyder dermed, at den økologiske tilstand vil stige, når de lave vandføringer er mindre ekstreme, hvilket også er set i andre undersøgelser<sup>3</sup>. En høj værdi af  $Fre_1$  vil ligeledes øge den økologiske tilstand ift. smådyr, og høje værdier af  $Fre_1$  findes i vandløb, hvor der er hyppige svage forøgelser af vandføringen, en positiv effekt der ligeledes er påvist tidligere<sup>2</sup>.

Den empiriske sammenhæng for fisk er følgende:

$$DFFV_{aEQR} = 0,811 \cdot BFI + 0,058 \cdot Sin + 0,050 \cdot Fre_{25} - 0,319 - 0,0413 \cdot Fre_{75}$$

hvor  $Sin$  er slyngningsgraden,  $BFI$  er base-flow-indekset,  $Fre_{25}$  er det årlige antal vandføringshændelser under 25 percentilen af vandføringens varighedskurve og  $Fre_{75}$  er det årlige antal vandføringer under 75 percentilen af vandføringens varighedskurve. Sammenhængen for fisk viser, at den økologiske tilstand ift. fisk er positivt korreleret  $BFI$  og negativt korreleret til  $Fre_{75}$ . Dette betyder, at den økologiske tilstand ift. fisk øges jo mere stabil vandføringen er (høje værdier af  $BFI$ ), herunder at lave vandføringer kun sjældent forekommer (lave værdier af  $Fre_{75}$ ). Dette stemmer overens med data fra den videnskabelige litteratur<sup>4</sup>. Derudover er den økologiske tilstand ift. fisk positivt korreleret til  $Fre_{25}$ , hvilket indikerer, at relativt små forøgelser af vandføringen kan forbedre tilstanden ift. fisk. Endelig er den økologiske tilstand ift. fisk positivt korreleret med vandløbenes slyngningsgrad – en effekt der er vist i en række undersøgelser, se bl.a.<sup>5</sup>.

Den empiriske sammenhæng for planter er følgende:

$$DVPI_{EQR} = 0,546 + 0,020 \cdot Fre_{25} - 0,019 \cdot Dur_3 - 0,025 \cdot Fre_{75}$$

hvor,  $Sin$  er slyngningsgraden,  $Fre_{25}$  er det årlige antal vandføringshændelser under 25 percentilen af vandføringens varighedskurve,  $Dur_3$  er den gennemsnitlige varighed af vandføringer højere end 3 gange medianvandføringen og  $Fre_{75}$  er det årlige antal vandføringer under 75 percentilen af vandføringens varighedskurve. Sammenhængen for planter viser, at den økologiske tilstand ift. planter er positivt korreleret med  $Fre_{25}$  og negativt korreleret med  $Dur_3$ . Dette indikerer, at beskedne forøgelser af vandføringen (høj værdi af  $Fre_{25}$ ), giver en gavnlig forstyrrelse af plantesamfundene, mens kraftigere forøgelser af vandføringen med lang varighed (høj værdi af  $Dur_3$ ) sænker den økologiske tilstand ift. planter. Endelig viser sammenhængen for planter en negativ korrelation til  $Fre_{75}$ , hvilket betyder, at den økologiske tilstand ift. planter er højest i vandløb, hvor lave vandføringer kun sjældent forekommer (lave værdier af  $Fre_{75}$ ). Disse korrelationer stemmer godt overens med teori

<sup>2</sup> River discharge and local-scale physical habitat influence on macroinvertebrate LIFE scores. Dunbar et al., 2010

<sup>3</sup> Fast reaction of macroinvertebrate communities to stagnation and drought in streams with contrasting nutrient availability. Hille et al., 2014

<sup>4</sup> The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. Poff et al., 2010

<sup>5</sup> Assessing biotic integrity of streams: effects of scale in measuring the influence of land use/cover and habitat structure on fish and macroinvertebrates. Lammert og Allan, 1999

omkring planter i vandløb og at en mild grad af forstyrrelse er godt for den økologiske tilstand<sup>6</sup>. Tilsvarende er det velkendt, at planter i vandløb er positivt korreleret med vandløbenes slyngningsgrad.

### 5.1.1 De hydrologiske parametre

Som beskrevet ovenfor, indgår der i alt 5 forskellige hydrologiske parametre i de empiriske sammenhænge, der beskriver den økologiske tilstand i vandløb ift. hydrologiske ændringer ved vandindvinding. Disse 5 parametre ( $Q_{90}$ ,  $Fre_1$ ,  $Fre_{25}$ ,  $Fre_{75}$  og  $Dur_3$ ) er dermed essentielle ved en vurdering af en påvirkning på vandløb fra indvinding. De 5 hydrologiske parametre kan alle beregnes ud fra en tidsserie over vandføring i et vandløb (en hydrograf). Tidserien er derfor nøglen til vurdering af påvirkning på vandløb fra eksisterende eller planlagte nye indvindinger. Der kræves en tidsserie over både den upåvirkede situation (før indvinding) og den påvirkede situation (efter indvinding), før de relevante hydrologiske parametre kan beregnes. Der er derfor behov for modelberegninger af vandføringen i vandløbet, da dette er den eneste måde at få et datagrundlag til beregning af de hydrologiske parametre både før og efter påvirkning. Beregning af den relevante hydrograf skal gøres ved anvendelse af integreret hydraulisk modellering, hvor vandføringen i vandløbene beregnes ud fra information om nedbør, grundvand, geologi, mm. Denne type modellering er meget omkostningstung, og det er derfor relevant at identificere den optimale metode til beregning af en hydrograf. Dette kan gøres gennem afprøvning af forskellige værktøjer og modeller samt udvikling af nye alternative modeller. I dette projekt undersøges hvad den optimale metode til beregning af en hydrograf i vandløb er, ved anvendelse af deterministiske og analytiske værktøjer i forskellige kombinationer hen over en gradient i modelkompleksitet fra den dynamiske modellering af vandløb, grundvand og byer, over en ny tilgang via SWAT-modellering, til udvikling af en simpel, ny model.

### 5.1.2 Vurdering af både indvinding og udledning

De empiriske sammenhænge mellem hydrologiske ændringer i vandløb og den økologiske tilstand er konkret etableret ift. indvinding af grundvand. Men da de repræsenterer en generel påvirkning af vandløbenes hydrologi og dermed ikke en påvirkning, der udelukkende kommer fra indvinding, er det derfor oplagt også at anvende disse sammenhænge til en vurdering af påvirkning af vandløb fra udledning af overfladevand til vandløb. I dette projekt er fokus derfor at anvende de empiriske sammenhænge i opstilling af et værktøj til vurdering af påvirkning på vandløb ved indvinding af grundvand eller udledning af overfladevand.

## 5.2 Metoder

Projektet har haft nedenstående faser og i det følgende gennemgås de anvendte metoder i de enkelte faser af projektet:

1. Projektstart
2. Udvalgelse af oplande og datasæt til modellering
3. Test-opland og instrumentering
4. Workshop: Interessenter
5. Anvendelse af dynamiske modeller
6. Udvikling og afprøvning af simpel model
7. Workshop: Præsentation af resultater, inkl. diskussion af myndighedsarbejdet

<sup>6</sup> Vegetation and flow regime in lowland streams. Riis et al., 2008

8. Kalibrering af metode mod reeltidsdata
9. Reeltidsstyring af indvinding og udledning i "Den Intelligente Vandby"
10. Projektafslutning

### 5.2.1 Projektstart

Ved projektstart var formålet med projektet, som beskrevet i ansøgningen til VUDP, endeligt konfirmeret af projektets partnere. Dette blev gjort ved et opstartsmøde, afholdt ved Skanderborg Forsyning A/S. Formålet med projektet er:

"At definere en operationel metode, der sitespecifik kan fastsætte nye myndighedskrav til indvinding og/eller udledning til et konkret vandløb, som bestemmer hvilken indvinding og/eller udledning vandløbet kan håndtere – hverken mere eller mindre. Metoden skal basere sig på den nyeste forskning i vurdering af påvirkning fra indvinding og krav til udledning på vandløbenes miljøtilstand. Derudover er formålet at undersøge om den sitespecifikke vurdering kan anvendes i en reeltidsstyring af indvinding og udledning."

Derudover blev det ved projektstart besluttet hvilke hydrologiske modeller, der skulle arbejdes med. De 3 model-typer der blev valgt, samt en beskrivelse af deres kompleksitet ses nedenfor.

Metode til beregning af vandføringsparametre til vurdering af påvirkning på økologisk kvalitet	Vurdering af indvinding/udledning	Kompleksitet
Fuld dynamisk 3D modellering af grundvand (Mike SHE), vandløb (Mike Hydro River) og befæstede områder (MIKE Urban)	Indvinding og udledning	Meget kompleks dynamisk modellering i 3D
SWAT	Indvinding og udledning	Mindre kompleks dynamisk modellering i 2D i kombination med simpel kildepladsmodel
Simpel model der udvikles og afprøves gennem projektet	Indvinding og udledning	Simpel statistisk modellering

I det følgende præsenteres de forskellige modeltyper i korte vendinger:

**MIKE SHE:** Dynamisk grundvandsmodel der integrerer input om jordbundsforhold, nedbør, fordampning til grundvandsstand og strømninger.

**MIKE HYDRO RIVER:** Dynamisk vandløbsmodel der anvender vandløbets fysiske udformning og vandtilførsel fra oplandet til beregning af vandstand, vandhastigheder og vandmængder.

**MIKE URBAN:** Dynamisk urban model der anvender nedbørsdata og den fysiske udformning af afløbssystemer til beregning af vandstrømninger over og under overfladen i befæstede områder.

**SWAT (Soil and Water Assessment Tool):** Open-source dynamisk hydrologisk model der integrerer nedbør med overfladeafstrømningen og indarbejder de øverste jordlag samt befæstede arealer til beregning af vandføringer og stofmængder.

**Simpel model, der udvikles gennem projektet:** Udviklingen af modellen tager udgangspunkt i eksisterende statistisk model, der beskriver sammenhæng mellem afstrømning fra byer og vandløbs dynamik. Den udviklede model vil blive kalibreret op mod resultater fra de komplekse modeller.

### 5.2.2 Udvælgelse af oplande og datasæt til modellering

Modelberegningerne til fastsættelse af vandføring i vandløb og beregning af hydrografer blev gennemført i 2 udvalgte test-oplande. I begge disse oplande, blev der gennemført beregninger med de 3 typer af hydrologiske modeller, præsenteret ovenfor. De 2 test-oplande blev udvalgt, så de er dækkende for danske vandløb: et opland i det østlige Danmark (geologi domineret af moræne) og et opland i det vestlige Danmark (geologi mere sandet). Dermed blev det sikret, at resultaterne fra modelleringen kan anvendes i både det østlige og det vestlige Danmark. Samtidigt blev der valgt 2 oplande, hvor der var tilgængelige eksisterende data til rådighed. De 2 oplande, der blev valgt, var:

1. Brande Å i Ikast-Brande Kommune. Et tilløb til Skjern Å og med et oplandsareal på 93,63 km<sup>2</sup>.
2. Seest Mølleå i Kolding Kommune. Et tilløb til Kolding Å og med et oplandsareal på 28,54 km<sup>2</sup>.

Forud for opsætning MIKE-modeller og SWAT-modellerne for de 2 oplande, blev der udvalgt data til opsætningen. Dette blev foretaget grundigt og det blev sikret, at de anvendte data var ens for de forskellige modeller. Dette er vigtigt for den efterfølgende sammenligning af resultaterne. Da der arbejdes med to forskellige modeltyper, er de nødvendige input-data dermed ikke identiske, så ensretning af data blev udelukkende gjort for de data der blev anvendt i begge modeltyper. Disse data inkluderer bl.a. oplandsafgrænsningen, arealanvendelse, nedbør, fordampning og geologi.

Formålet med modelleringen er at finde den metode, der mest effektivt og præcist kan beregne en hydrograf for de pågældende vandløb. De 2 testoplande blev derfor også udvalgt efter tilgængeligheden af data på målt vandføring i vandløbene. Disse data blev anvendt til kalibrering og validering af modellerne. For begge de valgte oplande findes der lange tids-serier (ca. 30 år) for vandføringen i vandløbene.

### 5.2.3 Test-opland og instrumentering

Den bedste metode til beregning af hydrograf og vurdering af påvirkning på vandløb skal i projektet forsøges anvendt på et konkret testopland. Til dette er valgt oplandet til Sommerbækken, beliggende i Hørning i Skanderborg Kommune og i dette opland opsættes gennem projektet derfor sensorer til måling af vandføring to steder. Placering af de 2 sensorer kan ses nedenfor. Formålet med denne del af projektet er at forsøge at validere den valgte metode op mod reelle data. Samtidigt åbnes op for at undersøge muligheden for realtidsstyring af indvinding og udledning i forhold til påvirkning på vandløbet, samt at resultaterne fra projektet kan blive en naturlig del af "Den Intelligente Vandby" (se bilag 1).

Sommerbækken er valgt til dette formål, da det er et vandløb, der er hydraulisk belastet af både udledninger fra byen og indvinding af grundvand i oplandet. Dermed er det et oplagt vandløb til at undersøge påvirkninger på vandløb fra indvinding og udledning. De 2 loggere er placeret, så de måler henholdsvis op- og nedstrøms Hørning By.

De etablerede sensorer er af typen modstands-flowmålere og de måler afstrømningen hver 2. minut døgnet rundt. Der opnås dermed en meget detaljeret beskrivelse af afstrømningen i Sommerbækken. Loggerne er opsat februar 2018 og sidder stadig i vandløbet og samler data.



Figur 1: Placering af sensorer til måling af vandføring i Sommerbækken – placering vist med gule prikker

### 5.2.4 Workshop: Interessenter

Den første af to planlagte workshops havde til formål at samle relevante interessenter til problemstillingen, fremlægge projektet og dets formål og metoder, og dermed få input til projektgennemførelsen. Workshoppen blev afholdt den 16. august 2017 og der var deltagelse fra kommuner, KL, DANVA, Miljøstyrelsen, Aalborg Universitet samt alle projektets partnere. Input fra workshoppen blev opsamlet og de relevante elementer blev taget med i projektafviklingen.

### 5.2.5 Anvendelse af hydrologiske modeller

De to forskellige hydrologiske modeller (MIKE og SWAT), blev opsat for begge test-oplande. For begge modeltyper blev der gennemført mange kalibreringer og justeringer, indtil de mest præcise modeller til beregning af vandføringen blev fundet. Alle detaljer omkring modelopsætningerne gengives ikke her, men der henvises til bilag 2, hvor opsætningerne af de i alt hydrologiske fire modeller gennemgås og beskrives.

Formålet med opsætning af de forskellige modeller var at undersøge hvilken, der er mest omkostningseffektiv til beregning af en hydrograf for et vandløb. Derfor blev tidsforbruget og andre omkostninger ved modelopsætningerne registreret. Endeligt blev resultaterne selvfølgelig registreret, herunder særligt hvor præcist de enkelte modeller kunne forudsige vandføringen i de udvalgte vandløb.

### 5.2.6 Udvikling og afprøvning af simpel model

Som en del af projektet blev der udviklet en helt ny hydrologisk model til bestemmelse af vandføring i et vandløb. Formålet med denne udvikling var at lave en meget simpel model, der krævede begrænset datainput og dermed begrænsede ressourcer for at lave beregninger. Udviklingen af modellen tog udgangspunkt i en eksisterende statistisk model, der beskriver sammenhæng mellem afstrømning fra byer og vandløbets dynamik. Det stod dog hurtigt klart at udvalgte eksisterende model ikke var anvendelig, da det ikke var muligt at beregne scenarier (indvinding og udledning) via denne model. Derfor blev der via projektet udviklet en ny simpel model til beregning af vandføring i vandløb.

Den simple model kaldes GG-modellen, hvor GG står for "Glidende Gennemsnit". Beregningerne tager udgangspunkt i nedbørsdata for området – data der ofte kan opnås adgang til via nedbørsmålere eller DMI – samt oplandets størrelse, grundvandsdannelsen i oplandet, andel befæstet areal i oplandet og andel drænet areal i oplandet. Beregningerne af vandføring i et givent opland foretages som:

***Afstrømning = Oplandsareal \* Grundvandsdannelse \* Vægtet sum af forskellige glidende gennemsnit af nedbør.***

Værdi for grundvandsdannelsen bestemmes som en %-sats af nedbøren. Kendes denne værdi for et givent opland anvendes denne, eller antages en værdi. I vores afprøvning af den simple model blev grundvandsdannelsen antaget at være 0,3 %.

På baggrund af tidsserien for nedbør i oplandet, beregnes glidende gennemsnit over 365, 120, 30, 7 og 1 dag. Dette antages at repræsentere baseflow (365,120,30 dage), drænastrømning (7 dage) og urban afstrømning (1 dag). Urban afstrømning vægtes med % befæstet i oplandet, drænastrømning vægtes med % dræn i oplandet og baseflow vægtes efter rest op til 100 %, hvoraf glidende gennemsnit for 30 dage vægtes med 85 %, for 120 dage med 10 % og 365 dage med 5 %.

### 5.2.7 Udvælgelse af model og beregning af scenarier

Formålet med anvendelse af de forskellige modeller var at bestemme den mest omkostningseffektive model til beregning af en hydrograf i et givent vandløb. Til at lave vurdering af omkostningseffektiviteten, blev det vurderet på hvor præcist de enkelte modeller beregnede vandføringer. Dette blev vurderet ved at sammenligne modelresultaterne med den målte vandføring i test-oplandene. Der blev beregnet R<sup>2</sup>-værdier som sammenligningen.

Derudover blev tidsforbruget og øvrige omkostninger ved anvendelse af de forskellige modeller registreret. Endeligt blev det vurderet hvor mange forskellige typer af scenarieberegninger, der kan gennemføres ved de forskellige typer af modeller.

### 5.2.8 Workshop: Præsentation af resultater, inkl. diskussion af myndighedsarbejdet

Den anden af to planlagte workshops havde til formål at samle relevante interessenter og fremlægge projektets resultater. Workshoppen blev afholdt den 8. oktober 2020 som et webinar, grundet corona-restriktioner ift. et fysisk møde. Der var deltagelse fra 45 forskellige organisationer, repræsenterende kommuner, KL, DANVA, Miljøstyrelsen, rådgivere, Aarhus Universitet samt alle projektets partnere. Udover en præsentation af resultaterne, blev det diskuteret, hvordan resultaterne kan anvendes i myndighedsarbejdet med udlednings – og indvindingstilladelser.



### 5.2.9 Kalibrering af metode mod realtidsdata og realtidsstyring af indvinding og udledning i "Den Intelligente Vandby"

Formålet med denne del af projektet er at forsøge at validere den valgte metode op mod reelle data. Samtidigt blev muligheden for realtidsstyring af indvinding og udledning i forhold til påvirkning på vandløbet undersøgt, og det blev undersøgt om resultaterne fra projektet kan blive en naturlig del af "Den Intelligente Vandby" (se bilag 1). Data for vandføring indsamlet i Sommerbækken blev anvendt til formålet.

#### 5.2.10 Projektafslutning

Ved projektafslutning blev der udarbejdet en slutrapport samt foretaget opgørelse af regnskab, herunder lavet en revisorpåtegning.

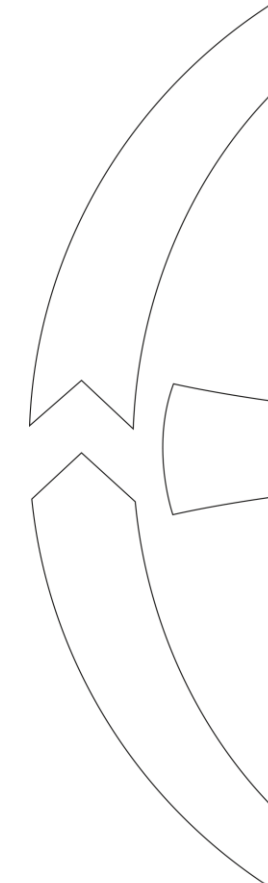
## 5.3 Output

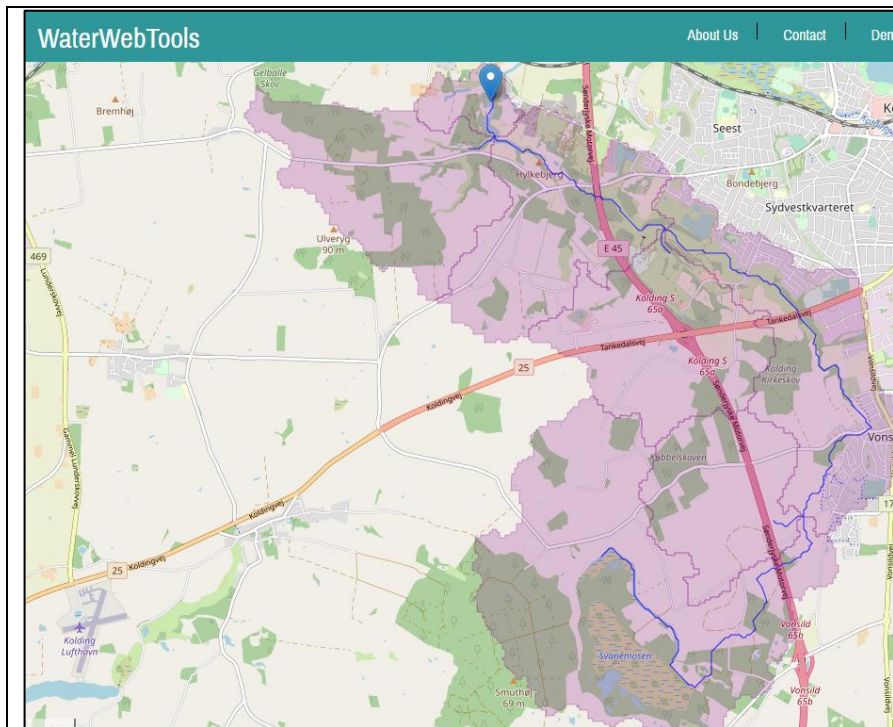
Afprøvningen af hydrologiske modeller og beregning af scenarier for udledning og indvinding, som beskrevet ovenfor, viste, at SWAT-modellen var mest omkostningseffektiv og at der var en respons på den økologiske tilstand i vandløb ved de udvalgte indvindings- og udledningsscenarier. Det blev derfor besluttet at samle den udviklede metode i ét samlet værktøj, som dermed kan anvendes til beregning af en påvirkning på vandløb ifm. ansøgning og udlednings- eller indvindingstilladelse.

Det blev valgt at anvende en web-baseret platform til værktøjet. Platformen blev bygget af WaterWebTools, som er en teknologivirksomhed, der udspringer fra Aarhus Universitet, ejet af deltagere i BREVIU. Værktøjet kan ses i en demoversion her:

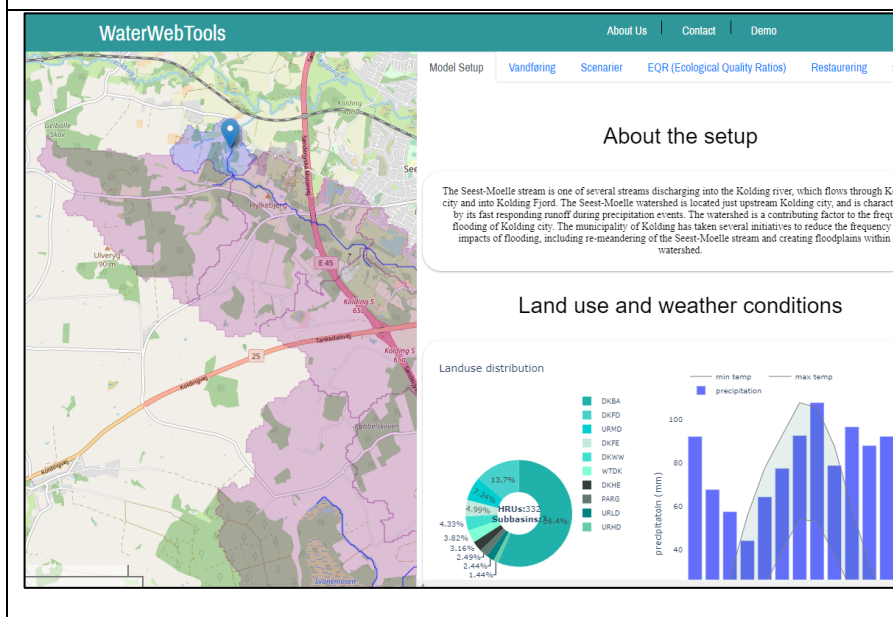
<https://www.waterwebtools.com/vanddemo/>

Nedenfor vises via skærmpoint fra den web-baserede løsning, hvordan en påvirkning på vandløb beregnes.

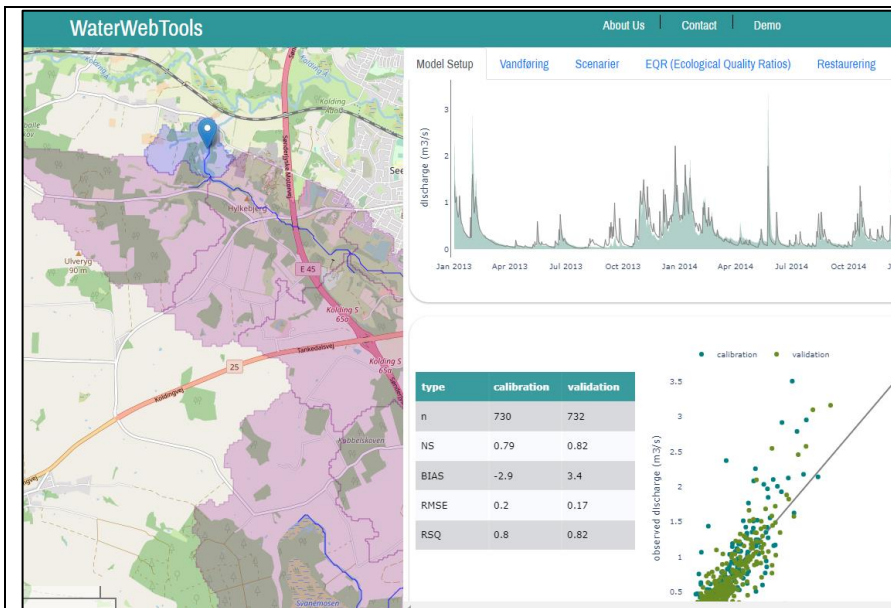




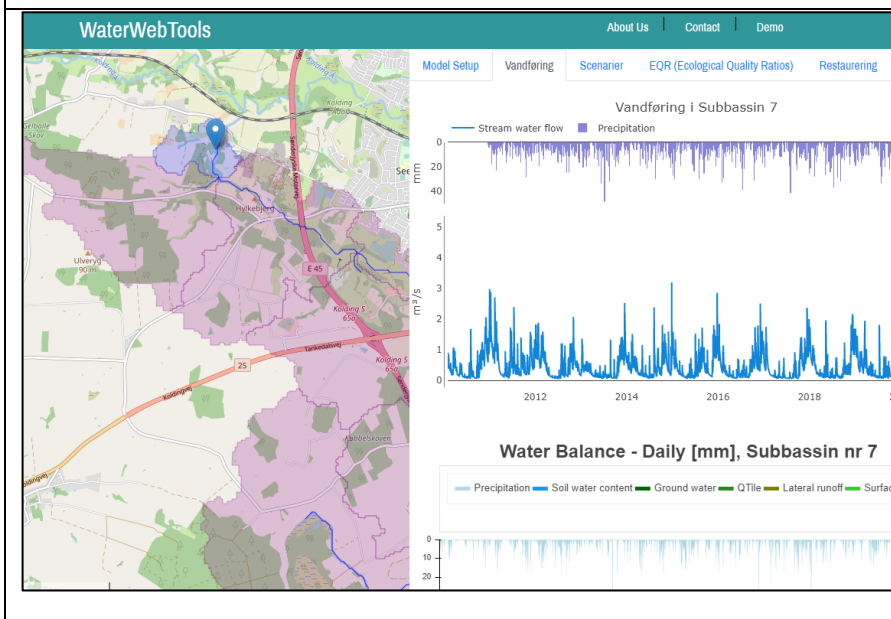
Startside for værktøjet, hvor afgrænsningen af det konkrete vandløbsopland vises – her oplandet til Seest Mølle Å



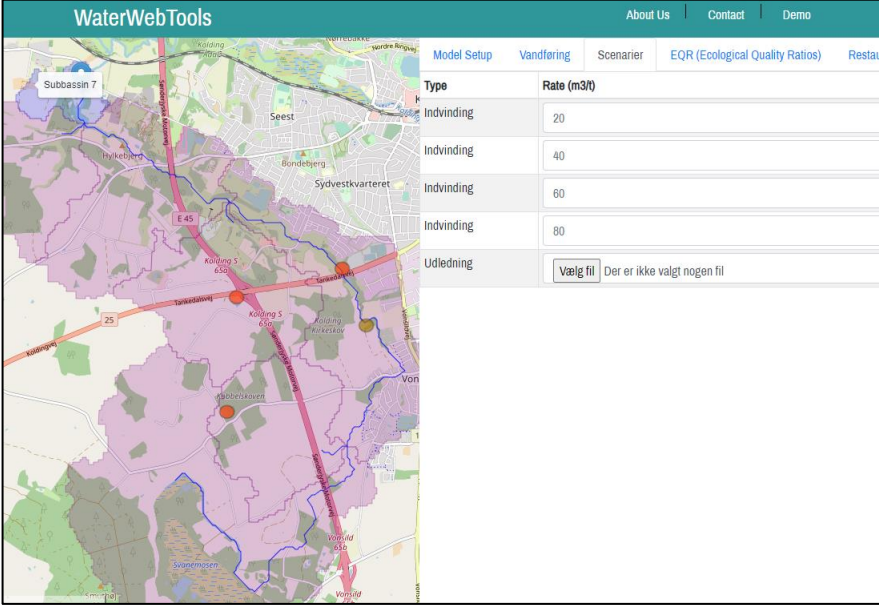
Modelopsætning i SWAT består af en række deloplande. Klikkes der på et af disse deloplande, åbnes en menu med informationer om modellen (Model Setup). Her ses arealanvendelse i oplandet samt klimadata.



Indeholdt i menuen "Model Setup" er også information om performance for den hydrologiske model. Der er vist en hydrograf med beregnet mod observeret vandføring, samt data for den statistiske validering af modellen.



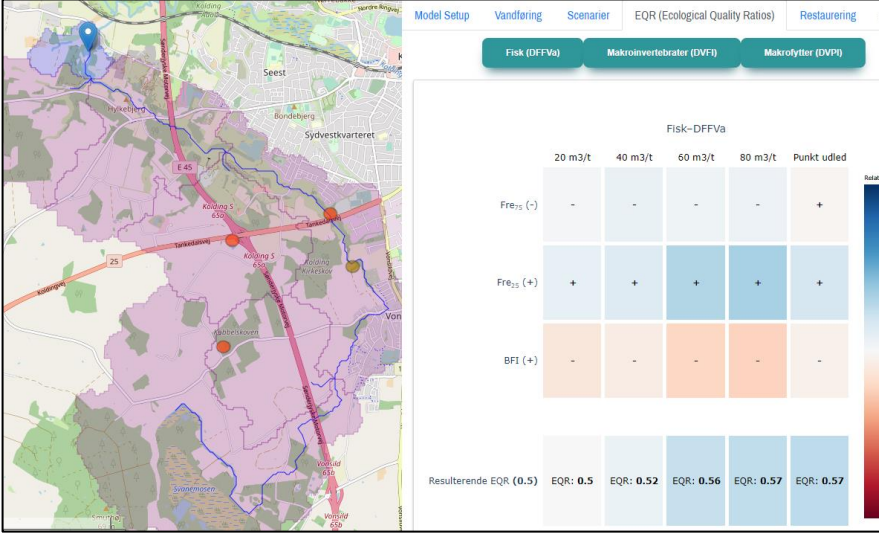
I næste menu ("Vandføring") ses den beregnede vandføring for det konkrete vandløb.



Type	Rate (m3/t)
Indvinding	20
Indvinding	40
Indvinding	60
Indvinding	80
Udledning	Vælg fil <small>Der er ikke valgt nogen fil</small>

Under menuen "Scenarier" indtastes de forskellige indvindings-scenarier, der skal beregnes og placering af indvindingerne placeres på kortet over modelens afgrænsning (vist med røde prikker til venstre). For udledningsscenarioet importeres en fil med vandføringsdata for udledningspunktet. Udledningspunktet placeres ligeledes på kortet (vist med en gul prik til venstre).

---

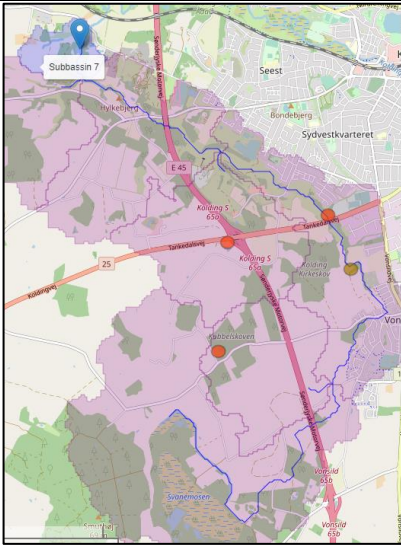


Fisk-DFV					
	20 m3/t	40 m3/t	60 m3/t	80 m3/t	Punkt udled
Fr <sub>25</sub> (-)	-	-	-	-	+
Fr <sub>25</sub> (+)	+	+	+	+	+
BFI (+)	-	-	-	-	-

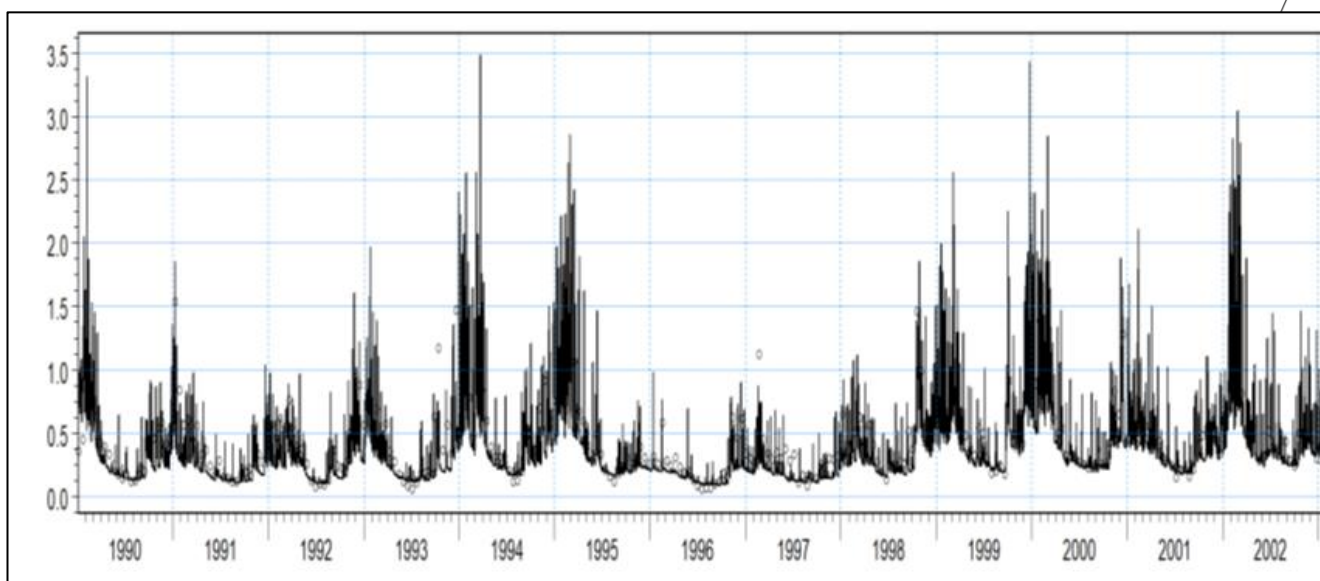
Resulterende EQR (0.5)	EQR: 0.5	EQR: 0.52	EQR: 0.56	EQR: 0.57	EQR: 0.57
------------------------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Næste menu "EQR (Ecological Quality Ratio)" viser beregningerne af ændringer i den økologiske tilstand i vandløbet som konsekvens af de valgte indvindings- og udledningsscenarier. Der vises resultater separat for fisk, smådyr og planter, her vist for fisk.

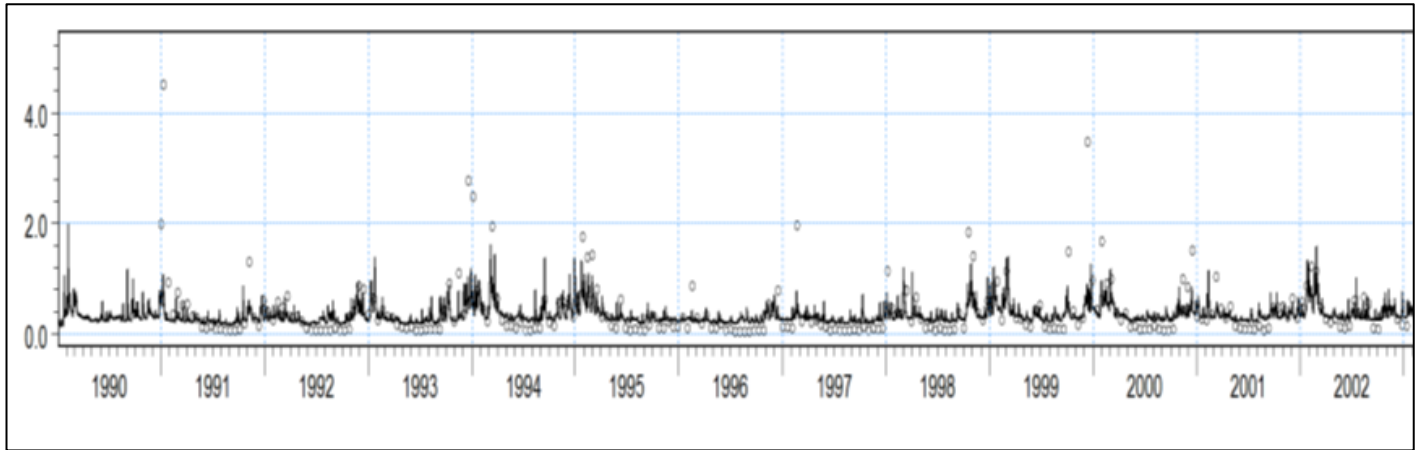
	Model Setup   Vandføring   Scenarier   EQR (Ecological Quality Ratios)   Restauring	<p>Den sidste menu ("Restauring") er ikke færdigudviklet. I denne del af værktøjet bliver det muligt at undersøge effekten af vandløbsforbedringer på de beregnede ændringer i den økologiske tilstand.</p>
---	---	---

## 5.4 Projektresultater

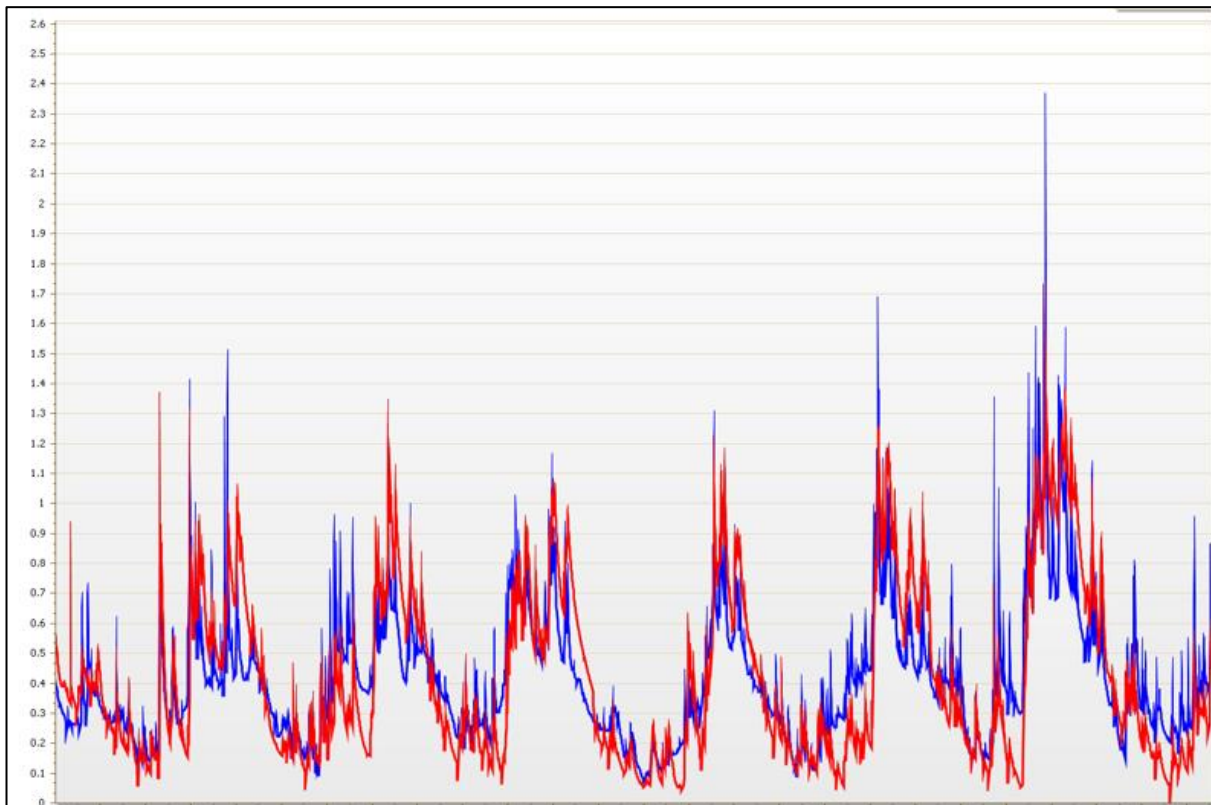
Det var muligt at beregne vandføring i begge test-område med alle 3 typer af modeller. Nedenfor ses et udpluk af modelleringsresultaterne vist som de beregnede hydrografer sammen med den observerede hydrograf. For mere detaljerede resultater henvises til bilag 2.



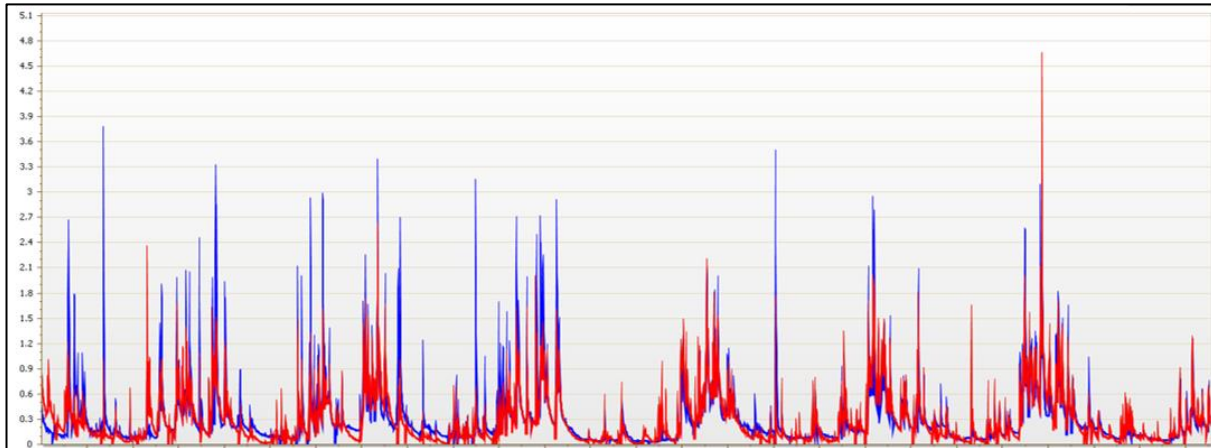
Figur 2: Beregnet vandføring for Brande Å for perioden 1990-2002 ved anvendelse af MIKE-modellen. Prikker er resultat fra modellen og streg er den observerede vandføring.



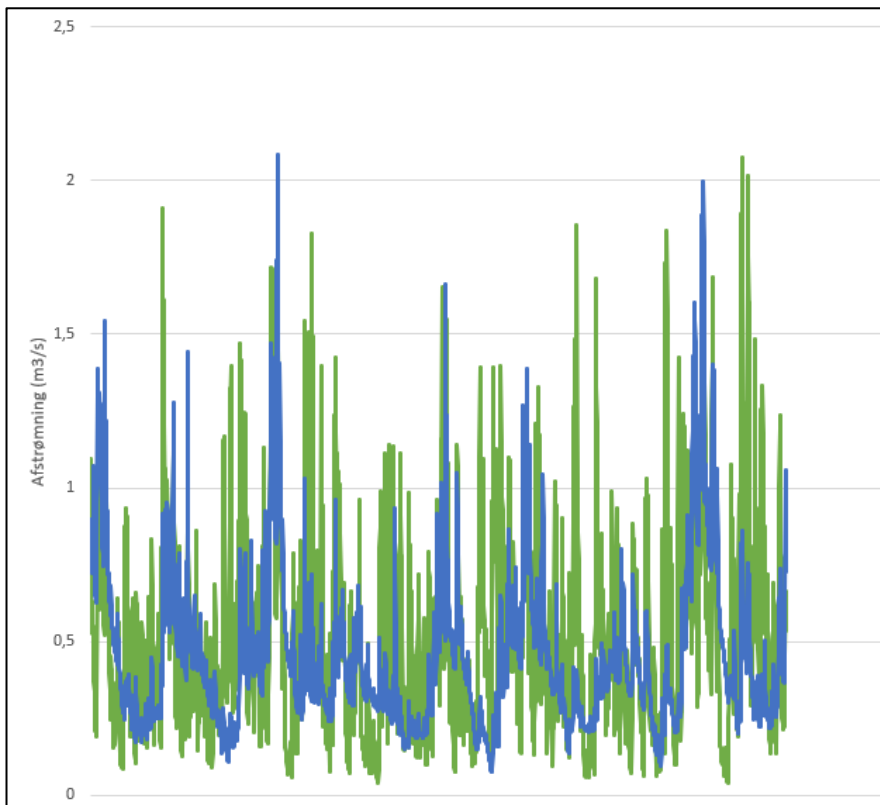
Figur 3: Beregnet vandføring for Seest Mølle Å for perioden 1990-2002 ved anvendelse af MIKE-modellen. Prikker er resultat fra modellen og streg er den observerede vandføring.



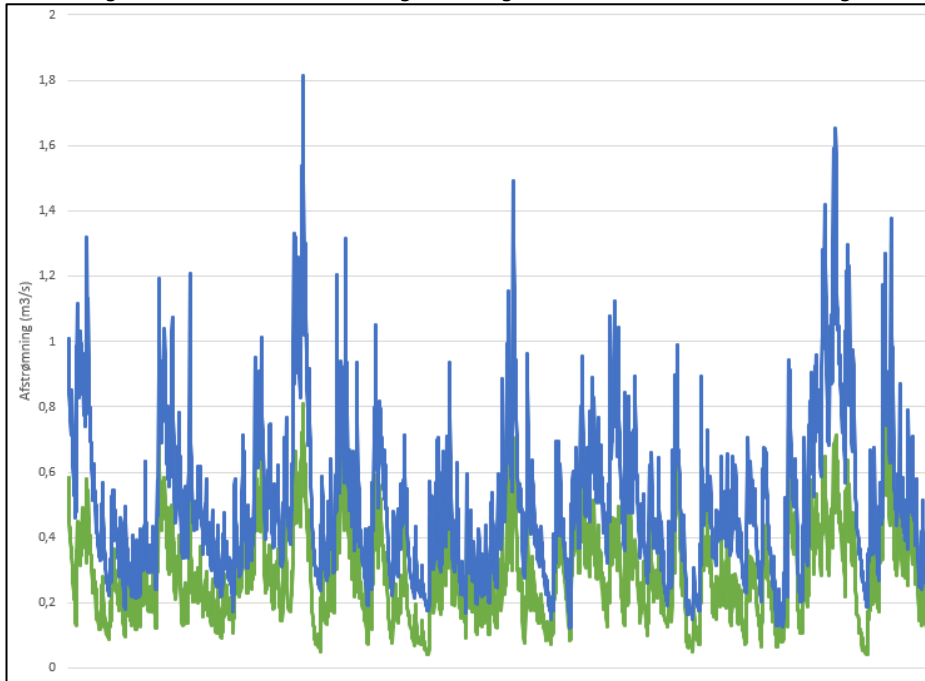
Figur 4: Beregnet vandføring for Brande Å for perioden 2010-2016 ved anvendelse af SWAT-modellen. Rød streg er resultat fra modellen og blå streg er den observerede vandføring.



Figur 5: Beregnet vandføring for Seest Mølle Å for perioden 2010-2016 ved anvendelse af SWAT-modellen. Rød streg er resultat fra modellen og blå streg er den observerede vandføring.



Figur 6: Beregnet vandføring for Seest Mølle Å for perioden 1996-2007 ved anvendelse af GG-modellen. Grøn streg er resultat fra modellen og blå streg er den observerede vandføring.



Figur 7: Beregnet vandføring for Brande Å for perioden 1996-2007 ved anvendelse af GG-modellen. Grøn streg er resultat fra modellen og blå streg er den observerede vandføring.

#### 5.4.1 Performance og omkostningseffektivitet

Det væsentligste formål med modelafprøvningen var at undersøge omkostningseffektiviteten ved forskellige modeller med forskellig grad af kompleksitet. Den mest komplekse model, der blev anvendt, er den koblede MIKE-model, den næstmest komplekse er SWAT-modellen og den mest simple er den nyudviklede GG-model.

Nedenfor i Tabel 5-1 er lavet en opsummering af modellernes performance målt som en  $R^2$ -værdi. Hvis der er perfekt sammenfald mellem de beregnede værdier og de observerede værdier opnås en  $R^2$ -værdi på 1. Det sker aldrig, at der opnås et fuldstændigt sammenfald mellem det beregnede og det observerede ved anvendelse af hydrologiske modeller, men værdier over 0,5-0,6 betragtes generelt som godt for denne type modellering.

Som det fremgår blev det fundet, at SWAT-modellen gav klart den bedste performance, men GG-modellen gav den dårligste. Set ift. den meget komplekse MIKE-model var der dog ikke stor forskel på den simple GG-model og MIKE-modellen. Samtidigt blev tidsforbruget ved SWAT-modellen estimeret til at være under halvdelen af tidsforbruget ved opsætning af en MIKE-model. På baggrund af disse resultater blev det besluttet, at SWAT-modellen er den mest omkostningseffektive model til beregning af en hydrograf i vandløb – vurderet ud fra både præcision og tidsforbrug. Denne model er derfor anvendt til beregning af scenarier og påvirkning på vandløb ved indvinding og udledning.

Tabel 5-1 Performance, tidsforbrug og omkostninger ved de anvendte modeller til beregning af en hydrograf.



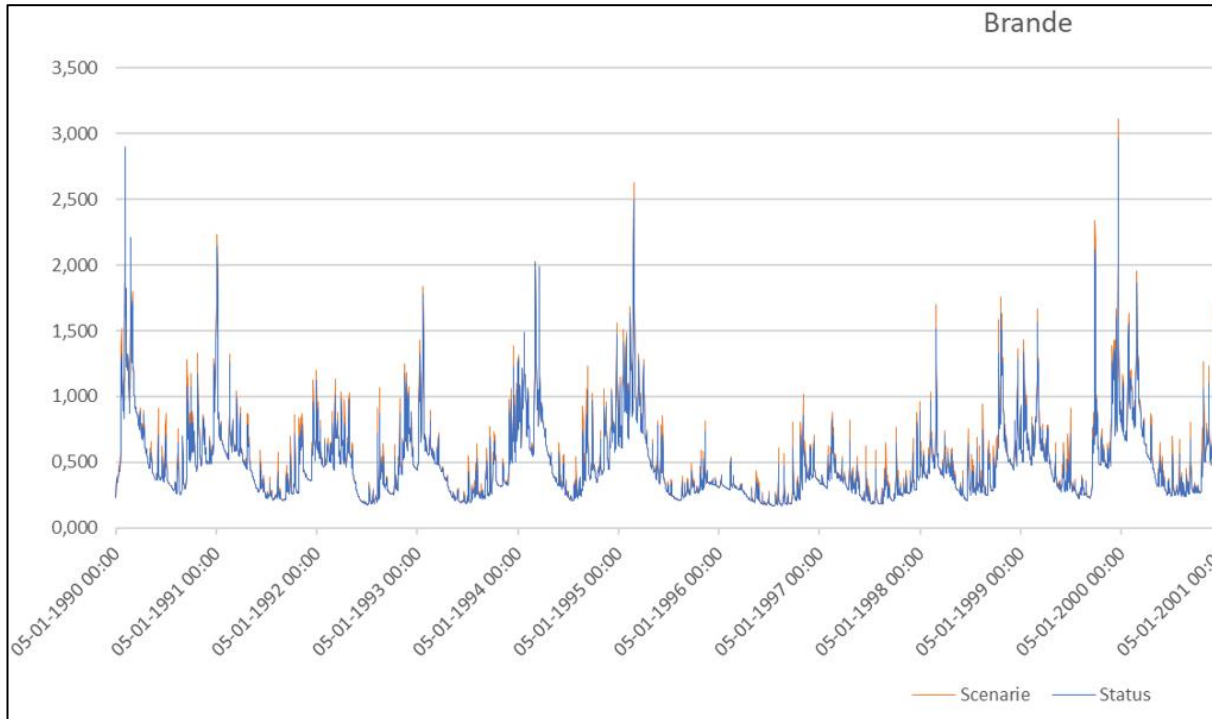
Model	R <sup>2</sup>	Timeforbrug, timer	Udgifter licens
SWAT, Brande Å	0,79	75	0
SWAT, Seest Mølle Å	0,82	75	0
MIKE, Brande Å	0,36	200	50.000
MIKE, Seest Mølle Å	0,48	200	50.000
GG-model, Brande Å	0,33	20	0
GG-model, Seest Mølle Å	0,28	20	0

#### 5.4.2 Beregning scenarier og påvirkning på vandløb

På baggrund af den valgte SWAT-model, blev der foretaget beregninger af påvirkning på Brande Å og Seest Mølle Å ved forskellige scenarier af indvinding og udledning. Beregning af påvirkning tog udgangspunkt i de empiriske sammenhænge mellem ændringer i det hydrologiske regime og den økologiske tilstand. Disse sammenhænge er præsenteret i indledningen.

Det første skridt i beregning af en påvirkning var fastlæggelse af scenarier. Ift. indvinding af grundvand blev der beregnet på 4 scenarier i hvert opland og ift. udledning af overfladevand blev der beregnet på 1 scenarie i hvert opland. For indvinding blev der udvalgt 3 eksisterende grundvandsindvindinger i de 3 oplande, hvor den nuværende indvindingsmængde er kendt (status). I de 4 scenarier blev der skruet op for denne indvinding med henholdsvis 20, 40, 60 og 80 m<sup>3</sup>/t.

For udledning blev der defineret et scenarie, hvor udledning af overfladevand fra et fiktivt opland blev beregnet. I første omgang, for at få indtryk af mulig påvirkning fra udlednings-scenariet, blev der lavet test med forskellige størrelser af befæstet areal i det fiktive opland med den simple model (GG-modellen). Det blev fundet, at et befæstet areal på 1 km<sup>2</sup> vil give en synlig påvirkning på hydrografen for begge oplande. 1 km<sup>2</sup> svarer til hhv. 1 og 3 % af oplandet for Brande Å og Seest Mølle Å. Der blev derfor valgt et opland på 1 km<sup>2</sup> i begge de to test-oplande og udledningsoplandet blev placeret midt i de to test-oplande. Derefter blev der lavet en opsætning i MIKE Urban med opland, bassin, reguleret udløb og overløb. Dimensionering af bassin blev gjort vha. SVK-regnearket og dermed fuldstændigt som ved et rigtigt regnvandsbassin. Vha. MIKE Urban modellen – og input af nedbør i en tidsserie – blev der beregnet en lang tidsserie (15 år) på afstrømning fra det fiktive regnvandsbassin. Denne tidsserie blev derefter koblet på SWAT-modellen på det valgte sted og udledningens påvirkning på hydrografen kunne dermed beregnes. Som eksempel på denne påvirkning af hydrografen er nedenfor vist et udklip fra hydrografen for Brande Å med og uden udledning af overfladevand.



Figur 8: Udklip af hydrograf for Brande Å med (orange) og uden (blå) bidrag fra udledning af overfladevand.

### 5.4.3 Beregning af påvirkning på den økologiske tilstand

På baggrund af de valgte scenarier, blev der beregnet en påvirkning på den økologiske tilstand i Brande Å og Seest Mølle Å. Beregninger er foretaget separat for fisk, smådyr og planter, jf. de empiriske sammenhænge mellem påvirkning på hydrografen og den økologiske tilstand.

I Brande Å viste beregningerne af ændringer i den økologiske tilstand en meget begrænset effekt ved alle scenarier, når ændringer ift. statusberegningerne betragtes. For den økologiske tilstand målt ift. fisk, var der stort set ingen ændring som følge af indvindingsscenerierne, mens der blev beregnet et mere markant fald i den økologiske tilstand ved udledningssceneriet (Figur 9). For den økologiske tilstand målt ift. planter blev der set det samme billede – næsten uændret ift. tilstand ved de forskellige indvindingsscenerier, og et fald i tilstand ved udledning (Figur 10). For smådyr var der ligeledes en meget lille effekt i indvindingsscenerierne, mens der ikke kunne ses en effekt på den økologiske tilstand ved udledningssceneriet (Figur 10).

Den meget begrænsede effekt på den økologiske tilstand ved indvindingsscenerierne i Brande Å kan skydes, at der er et forholdsvis stort bidrag fra grundvand til Brande Å i dette sandede, vestvendte opland. De beregnede indvindingsscenerier var derfor ikke dybe nok til at inducere en markant respons på den økologiske tilstand.

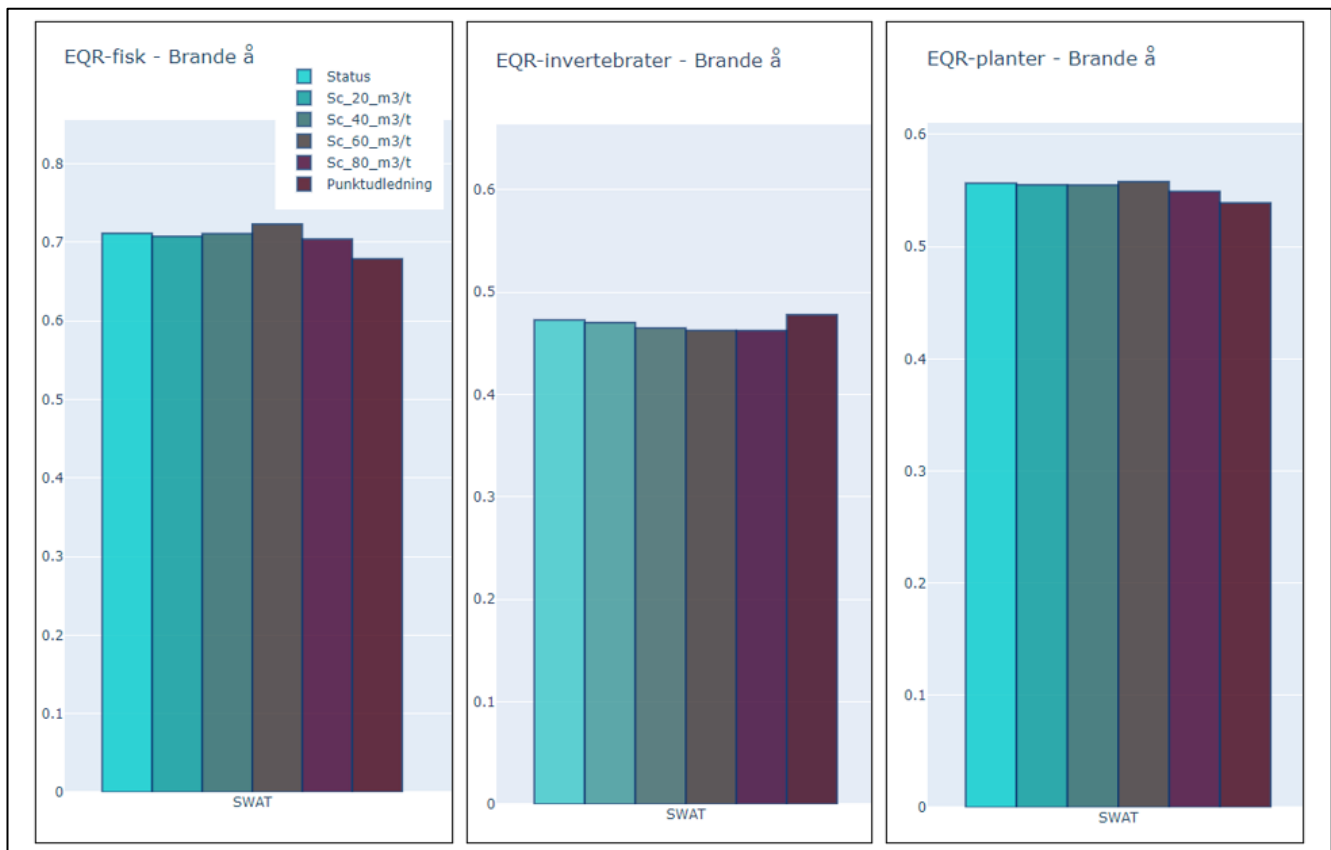
Ved udledningssceneriet blev der beregnet et fald i den økologiske tilstand ift. fisk og planter. Den empiriske sammenhæng mellem ændringer i hydrologien og den økologiske tilstand for fisk er:

$$DFFVa_{EQR} = 0,811 \cdot BFI + 0,058 \cdot Sin + 0,050 \cdot Fre_{25} - 0,319 - 0,0413 \cdot Fre_{75}$$

I denne sammenhæng indgår 3 forskellige hydrologiske variabler, hvor de 2 er positivt vægtet (BFI og  $Fre_{25}$ ), mens den sidste er negativt vægtet ( $Fre_{75}$ ). I de konkrete beregninger giver udledningsscenarioet anledning til et fald i værdien for BFI, hvilket betyder, at vandføringen bliver mindre stabil (udledningen giver anledning til flere peaks i vandføringen). Dette er negativt ift. fiskene i vandløbet. Den empiriske sammenhæng for planter er:

$$DVPI_{EQR} = 0,546 + 0,020 \cdot Fre_{25} - 0,019 \cdot Dur_3 - 0,025 \cdot Fre_{75}$$

I denne sammenhæng indgår ligeledes 3 hydrologiske variabler, hvor 1 er positivt vægtet ( $Fre_{25}$ ), mens 2 er negativt vægtet ( $Dur_3$  og  $Fre_{75}$ ). Som for fiskene, blev der beregnet et fald i den økologiske tilstand ved udledningsscenarioet. I den konkrete beregning giver dette scenarie anledning til en stigning i værdien for  $Dur_3$ , hvilket betyder, at der forekommer flere høje vandføringer med relativ lang varighed. Dette er negativt ift. planterne i vandløbet.



Figur 9: Resultater fra scenarieberegninger af ændringer i den økologiske tilstand ved en øget indvinding af grundvand og en øget udledning af overfladevand til Brande Å.

I Seest Mølle Å var resultaterne anderledes end i Brande Å. Generelt var der en større respons på ændring i den økologiske tilstand i dette vandløb, når ændringer ift. statusberegningerne betragtes. For den økologiske tilstand målt ift. fisk, var der stort set ingen ændring som følge af de 2 laveste indvindingsscenarioer, men ved de to dybeste indvindingsscenarioer blev der beregnet en stigning i den økologiske tilstand ift. fisk. Der blev ligeledes beregnet en stigning ved udledningsscenarioet ift. den økologiske tilstand målt med fisk (Figur 10). For den økologiske tilstand målt ift. planter blev der set det samme billede – næsten uændret ift. tilstand ved de lave indvindingsscenarioer, en stigning ved de dybe indvindingsscenarioer og en stigning i den økologiske tilstand ved udledning (Figur 10). For smådyr var der en tendens til en stigning i den økologiske tilstand med øget indvinding, mens der ikke kunne ses en effekt på den økologiske tilstand ved udledningsscenarioet (Figur 10).

Der blev observeret en effekt på den økologiske tilstand ved indvindingsscenarioerne i Seest Mølle Å, dog kun ved de dybe indvindingsscenarioer. Her var det særligt for fisk og planter, at der blev observeret en effekt ift. indvinding. I begge tilfælde resulterede en øget indvinding i en stigning i den økologiske tilstand. Tilsvarende blev der observeret en stigning i den økologiske tilstand ved en øget udledning. Denne stigning i den økologiske tilstand er umiddelbart ikke forventelig, men den kan forklares ved et nærmere kig på den empiriske sammenhæng for fiskene. Den empiriske sammenhæng mellem ændringer i hydrologien og den økologiske tilstand for fisk er:

$$DFFV_{aEQR} = 0,811 \cdot BFI + 0,058 \cdot Sin + 0,050 \cdot Fre_{25} - 0,319 - 0,0413 \cdot Fre_{75}$$

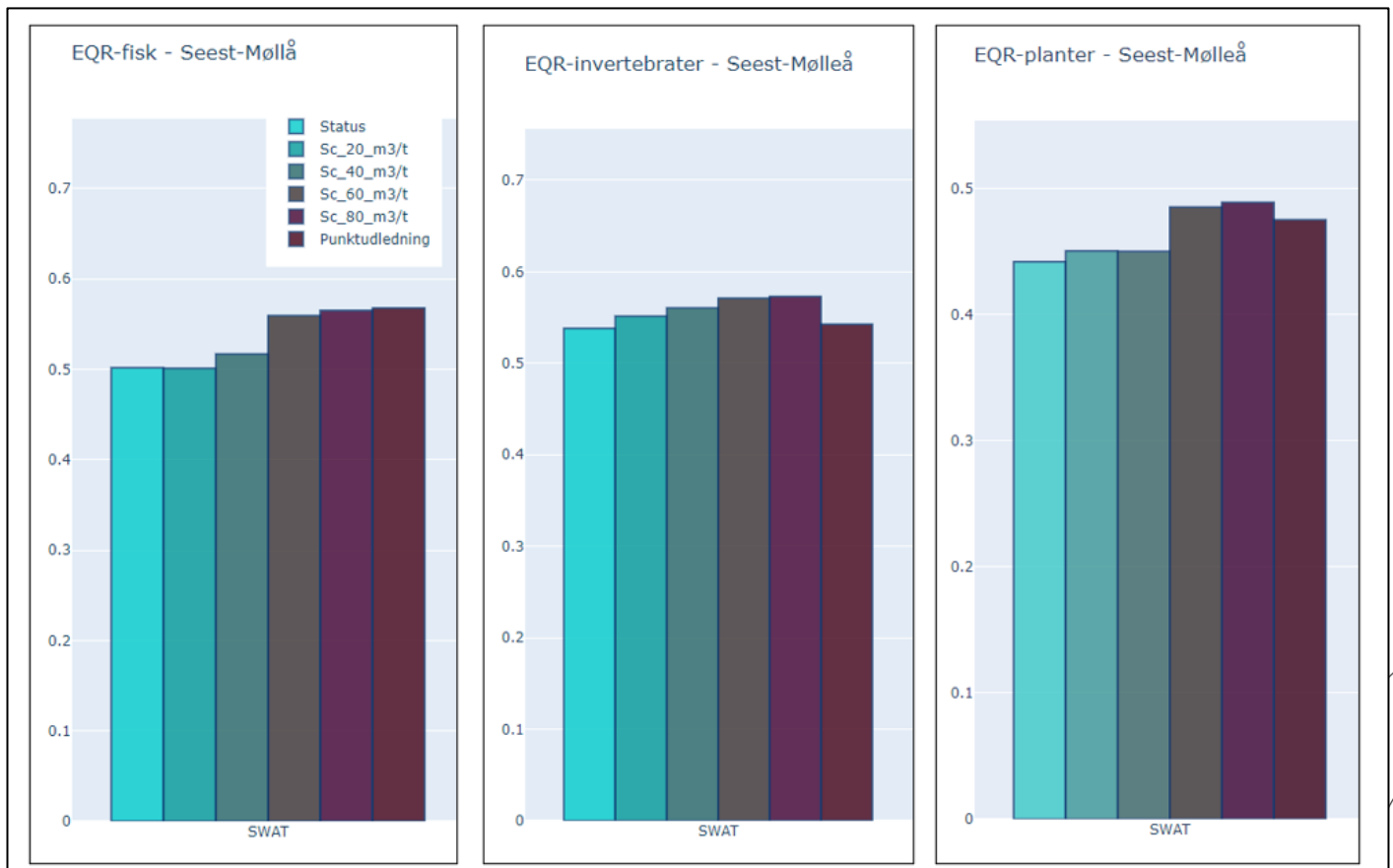
I denne sammenhæng indgår 3 forskellige hydrologiske variabler, hvor de 2 er positivt vægtet (BFI og  $Fre_{25}$ ), mens den sidste er negativt vægtet ( $Fre_{75}$ ). I de konkrete beregninger giver de dybe indvindingsscenarioer anledning til et mindre fald i værdien for BFI, en større stigning i værdien for  $Fre_{25}$  og en lille stigning i værdien for  $Fre_{75}$ . Dette betyder, at vandføringen ved en øget indvinding eller en øget udledning bliver minimalt mindre stabil (fald i BFI), at hyppigheden af små forstyrrelser stiger en del (stigning i  $Fre_{25}$ ) og at hyppigheden af lave vandføringer stiger minimalt (stigning i  $Fre_{75}$ ). Da stigning i værdierne er relativt størst for den positivt vægtede  $Fre_{25}$ , stiger den økologiske tilstand ift. fisk dermed ved en øget indvinding. Giver dette så mening rent hydraulisk, at en øget indvinding og en øget udledning vil medføre en stigning i værdien for  $Fre_{25}$ ?  $Fre_{25}$  er det årlige antal vandføringshændelser under 25 percentilen af vandføringens varighedskurve, altså beskedne forøgelse af vandføringen. Og da der ved en indvinding eller en udledning rykkes på vandføringsregimet og dermed varighedskurven, vil der også ses en øget hyppighed af disse beskedne forøgelser af vandføringen.

For planter blev der ligeledes beregnet en stigning i den økologiske tilstand ved en øget indvinding og ved øget udledning, og som for fiskene, er dette ikke umiddelbart forventeligt. Ved at betragte den empiriske sammenhæng kan der gives en forklaring. Den empiriske sammenhæng for planter er:

$$DVPI_{EQR} = 0,546 + 0,020 \cdot Fre_{25} - 0,019 \cdot Dur_3 - 0,025 \cdot Fre_{75}$$

I denne sammenhæng indgår ligeledes 3 hydrologiske variabler, hvor 1 er positivt vægtet ( $Fre_{25}$ ), mens 2 er negativt vægtet ( $Dur_3$  og  $Fre_{75}$ ). I de konkrete beregninger giver de dybe indvindingsscenarioer og en øget udledning anledning til en større stigning i værdien for  $Fre_{25}$ , et fald i værdien for  $Dur_3$  og en lille stigning i værdien for  $Fre_{75}$ . Dette betyder,

som forklaret ovenfor for fiskene, at hyppigheden af små forstyrrelser stiger en del (stigning i  $Fre_{25}$ ), varighed af høje vandføring falder (fald i  $Dur_3$ ) og at hyppigheden af lave vandføringer stiger minimalt (stigning i  $Fre_{75}$ ). Da stigning i værdierne er relativt størst for den positivt vægtede  $Fre_{25}$ , stiger den økologiske tilstand ift. planter dermed ved en øget indvinding og ved udledning.



Figur 10: Resultater fra scenarieberegninger af ændringer i den økologiske tilstand ved en øget indvinding af grundvand og en øget udledning af overfladevand til Seest Mølle Å.

#### 5.4.4 Opsummering økologisk påvirkning

Laves der en opsummering på baggrund af ovenstående resultater, kan det konkluderes, at der ved udledningsscenarioet i Brande Å blev observeret en relativ klar effekt i den forventede retning (et fald i den økologiske tilstand for 2 af 3 biologiske kvalitetselementer). I Seest Mølle Å gav udledningsscenarioet dog anledning til den modsatte effekt – en stigning i den økologiske tilstand for 2 ud af 3 biologiske kvalitetselementer. Det er vigtigt at bemærke, at de observerede stigninger og fald er relativt beskedne og ligger på mellem 3-5 % ift. status. Ift. anvendeligheden af de empiriske sammenhænge til en vurdering af påvirkning på vandløb ved en udledning er konklusionen således ikke klar og det anbefales, at der laves flere test af dette.

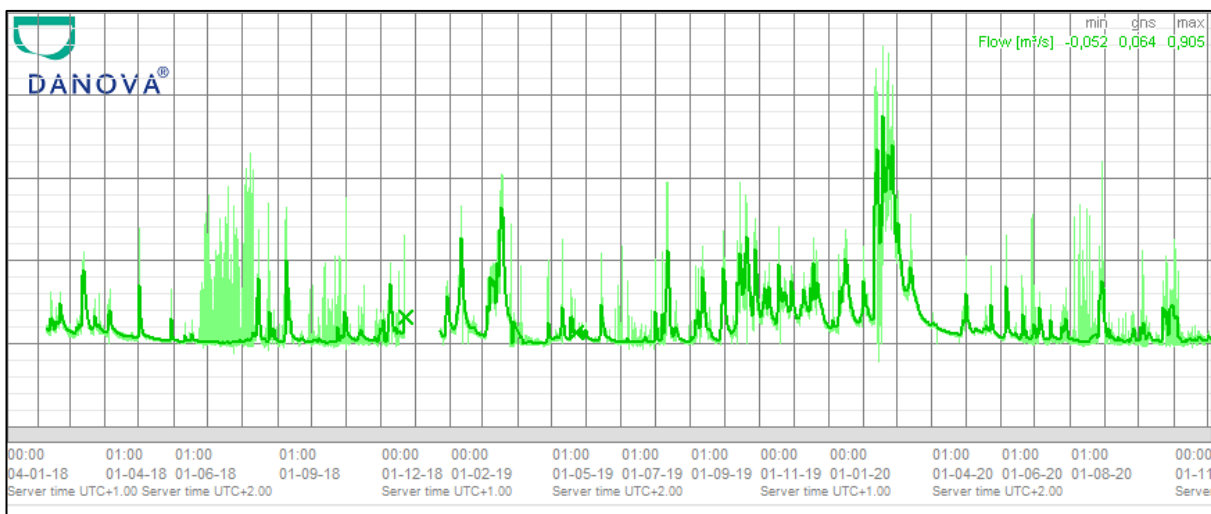
Ift. indvinding, så viser beregningerne for de 2 test-oplande også forskellige resultater. Der blev ikke set en effekt i Brande Å, men en stigning i den økologiske tilstand i Seest Mølle Å for 2 ud af 3 biologiske kvalitets elementer. Som for udledning, er det vigtigt at bemærke,

at de beregnede ændringer i den økologiske tilstand er små (3-5 % ift. status). I andre undersøgelser af indvindingens påvirkning på den økologiske tilstand i vandløb målt via de sammen empiriske sammenhænge, er der set et relativt stort fald i den økologiske tilstand<sup>7</sup>. I disse undersøgelser, der blev lavet i Uggerby Å, var de anvendte indvindingsscenarier markant dybere end dem anvendt i BREVIU. Det kan derfor konkluderes, at de empiriske sammenhænge kan anvendes til en vurdering af påvirkning på vandløb fra indvinding og det anbefales, at denne praksis indføres som en branchestandard.

#### 5.4.5 Kalibrering af metode mod realtidsdata og realtidsstyring af indvinding og udledning i "Den Intelligente Vandby"

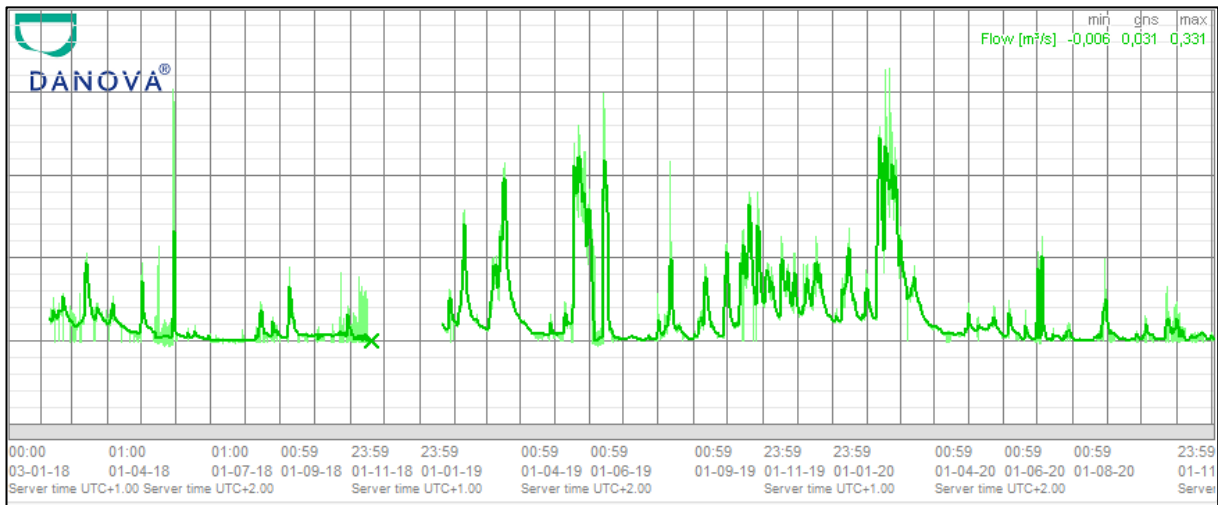
En af ambitionerne med BREVIU var at indsamle ny data for vandføringen i et opland, hvor der findes en udfordring ift. den hydrauliske belastning. Sommerbækken ved Hørning blev valgt til dette formål. Med disse nye data var ambitionen at undersøge og kalibrere den valgte metode op mod realtidsdata for indvinding og udledning, samt undersøge om metoden kunne integreres i "Den Intelligente Vandby" ved Skanderborg Forsyning.

Logning af vandføring i Sommerbækken blev iværksat som en del af projektet og der blev indsamlet data fra feb. 2018 til dec. 2020. Dermed findes der nye data for vandføringen over knap 2 år. Nedenfor i Figur 11 og Figur 12 ses den målte vandføring for de 2 stationer placeret henholdsvis nedstrøms og opstrøms Hørning.



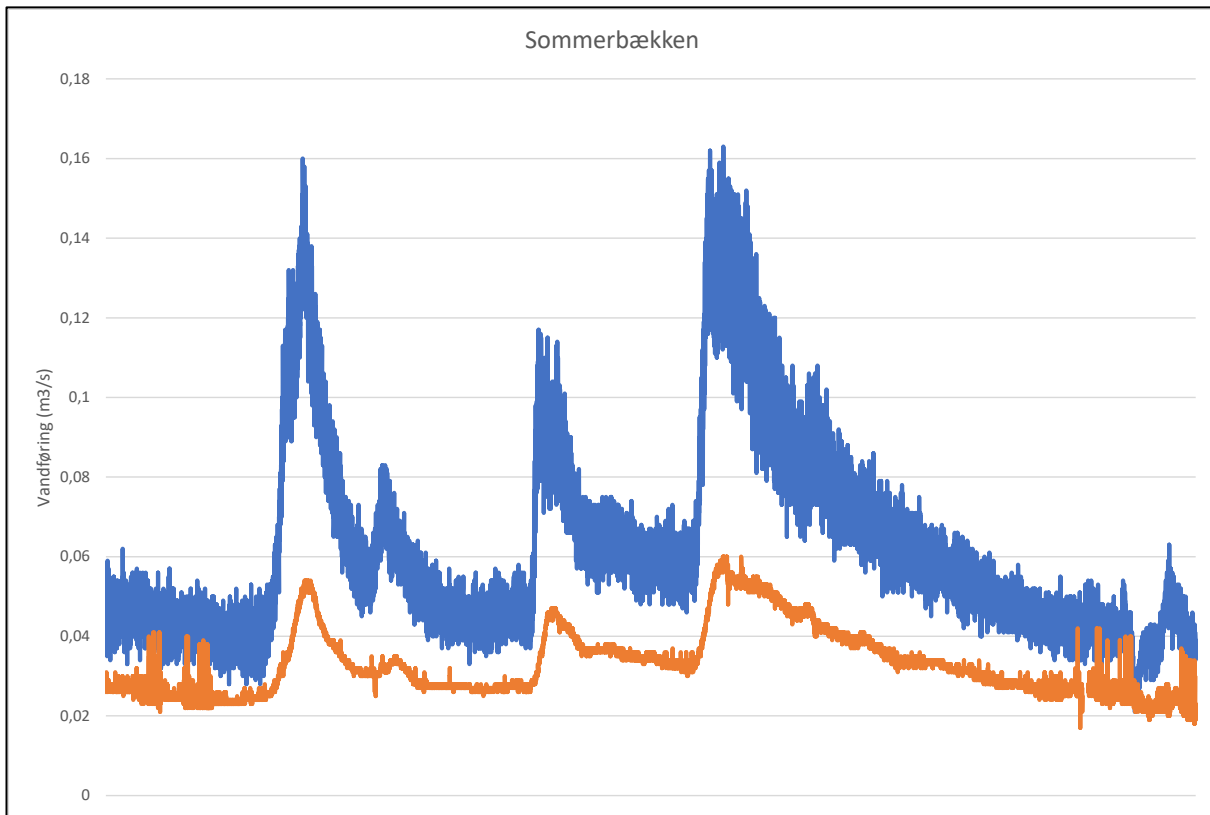
Figur 11: Målt vandføring i Sommerbækken nedstrøms Hørning by fra feb. 2018 til dec. 2020.

<sup>7</sup> Liu, W., et al: 2020. Assessing the impact of groundwater abstractions on flow regime and stream biota: Combining SWAT-MODFLOW with flow-biota empirical models. Science of the Total Environment 706.



Figur 12: Målt vandføring i Sommerbækken opstrøms Hørning by fra feb. 2018 til dec. 2020.

Som det fremgår af figurerne ovenfor, er der en betydelig forskel i vandføringen op- og nedstrøms Hørning By. Både i størrelsen på vandføringen, hvor den maksimale vandføring målt nedstrøms er 3 gange så høj som den maksimale målt opstrøms. Men også i vandføringsregimet viser forskellen op- og nedstrøms byen, hvor der nedstrøms byen ses mere markante udsving i vandføringen. Amplitude af toppe i vandføringen er også markant større nedstrøms end opstrøms byen som vist i Figur 13. Der er således flere indikationer på, at der sker en hydraulisk belastning af Sommerbækken og dette har muligvis en betydning på den økologiske tilstand i Sommerbækken.



Figur 13: Udklip af målt vandføring i Sommerbækken opstrøms (orange) og nedstrøms (blå) Hørning by fra feb. 2018 marts 2018.

Desværre er den målte tidsserie over vandføring i Sommerbækken ikke lang nok til, at den metode, der gennem projektet er valgt som den bedste, kan anvendes. Beregning af en påvirkning på den økologiske tilstand tager som bekendt udgangspunkt i de empiriske sammenhænge mellem vandføringsregimet og den økologiske tilstand. De hydrologiske variable der indgår i sammenhængene, kan kun beregnes via en lang tidsserie for vandføring. Dermed kan de ikke beregnes for Sommerbækken og den planlagte undersøgelse af reeltidsstyring af udledning og indvinding ift. påvirkning på vandløb, kunne derfor ikke gennemføres som planlagt. Måling af vandføring i Sommerbækken pågår stadig og det anbefales dermed at fortsætte denne måling. Når måleserien er lang nok, kan den valgte metode anvendes og reeltidsstyringen kan undersøges.

Ift. "Den Intelligente Vandby" var tanken, at Skanderborg Forsyning gennem Den Intelligente Vandby, sammen med samarbejdspartnere, skulle få, beskrive og gennemføre ideer, der skulle gøre det muligt at prioritere og agere ved hjælp af data fra sensorer på anlæg og omgivelser. Skanderborg Forsyning vidste, at kommunikation med anlæg var vitalt og de kunne se en fordel i, at sensorer/måleudstyr på anlæg konstant var i dialog med forsyningens systemer. De ønskede at få systemerne til at fortælle anlæggene, hvordan de skulle rette sig ind, så de kører effektivt, og til at fortælle, hvis der var noget galt eller noget der ikke var optimalt. Den Intelligente Vandby skulle handle om udveksling, behandling og visualisering af data, der kunne hjælpe med at prioritere og automatisere indsatsen på anlæg på baggrund af data.



En af ideerne var at finde en operationel metode til fastsættelse af myndighedskrav i forhold til indvinding af drikkevand og/eller udledning af overfladevand til et konkret vandløb. Skanderborg Forsyning ønskede en metode med simple modelleringstilgange, der baseret på den nyeste forskning i vurdering af påvirkning af vandløbenes miljøtilstand, kunne bestemme hvilken indvinding og/eller udledning et vandløb kunne håndtere. En sådan model ville bane vejen for en smidig og effektiv myndighedsproces samt omkostningseffektive beregninger. Samtidigt havde Skanderborg Forsyning et ønske om at undersøge mulighederne for reeltidsstyring af indvinding og udledning til optimering af ressourceforbrug og til gavn for miljøet.

Ideen udmøntede sig i det konkrete udviklingsprojekt (BREVIU) og initiativer, som rækker udover den daglige drift, og som direkte eller indirekte understøtter Skanderborg Forsynings strategiske fokusområder og mål omkring en ambitiøs miljøindsats, løbende driftsoptimering og innovative partnerskaber. Den udviklede metode til vurdering af en påvirkning på vandløb ved indvinding eller udledning passer således godt ned i Skanderborg Forsynings ambitioner og tanker omkring Den Intelligente Vandby. Den konkrete implementering af værktøjet har ikke været muligt indenfor projektets tidsmæssige og økonomiske ramme, men muligheden er der.

## 5.5 Konklusion

Gennem projektet er der afprøvet forskellige hydrologiske modeller til beregning af en hydrograf for vandløb. Alle de afprøvede modeller kunne beregne en hydrograf, men SWAT-modellen blev vurderet til at være mest præcis og mest omkostningseffektiv.

Vha. SWAT-modellen kunne påvirkning fra udledning og indvinding på den økologiske tilstand i vandløb beregnes og der blev udviklet et web-baseret værktøj til beregningerne. Beregningerne viste, at det er muligt at beregne påvirkning fra indvinding med stor sikkerhed via dette værktøj. Vurdering ift. en påvirkning fra udledning viste en række usikkerheder og der kræves således flere test, før denne del kan implementeres i det endelige værktøj.