



Miljøministeriet  
Naturstyrelsen

# Effektiv metodik til screening af oversvøm- melsesrisici i vandløb

# Kolofon

**Titel:**

Effektiv metodik til screening af oversvømmelsesrisici i vandløb

**Emneord:**

Vandløbsafstrømning, vandstand, oversvømmelse, oversvømmelseskort

**Udgiver:**

Naturstyrelsen

**Forfatter:**

Henrik Garsdal (COWI A/S)  
Anders Refsgaard (COWI A/S)  
Bo Christensen (COWI A/S),  
Jeppe Sikker Jensen (COWI A/S)  
Søren Hinge Christensen (COWI A/S)  
Jes Clauson-Kaas (COWI A/S)

**Sprog:**

Dansk

**År:**

2011

**URL:**

[www.naturstyrelsen.dk](http://www.naturstyrelsen.dk)

**ISBN nr. elektronisk version:**

978-87-7279-296-5

**Udgiverkategori:**

Statslig

**Resume:**

Der er udviklet en effektiv og simpel metode til screening af oversvømmelsesrisici i vandløb. Metoden er anvendelig som et overordnet screeningsværktøj før eventuelle detailstudier igangsættes. Metoden er testet på to vandløbsoplande i Danmark.

**Ansvarsfraskrivelse:**

Naturstyrelsen offentliggør rapporter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøministeriet. Offentliggørelsen betyder, at Naturstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Naturstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

Sammendrag og konklusioner.....	3
Baggrund.....	3
Formål	4
Konklusion.....	4
Summary and Conclusions.....	7
Background .....	7
Objective .....	8
Conclusion .....	8
1. Indledning.....	11
1.1 Baggrund.....	11
1.2 Formål .....	12
1.3 Afgrænsning af projektet .....	12
2 Metode til screening af oversvømmelse .....	14
2.1 Overordnet beskrivelse af metodik .....	14
2.2 Metodens trin.....	14
2.3 Basis GIS Information .....	15
2.3.1 Etablering af vandløbstema .....	15
2.3.2 Andre temaer .....	15
2.3.3 Etablering af et stationeret vandløb.....	16
2.3.4 Beskrivelse af vandløbet og registrering af bygværker .....	16
2.4 Bestemmelse af maksimal vandføring .....	20
2.4.1 Indledning .....	20
2.4.2 Hydrologiske data .....	20
2.4.3 Geografisk variation i q100.....	22
2.4.4 Afstrømning og oplandenes karakteristika .....	23
2.4.5 Anbefalet beregning af ekstremvandføring.....	31
2.4.6 Effekter af klimaændringer på nedbør og afstrømning.....	32
2.5 Bestemmelse af maksimal vandstand .....	34
2.5.1 Bestemmelse af maksimal vandstand i vandløb ud fra målinger .....	34
2.5.2 Bestemmelse af vandstand udfra maksimal afstrømning.....	34
2.5.3 Bestemmelse af vandstand ved tværsnitsindsnævninger .....	36
2.5.4 Bestemmelse af maksimal vandstand ved udløb til havet .....	40
2.6 Vandstandens variation langs vandløb .....	43

2.6.1	Indledning .....	43
2.6.2	Forsimplet beskrivelse af vandstandsvariation.....	43
2.6.3	Bestemmelse af vandstand ved stuvning .....	44
2.6.4	Anbefaling for langsgående vandstandsvariation.....	46
2.6.5	Integrering af vandstandsinformation .....	47
2.6.6	Overførsel af vandstandsinformation til GIS.....	48
2.7	Tilvejebringelse af oversvømmelseskort.....	48
2.7.1	Beregning af vandløbsgrid.....	48
3	Test af metode til screening af oversvømmelse .....	52
3.1	Indledning.....	52
3.2	Testparametre .....	52
3.3	Valgte testoplade.....	54
3.3.1	Værebros Å.....	54
3.3.2	Storå .....	57
3.4	Verifikation af metoden .....	60
3.4.1	Værebros Å.....	60
3.4.2	Stor Å .....	84
3.5	Rangordning af parametre .....	99
3.6	Sandsynligheds- og sandsynlighedskortlægning.....	99
4	Vurdering af metodens styrker og svagheder .....	102
4.1	Metodens styrker.....	102
4.2	Metodens svagheder.....	102
4.3	Anbefalinger .....	102
4.3.1	Anbefalinger ved anvendelse af metoden .....	102
4.3.2	Anbefalinger for videregående arbejde .....	103
5	Perspektivering og anbefalinger.....	104
Bilag 1:	Litteraturliste.....	105
Bilag 2:	Arealanvendelse/befæstet areal .....	106
Bilag 3:	Anvendte variable, afstrømningsmodel.....	108
Bilag 4:	Oversigt over metodens GIS operationer .....	109
Bilag 5:	Detaljeret beskrivelse af metodens GIS operationer .....	110
Bilag 5:	Oversvømmelseskort, Værebros Å.....	116
Bilag 6:	Oversvømmelseskort, Storå.....	137

# Sammendrag og konklusioner

## Baggrund

Risiko for oversvømmelse langs vandløb, hvad enten de befinder sig i det åbne land eller løber gennem byområder, er et emne, der har fået stor bevågenhed i de senere år. Årsagen er hovedsageligt de ændrede nedbørsforhold, herunder øget nedbørsintensitet, Danmark og andre lande har oplevet indenfor de sidste 10-15 år. Dette i kombination med en øget urbanisering, med blandt andet en større procentdel af faste overflader til følge, har betydet, at større mængder vand er blevet afledt på kortere tid, med forøget oversvømmelseshyppighed til følge.

På europæisk plan var det primært de store oversvømmelser langs Rhinen, Meuse og Oder floderne i 90'erne, der for alvor satte gang i initiativer og alternativ tænkning i forhold til oversvømmelser fra floder og vandløb.

Udviklingen indenfor fagområder, der har at gøre med oversvømmelser, er gået fra at fokusere på en korrekt beskrivelse af oversvømmelsesudbredelsen og -mekanismer, til at handle om tilvejebringelse af risikohåndteringsplaner for oversvømmelse, ofte som en integreret del af klimatilpasningsplaner.

Oversvømmelsesrisiko er kombinationen af sandsynligheden for oversvømmelse og de potentielle negative følger for menneskers sundhed, miljø, kulturarv og økonomiske aktiviteter, der er forbundet med oversvømmelser. Mere populært sagt så kan oversvømmelsesrisiko defineres som sandsynligheden for oversvømmelse ganget med de økonomiske omkostninger ved oversvømmelse. Denne definition er praktisk anvendelig og baserer sig på den kendsgerning, at løsninger i forhold til oversvømmelser reelt findes i enten at reducere hyppigheden og størrelsen af oversvømmelsen, eller holde mennesker og værdifuld infrastruktur (bygninger, veje mm.) væk fra oversvømmelsen.

I November 2007 vedtog EU det såkaldte oversvømmelsesdirektiv. Dette direktiv beskriver igennem tre plantrin, hvordan medlemslandene bør etablere risikostyringsplaner for oversvømmelse. Det første plantrin (implementeres inden udgangen af 2011) indbefatter en udpegning af områder, der særligt er udsat for oversvømmelsesrisiko. Det andet plantrin indeholder mere detaljerede opgørelser over områder, der har henholdsvis lav, middel (100-års hændelse) og høj risiko for oversvømmelse (implementeres inden udgangen af 2013). Det tredje plantrin går på udarbejdelse af egentlige risikostyringsplaner (udarbejdes inden udgangen af 2015).

Ovenstående EU initiativ kræver metoder og værktøjer, der med en beskedent indsats kan anvendes til at screene for oversvømmelsesrisiko i vandløb, ikke blot i Danmark men også i øvrige EU lande. Sådanne værktøjer eksisterer endnu ikke

hos vandmyndigheder eller i konsulentbranchen, idet de tilgængelige værktøjer enten er for forsimplede eller for avancerede.

## **Formål**

Dette projekt har til formål at udvikle en effektiv metodik, der på screeningsniveau og med en relativ beskedne indsats kan bruges til at forudsige risiko for oversvømmelser langs vandløb. Projektet fokuserer på at forudsige den fysiske udbredelse af oversvømmelse og ikke på omkostningssiden af oversvømmelser.

## **Konklusion**

Der er i dette projekt udviklet en metode til forudsigelse af risiko for oversvømmelse langs vandløb på screeningsniveau. Metoden indeholder seks overordnede trin, der skal gennemgås i forbindelse med en screening. Disse er:

- 1 Tilvejebringelse af basis GIS information
- 2 Bestemmelse af maksimal vandføring
- 3 Bestemmelse af maksimal vandstand
- 4 Bestemmelse af vandstandens variation langs vandløb
- 6 Beregning af oversvømmelsesudbredelse (Interpolation af vandstand i DTM (GIS)).
- 7 Tilvejebringelse af oversvømmelseskort og sandsynlighedskort

De enkelte trin indeholder forskellige niveauer med stigende detaljeringsgrad.

Vandføringen kan man vælge at fastlægge ved at anvende afstrømningsdata i DMU Fagrapport No. 340 "Afstrømningsforhold i danske vandløb", data fra et referenceopland, værdier beregnet ved hjælp af en 9-parametermodel med oplandsdata udviklet i dette projekt eller værdier beregnet ved statistisk behandling af en måleserie fra vandløbet.

Til bestemmelse af vandstanden og dennes variation langs vandløbet, beskrives ådalstopografien og bygværker (broer, overløbsbygværker og rørunderføringer) separat, og der konverteres mellem vandføring og vandstand ved hjælp af almindelige hydrauliske principper. Ådalstopografien kan enten beskrives ved hjælp

af et fast anlæg af ådalen, eller den aktuelle ådalstopografi fra en DTM med eller uden selve vandløbstværsnittet inkluderet.

Vandstanden ved broer, overløbsbygværker og rørunderføringer beskrives enten ved angivelse af maximum og minimum opstuvning, eller beskrives på basis af de faktiske dimensioner af disse bygværker.

Til beregningen af oversvømmelsesudbredelsen integreres vandstandsinformationerne for vandløbet i GIS, og der foretages henholdsvis interpolation af vandstanden på langs af vandløbet og ekstrapolation af denne på tværs ud i terrænet. Oversvømmeskort og sandsynlighedskort tilvejebringes ved hjælp af standardmetoder i GIS.

Metoden er testet på to vandløbsoplande, nemlig Værebros Å og Storå. Disse to åer er forskellige med hensyn til oplandets størrelse, vandløbets fald og afstrømning. Herudover løber det ene (Storå) for en dels vedkommende igennem bymæssig bebyggelse, og indeholder desuden en vandkraftsø.

Metodens testresultater er sammenlignet med opmålinger på de to åer, og det konkluderes, at den forholdsvis gode overensstemmelse mellem målinger og metodens forudsigelser gør, at metoden kan anvendes til screeningsformål.

Anvendelsen af metoden har givet anledning til en opgørelse over, hvilke parametre, der er de mest betydende, samt anbefalinger for brug af metoden. Sammenfattende kan det siges, at følgende overordnede parametre har betydning (størst betydning først):

1. Vandføring
2. Ådalstopografi
3. Kendskabsniveau for broer, overløbsbygværker og rørunderføringer
4. Havvandstand
5. Betydning af opløsning af H-punkter
6. Langsgående vandstandsvariation

Følgende anbefales vedrørende brug af metoden:

Det anbefales at anvende en ekstrem vandføring, f.eks. q100. Denne vandføring vil give en tilpas stor variation af oversvømmelsesudbredelsen langs vandløbet til at vurdere potentialet for oversvømmelse.

Det anbefales generelt at anvende metodens simpleste niveau for ådalsbeskrivelse (fast anlæg) i kombination med metodens mere avancerede niveauer for broer, overløbsbygværker og rørunderføringer, hvor de fysiske dimensioner af disse indgår.

Kun broer, overløbsbygværker og rør, der giver et betydeligt bidrag til oversvømmelseseffekten, bør medtages i beskrivelsen.

Et tilpas stort antal H-punkter til beskrivelse af vandløbet anbefales. Hermed menes, at afstanden mellem punkterne bør være mellem 500 m og 1000 m i slyngede vandløb med variation i faldet. På lange og flade vandløbsstrækninger kan en større afstand anvendes.

Det anbefales at udelade en detaljeret beskrivelse af vandløbstværsnittet i ådalstopografien, såfremt ådalstopografi anvendes i stedet for et fast anlæg. Ligeledes bør en korrekt men tidskrævende stuvningsberegning udelades, idet en lineær interpolation mellem vandstande har vist sig at være tilstrækkelig..

Den væsentligste styrke ved metoden er, at den kan anvendes med en beskedent indsats i forhold til traditionelle oversvømmelsesstudier med dynamiske vandløbsmodeller og stadig give fornuftige resultater.

Den største ulempe ved metoden er, at den er begrænset til vandløbsstrækninger, hvor der ikke er avanceret regulering (sluser, pumper, temporær og styret magasinering mm.) af det oversvømmende vand.



# Summary and Conclusions

## Background

The risk of flooding in rivers and streams - whether these traverse rural or urban areas - has received much attention in recent years. The main reason for this is the changes in rainfall pattern, specifically the rainfall intensity, which Denmark and other countries have experienced during the last 10-15 years. In combination with increased urbanisation, which result in a larger percentage of impervious surfaces, these changes in rainfall pattern causes larger amounts of water to be drained in a shorter period of time, thus increasing the probability of flooding.

In Europe it was mainly the large flood events along the Rhine, Meuse and Oder Rivers in the 90'ies that inspired a number of new initiatives in the search for alternative ways of responding to flood risk along rivers and streams.

The development of various scientific disciplines dealing with flooding and flood risk have undergone a change from a focus on predicting the physical mechanisms of flood propagation to deal with the establishment of flood risk management plans, often in the context of climate change adaptation.

Flood risk means the combination of the probability of a flood event and of the potential adverse consequences for human health, the environment, cultural heritage and economic activity associated with a flood event. In popular terms flood risk can be defined as the probability of flooding times the economic costs of the damages resulting from flooding. This definition is practical and is based on the fact that real solutions to flood risk implies either to minimise the probability and the size of flooding, or to keep people and valuable infrastructure (buildings, roads etc.) away from the floods.

In November 2007 the EU adopted Directive 2007/60/EC on assessment and management of flood risks (Floods Directive). This directive describes how the member states through three phases shall develop Flood Risk Management Plans. The first phase (to be implemented by end of 2011) contains a preliminary flood risk assessment. As a result of the second phase (to be implemented before end of 2013) the member states shall develop flood risk maps which describe areas that are at low, medium (say 1/100 flood event) or high risk of flooding. By end of 2015 the third phase, which contains Flood Risk Management Plans shall be prepared.

The above mentioned EU initiative requires effective methods and tools which can be used for screening of flood risk in rivers and streams using a limited effort. Such tools do not yet exist among water authorities or consultants, as the available tools are either too simple or too advanced.

## **Objective**

The purpose of this project is to develop an effective methodology, which for screening purposes can predict the flood risk along rivers using limited time and effort. The project focuses on the probability of flooding and prediction of flood extent rather than on the economic cost of damages due to flooding.

## **Conclusion**

The project has developed an effective method for prediction of flood risk along rivers at screening level. The method contains six isolated steps which need to be carried out in connection with a screening exercise. These six steps are

- 1 Derivation of basic GIS information
- 2 Determination of maximum discharge
- 3 Determination of maximum water level
- 4 Determination of water level variation along the river
- 5 Interpolation of water level in DTM (GIS) (Calculation of flood extent)
- 6 Establishment of flood maps and probability maps

The individual steps contain various assessment levels of increasing complexity. The discharge can be determined by using runoff data from NERI (National Environmental Research Institute) Scientific Report No. 340, data from a reference catchment, values calculated by a 9-parameter model developed in this study, or values calculated by statistical analysis of observed time series.

For determination of the water level and its variation along rivers the flood plain topography and structures (bridges, culverts and overflow structures) are described separately, and a conversion between discharge and water level is made using ordinary hydraulic principles. The flood plain topography can either be determined assuming a constant transverse slope of the flood plain, or by using the flood plain topography directly from a Digital Terrain Model (DTM), with or without river cross sections incorporated.

The water level at bridges, culverts and overflow structures is determined assuming either minimum or maximum levels, or calculated on basis of the known dimensions of these structures.

For calculation of the flood extent the water level information is integrated in GIS by interpolation along the river and extrapolation across the flood plain. For production of flood maps and probability maps standard GIS methods are applied.

The method has been tested on two water courses, namely the Værebros River and the Stor River in Denmark. These two rivers are different with respect to catchment size, river slope and discharge. In addition the Stor River runs through the city of Holstebro and includes also a hydropower reservoir.

The results of the method have been compared with measurements in the two river systems, and due to the reasonable agreement between model results and observations, it is concluded that the method can be used for screening purposes.

The application of the method has resulted in a ranking of the parameters in terms of their importance for prediction of flood risk. In addition recommendation on the usage of the method is given.

In conclusion, the following parameters have the highest priorities (most important first):

1. Discharge
2. Floodplain topography
3. Information level of bridges, weirs and culverts
4. Sea water level
5. Resolution of water level points (H-points)
6. Longitudinal water level variation

The following recommendations are given:

It is recommended to apply an extreme flood discharge such as a 1/100 event ( $q_{100}$ ). Such a discharge will create a sufficient flood extent along the river for evaluation of the risk of flooding.

It is recommended to apply the simplest level of floodplain description (a constant transversal slope) in combination with the the more advanced levels for description of bridges, weirs and culverts in which the physical dimensions of these facilities are specified.

Only bridges, weirs and culverts that provide a significant contribution to flooding shall be included.

A reasonable number of water level points (H-points) should be used to describe the river. This means that the distance between the H-points should be in the order of 500-1000 m in meandering water courses that have a varying water level slope. On long and flat river reaches a larger distance can be applied.

It is recommended to omit a detailed description of the river cross sections as part of the flood plain topography, should the actual floodplain topography be selected instead of a constant transversal slope. Likewise backwater calculations shall be left out.

The main advantage of the method is that it can be applied with a limited effort compared to traditional flood studies using dynamic hydraulic models, and still provide reasonable results.

The largest disadvantage of the method is that it is limited to water courses in which there are no advanced flow regulation (sluices, pumps, temporary and controlled storage, etc.) of the flood water.

# 1. Indledning

## 1.1 Baggrund

Risiko for oversvømmelse langs vandløb, hvad enten de befinder sig i det åbne land eller løber gennem byområder, er et emne, der har fået stor bevågenhed i de senere år. Årsagen er hovedsageligt de ændrede nedbørsforhold, herunder øget nedbørsintensitet, Danmark og andre lande har oplevet indenfor de sidste 10-15 år. Dette i kombination med en øget urbanisering, med blandt andet en større procentdel af faste overflader til følge, har betydet, at større mængder vand er blevet afledt på kortere tid, med forøget oversvømmelseshyppighed til følge.

På europæisk plan var det primært de store oversvømmelser langs Rhinen, Meuse og Oder floderne i 90'erne, der for alvor satte gang i initiativer og alternativ tænkning i forhold til oversvømmelser fra floder og vandløb. F.eks. affødte disse oversvømmelser, at man begyndte at tale om 'kontrolleret oversvømmelse', som blandt andet kunne opnås ved at sænke digekronerne på strategiske steder, hvor der var stor magasineringseffekt og små omkostninger ved oversvømmelse. Men også udvikling af modelværktøjer, der kunne håndtere risikohåndtering i forbindelse med oversvømmelser, blev igangsat, blandt andet som følge af disse begivenheder.

Udviklingen indenfor fagområder, der har at gøre med oversvømmelser er gået fra at fokusere på en korrekt beskrivelse af oversvømmelsesudbredelsen og -mekanismer, til at handle om tilvejebringelse af risikohåndteringsplaner for oversvømmelse ofte som en integreret del af klimatilpasningsplaner.

Oversvømmelsesrisiko er kombinationen af sandsynligheden for oversvømmelse og de potentielle negative følger for menneskers sundhed, miljø, kulturarv og økonomiske aktiviteter, der er forbundet med oversvømmelser. Mere populært sagt så kan oversvømmelsesrisiko defineres som sandsynligheden for oversvømmelse ganget med de økonomiske omkostninger ved oversvømmelse. Denne definition er praktisk anvendelig og baserer sig på den kendsgerning, at løsninger i forhold til oversvømmelser reelt findes i enten at reducere hyppigheden og størrelsen af oversvømmelsen, eller holde mennesker og værdifuld infrastruktur (bygninger, veje mm.) væk fra oversvømmelsen. Oversvømmelsesrisiko kan vurderes for forskellige alternativer til forebyggende tiltag, under nuværende og fremtidige klimatiske forhold.

I November 2007 vedtog EU det såkaldte oversvømmelsesdirektiv. Dette direktiv beskriver i gennem tre plantrin, hvordan medlemslandene bør etablere risikostyringsplaner for oversvømmelse. Det første plantrin (implementeres inden udgangen af 2011) indbefatter en udpegning af områder, der er særligt udsat for oversvømmelsesrisiko. Den andet plantrin indeholder mere detaljerede opgørelser over områder, der har henholdsvis lav, middel (100-års hændelse) og høj risiko for

oversvømmelse (implementeres inden udgangen af 2013). Det tredje plantrin går på udarbejdelse af egentlige risikostyringsplaner (udarbejdes inden udgangen af 2015).

Ovenstående EU initiativ kræver metoder og værktøjer, der med en beskeden indsats kan anvendes til at screene for oversvømmelsesrisiko i vandløb, ikke blot i Danmark men også i øvrige EU lande. Sådanne værktøjer eksisterer endnu ikke hos vandmyndigheder eller i konsulentbranchen, idet de tilgængelige værktøjer enten er for forsimplede eller for avancerede.

Dette projekt har til formål at udvikle en effektiv metodik, der på screeningsniveau og med en relativ beskeden indsats kan bruges til at forudsige oversvømmelser langs vandløb. Projektet fokuserer på at forudsige den fysiske udbredelse af oversvømmelse, og ikke på omkostningssiden af oversvømmelser. Der er imidlertid ikke noget der forhindrer, at metoden kan udvides til at omfatte denne del også.

## **1.2 Formål**

Det overordnede formål med projektet er at udvikle en metodik, der på en simpel hurtig og gennemskuelig måde kan sætte myndigheder i stand til at udpege områder, hvor der er fare for oversvømmelse. Metodikken der udvikles til screeningsformål kan anvendes til at forudsige risiko for oversvømmelse langs et vilkårligt vandløb.

Den udviklede metodik skal være robust og være baseret på fysiske principper om vandets opførsel ved oversvømmelser samt være koblet til information om oplandets topografi og betydende bygværker i GIS.

Beskrivelse af metoden og dens resultater skal være tilgængelige på Miljøministeriets hjemmeside.

## **1.3 Afgrænsning af projektet**

Projektet beskæftiger sig udelukkende med den type af oversvømmelser, der kommer som følge af forhøjet vandstand i vandløb med udbredelse af vandløbsvand ud i terræn som følge. Lokal oversvømmelse i f.eks. lavninger som følge af direkte nedbør, oversvømmelser fra kloaksystemet eller interaktion mellem de forskellige oversvømmelsesformer medtages således ikke.

Projektet opdeler oversvømmelsesforudsigelsen i et antal trin, der dels undersøges hver for sig, og som dels skal gennemføres, når screening med metoden udføres i

praksis. Hvert trin i metoden indeholder et antal niveauer med stigende kompleksitet (detaljeret beskrivelse, større data krav og ressourcebehov).

Denne rapport beskriver disse trin indgående i et metodekapitel, samt deres anvendelse på to konkrete testoplade, nemlig Værebros Å og Storå i Danmark. Selve afprøvningen af metoden på de to oplade har til hensigt at klarlægge metodens anvendelighed samt at komme frem til anbefalede parametre og niveauvalg indenfor de enkelte trin i metoden.

Det er ikke hensigten med projektet at udvikle en model eller et stykke software, der kan anvendes af tredjepart. Et sådant arbejde ligger uden for rammerne af projektet, og vil desuden, som et første trin, kræve at en metodik allerede foreligger.

## 2 Metode til screening af oversvømmelse

### 2.1 Overordnet beskrivelse af metodik

Nærværende metode har til sigte at kunne forudsige risikoen for oversvømmelse langs et vilkårligt vandløb. Metoden fokuserer på den oversvømmelse, der er direkte betinget af forhøjede vandstande i vandløb og tager således ikke magasinering eller interaktion med f.eks. afløbssystemer i regning eller lokal oversvømmelse i lavninger forårsaget af direkte nedbør.

Den overordnede tilgang til metodikken har været at kombinere relativt simple hydrauliske principper med information om topografi og betydende infrastruktur.. Sigtet har været at tilvejebringe en metode, der resultatmæssigt og indsatsmæssigt lægger sig mellem en simpel højdemodelanalyse med horisontalt vandspejl og avancerede dynamiske, hydrauliske modeller.

Metoden opdeles i en række trin, der skal udføres sekventielt for at bestemme oversvømmelsesrisikoen. Disse trin er beskrevet nærmere i det følgende.

### 2.2 Metodens trin

Den udarbejdede screeningsmetode består af følgende overordnede trin:

- 1 Tilvejebringelse af basis GIS information
- 2 Bestemmelse af maksimal vandføring
- 3 Bestemmelse af maksimal vandstand
- 4 Vandstandens variation langs vandløb
- 5 Beregning af oversvømmelsesudbredelse (Interpolation af vandstand i DTM (GIS))
- 6 Udarbejdelse af oversvømmelskort og sandsynlighedskort.

Disse trin gennemgås i den rækkefølge, de er angivet i ovenfor.



## 2.3 Basis GIS Information

Forudsigelsen af oversvømmelsesudbredelse er hjørnestenen i screeningsmetoden. Oversvømmelsesudbredelsen visualiseres i en GIS model, der etableres som det første trin i metoden.

Der er to overordnede formål med anvendelsen af GIS:

- 1 Beskrivelse af vandløbet (horisontalt forløb, tværprofil, længdeprofil og forekomst af broer og andre bygværker, der kan have en opstuvende effekt)
- 2 Modellering af oversvømmelser ud i terræn ud fra beregnede vandstande.

Der er således to grænseflader i forhold til projektets øvrige aktiviteter. Den første grænseflade består i opsætningen af den GIS model, der anvendes til at beskrive vandløbet og det tilhørende opland. Den anden grænseflade er ved selve modelleringen af udbredelsen af oversvømmelserne i terrænet. Til begge opgaver er en grid-baseret digital terræn model en forudsætning.

### 2.3.1 Etablering af vandløbstema

Der etableres som det første et vandløbstema i GIS. Udgangspunktet for vandløbstemaet er en vektor-fil med vandløbet defineret som en polylinje. Det anbefales at anvende vandløbstemaerne *Vandløb* og *Vandløbsmidte, rørlagt* fra Kort10 som udgangspunkt for kortlægningen af vandløbsstrækningen, der skal være mål for undersøgelsen. Dette kortgrundlag har en nøjagtighed på ca. 1 m i horisontal retning. Hvis det er nødvendigt at anvende data fra begge vandløbstemaer for at dække hele den relevante vandløbsstrækning, samles de til et sammenhængende vandløbstema. Alternativt kan vandløbstemaet digitaliseres manuelt ved hjælp af diverse baggrundskort, der importeres til GIS. Det igangværende arbejde med FOT (Fælles Objekt Typer) forventes i fremtiden at erstatte Kort10, hvorfor det anbefales at bruge FOT, når dette arbejde er færdigt.

### 2.3.2 Andre temaer

Ved opsætningen i GIS kan DTM'en anvendes til flere forskellige opgaver som f.eks.:

- Udtrække koter for overside af broer, spang, brinker mm.
- Udtrække tværsnit på udvalgte steder

- Beregne gennemsnitlig hældning indenfor oplandet.

Andre GIS data som f.eks. 'DDOland' eller 'DDOby' (begge ortofotoprodukter fra COWI A/S) kan anvendes til at indhente og kortlægge oplysninger om bygværker (bredde, længde etc.) langs vandløbet (broer, spang, dæmninger o. lign.) ved opsætning af modellen, medmindre data kan skaffes på anden vis (f.eks. i vandløbsregulativer).

### 2.3.3 Etablering af et stationeret vandløb

Af hensyn til de videre beregninger af vandstande er det nødvendigt at udarbejde et stationeret vandløb. For at kunne arbejde med stationeringer på vandløbet er det nødvendigt at anvende dynamisk segmentering på vandløbstemaet. I det beskrevne tilfælde er ArcGIS anvendt, men andre GIS-programmer tilbyder samme funktionalitet. I ArcGIS kan de indbyggede værktøjer som *Create Routes* og *Identify Route Locations* anvendes.

Man bør være opmærksom på, at længden af det digitaliserede vandløb kommer til at repræsentere stationeringen. Denne vil ofte afvige fra stationeringer angivet i regulativer o.lign.

### 2.3.4 Beskrivelse af vandløbet og registrering af bygværker

Det digitaliserede vandløb beskrives i et antal punkter, der forudvælges i GIS. Det er i disse punkter, at vandstandene senere beregnes. Punkterne udvælges på passende steder langs vandløbet for at beskrive vandstanden i vandløbet/ådalen, og på lokaliteter, hvor der kan være opstuvende effekter såsom broer og bygværker.

De forudvalgte punkter, der indeholder information om bygværker og andre konstruktioner, beskrives i GIS som et punkttema, efterfølgende kaldet H-punktstema. Nærværende metodik anvender de datatyper i punkttemaet, der er angivet i nedenstående tabel.

Tabel 2-1 Datastruktur for punkttema med H-punkter

Navn	Type	Beskrivelse
ID	Text	Unikt ID
X	Double	X-koordinat. Indlæses for alle punkter til sidst vha. SQL.
Y	Double	Y-koordinat. Indlæses for alle punkter til sidst vha. SQL.
Station	Double	Stationering langs vandløb beregnet i GIS
Type_ID	Integer	Angivelse af hvilken type konstruktion, der er tale om
Kendskab	Integer	Beskrivelse af hvor godt kendskab der er til dimensionerne af pågældende struktur (kendskabsniveau)
H	Double	Beregnet vandstandskote (m DVR90)
Opland	Double	Beregning af oplandsareal i det pågældende punkt (km <sup>2</sup> )
Bro_Kote	Double	Angivelse af kote for overside af bro for H-punkter opstrøms bro. Anvendes ved beregninger for kendskabsniveau 1. (m DVR90)
Brink_kote	Double	Angivelse af brink kote ved samtlige H-punkter. Ved forskel på højre og venstre brink tages den laveste kote. Anvendes ved beregninger for kendskabsniveau 1. (m DVR90)
K2_Bro_TS	Double	Tværsnitsareal for bro for H-punkter opstrøms bro. Anvendes i beregninger for kendskabsniveau 2. (m <sup>2</sup> )
K2_BV_L	Double	Længden af et bygværk (brolængde, rørslængde etc.). Angives for H-punkter opstrøms bygværk. Anvendes ved

		beregninger for kendskabsniveau 2. (m)
K3_slug	Double	Angivelse af bredde af slug for broer og rør for kendskabsniveau 3. (m)
K3_Højde	Double	Angivelse af indvendig højde for brotværnsnit for kendskabsniveau 3. (m)
K2_rør_dia	Double	Angivelse af rørdiameter for kendskabsniveau 2. (m)
K2_FM_OK	Double	Angivelse af flodemål for overløbskant ved kendskabsniveau 2 for H-punkter opstrøms et bygværk. (m DVR90).
K3_OK_L	Double	Angivelse af længde på tværs af vandløbet for overløbskant for kendskabsniveau 3. (m)

Registreringen af broer mv. kan foretages på tre forskellige kendskabsniveauer, hvor kendskabsniveau 1 er det laveste og 3 det højeste. Ved kendskabsniveau 1 er der taget udgangspunkt i, at de nødvendige oplysninger kan tilvejebringes udelukkende ved hjælp af den digitale højdemodel og et topografisk kortværk.

Ved kendskabsniveau 2 er det forudsat, at man derudover kan beregne eller har kendskab til tværsnitsarealet og længden af broer, flodemål eller kote til kant for bygværker samt diameter og længden af rør.

Ved kendskabsniveau 3 skal man kunne supplere med viden om bundkote, bredde, højde, længde, form for broer, kote og bredde for bygværker. Der henvises i øvrigt til afsnittet om broer og bygværker.

Vandløbs- og H-punktstemaet læses ind i GIS sammen med ortofoto, topografisk kort eller andet baggrundskort, der kan anvendes til at genkende strukturer og steder langs vandløbet. Langs vandløbet afsættes H-punkter, som altså er de punkter, hvor der ønskes en beregning af vandstanden. Punkterne bør afsættes med jævne mellemrum på en længere vandløbsstrækning, men som minimum punkter hhv. opstrøms og nedstrøms konstruktioner, der har en opstuvende effekt,

samt hvor vandløbsprofilen ændrer karakter. Hvis der er særlige forhold som f.eks. stuvning pga. tidevandspåvirkninger eller meget meanderende vandløb, indsættes der flere H-punkter på denne strækning.

Objekterne digitaliseres og gives en ID som vist i nedenstående tabel.

Tabel 2-2 Objekter med tilhørende ID i H-punktstemaet.

Objekt	Type ID
Vandløb, samt nedstrøms bygværker	0
Bro, opstrøms	1
Rør, opstrøms	3
Stemmeværker, overløb og stryg, opstrøms	5
Andre, opstrøms	7
Udløb i havet	10

For hvert H-punkt noteres kendskabsniveauet. Afhængigt af hvilken type objekt, der er tale om samt kendskabsniveauet til denne, skal forskellige parametre angives i H-punktstabellen.

Når alle H-punkter er registreret, skal oplandet til hvert punkt noteres i tabellen. Det kan enten gøres ved at foretage en beregning af oplandet i hvert H-punkt vha. DTM'en eller ved at anvende en eksisterende deloplandsafgrænsning og skønne størrelsen af oplandene til H-punkterne ud fra denne. Arealet angives i km<sup>2</sup>. X og Y koordinaterne beregnes og skrives i de respektive felter for alle H-punkter.

Til sidst skal stationeringen beregnes for H punkterne. Med stationering menes den opmålte afstand mellem et defineret udgangspunkt (typisk station 0.00 km) på vandløbet og punkter i enten opstrøms eller nedstrøms retning af vandløbet. Dette gøres vha. de forskellige tekniske faciliteter, der er tilgængelige i ArcGIS. Den endelige tabel eksporteres til en TAB-separeret ASCII-fil, som anvendes til input i vandstandsbergningsmodulet.

## 2.4 Bestemmelse af maksimal vandføring

### 2.4.1 Indledning

Ekstrem afstrømning kan grundlæggende bestemmes på tre måder:

- 1 Værdi, der allerede er bestemt for det pågældende opland eller for et sammenligneligt referenceopland
- 2 Modelberegning på grundlag af fysiske oplandsvariable
- 3 Beregning ved statistisk analyse af vandføringsmålinger.

I dette afsnit beskrives først, hvordan ekstrem afstrømning kan beregnes på grundlag af vandføringsmålinger og DMUs undersøgelser af måleserier fra 39 stationer (DMU, 2000). Derpå undersøges det, om man på grundlag af disse data og karakteristika for oplandene kan opstille en model, der kan bruges til at estimere afstrømningen fra andre oplande.

Endelig identificeres de variable, der er særligt vigtige ved udvælgelsen af referenceoplande.

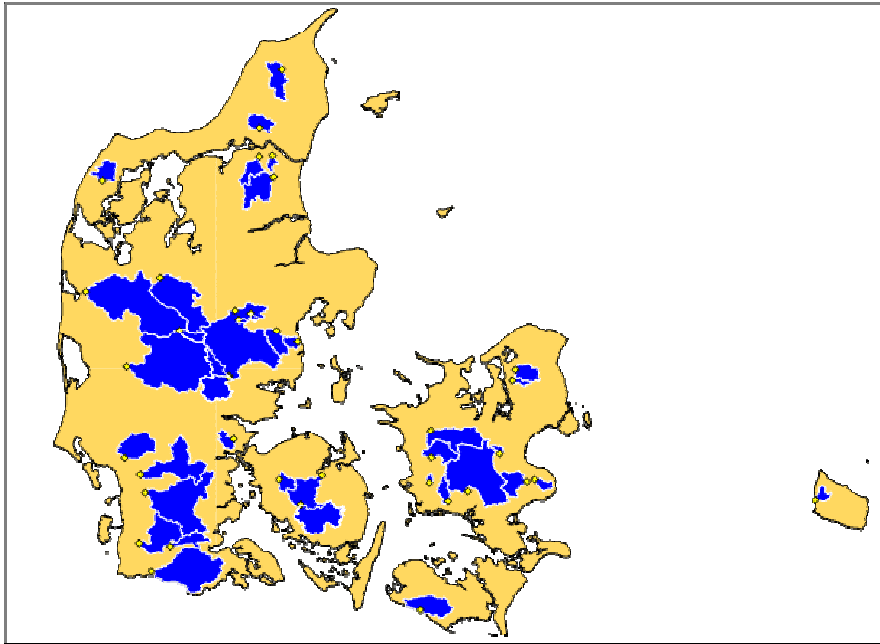
### 2.4.2 Hydrologiske data

#### 2.4.2.1 Datagrundlag

Afstrømningen i danske vandløb er beskrevet i DMUs forskningsrapport FR340 Nærværende rapport bygger på disse hydrologiske data.

Datagrundlaget for FR340 er måleserier fra 39 stationer, hvoraf de 27 indgår i Fagdatacenter for Hydrologis (FDC) netværk. Stationernes oplande varierer mellem 11 og 1.277 km<sup>2</sup> (middel 262 km<sup>2</sup>). Tilsammen har de 39 stationer oplande på godt 10.000 km<sup>2</sup>, så oplandene dækker en fjerdedel af Danmark, se Figur 2-1. De større byer er ikke dækket. Enkelte af de 39 oplande indgår som en del af større oplande, idet der også er målestationer længere nedstrøms. Hermed er observationerne ikke helt uafhængige.

Alle beregninger i det følgende er baseret på døgnmiddelvandføring.



Figur 2-1 De undersøgte 39 oplande

#### 2.4.2.2 Beregning af ekstremværdier

I FR340s bilag 7.1 anføres værdier for maksimumsafstrømning med gentagelseshyppigheder på henholdsvis 2, 5 og 20 år for de 39 stationer.

FR340 anviser også en metode til beregning af ekstremværdier som en 100 års hændelse, nemlig den generaliserede ekstremværdifordeling, GEVD, som er beskrevet i FR340s appendiks 2:

$$q_T = \eta + \theta \left( \frac{1 - (-\log(F))^{\kappa}}{\kappa} \right)$$

hvor T er gentagelsesperioden,  $F(q)=1-1/T$  og  $\eta$ ,  $\theta$  og  $\kappa$  er henholdsvis central-, skala- og formparameter. DMU har estimeret de tre parametre med maximum likelihood metoden for de 39 stationer (FR340s bilag 8). Konfidensintervallet for

ekstremværdiberegningen er vist grafisk i nævnte bilag. Det ses, at usikkerheden for bestemmelse af  $q_T$  for nogle af stationerne er stor.

De maksimale afstrømninger er vist i Tabel 2-3 som median, maksimum og minimum af  $q_T$  for de 39 stationer, idet  $q_{100}$  og  $q_{1000}$  er beregnet med de parametre FR340 har estimeret, og  $q_2$ ,  $q_5$  og  $q_{20}$  er oplyst i FR340.

Tabel 2-3 Maksimale afstrømninger i  $l s^{-1} km^{-2}$  for 39 stationer ved forskellig gentagelseshyppighed (T).

T	Median	Minimum	Maksimum
2	41,1	16,8	73,9
5	51,1	22,2	104,8
20	69,2	30,3	146,3
100	90,3	37,1	281,3
1000	108,5	39,4	608,3

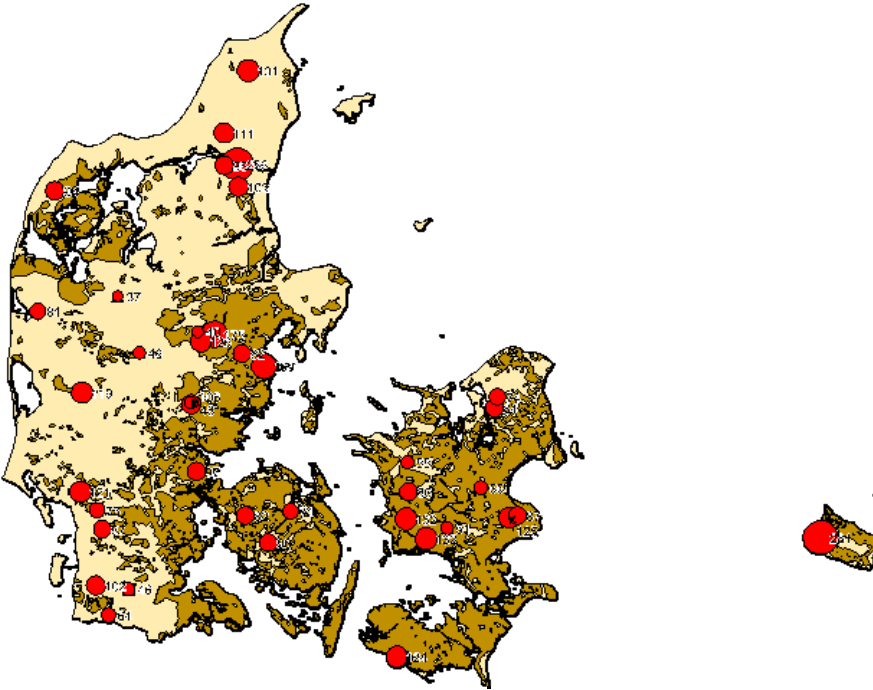
Det er påfaldende, at for nogle stationer er der kun ringe forskel på 100- og 1000-års hændelsen, mens der for andre er meget stor forskel. For medianen er vandføringen ved 1000-års hændelsen 20 % større end ved 100-års hændelsen.

#### 2.4.3 Geografisk variation i $q_{100}$

DMU konkluderer i FR340, at der er betydelige lokale forskelle i maksimumafstrømningen. De lerede områder har meget store afstrømninger med medianmaksimum på mellem 50 og  $100 l s^{-1} km^{-2}$ , mens medianmaksimumafstrømningen i de mere sandede dele af landet typisk er mellem 20 og  $40 l s^{-1} km^{-2}$ .

Figur 2-2 viser den geografiske variation i de beregnede  $q_{100}$  for de 39 stationer.





Figur 2-2 Beregnede  $q_{100}$  for de 39 undersøgte oplande. De røde cirkler angiver størrelsen af  $q_{100}$ . Baggrund er DJF's kort over underlag (sand er lys gul).

#### 2.4.4 Afstrømning og oplandenes karakteristika

##### 2.4.4.1 FR340s metode og resultater

Med henblik på at kunne estimere afstrømning i umålte og sparsomt målte oplande har FR340 undersøgt den statistiske sammenhæng mellem en række oplandskarakteristika og forskellige afstrømningsvariable ved korrelationsanalyse for de 27 FDC stationer (DMU, 2000), og DMU har på grundlag heraf opstillet en model.

Det fremgår af DMUs analyse, at der er stor forskel på betydningen af de forskellige oplandsvariable for henholdsvis årsminimum-, årsmiddel- og årsmaksimumafstrømning. For eksempel var årsnedbør en vigtig forklarende variabel for minimum- og middelastrømning, men ikke for årsmaksimum.

Logaritmen til årsmaksima var korreleret med jordtype, andel bebygget areal, andel skov og andel vandareal. Derimod var korrelation med nedbør, oplandsareal, vandløbslængde og fald ikke signifikant på 95 % konfidensniveau.

En yderligere korreleret faktor var desuden  $K_{neg}$ , den negative recessionskoefficient, der er defineret ud fra hydrografen med faldende vandføring (DMU, 2000). Til forskel fra de øvrige variable beregnes  $K_{neg}$  på grundlag af hydrologiske observationer og er derfor ikke egnet til brug i en model for et umålt vandløb.

På grundlag af korrelationsanalysen foretog DMU en multipel regressionsanalyse og udelukkede de variable, der ikke øgede forklaringsprocenten. For så vidt angår årsmaksima opstillede DMU modellen:

$$\ln q_{max} = 3,492 - 0,044 * bypct - 5,596 * K_{neg}$$

hvor bypct er procentvis bebygget areal. Denne model gav rimeligt gode resultater for de to oplande, den blev testet på (i modsætning til en tilsvarende model for minimumsvandføring). DMU konkluderer dog, at der bør inddrages et større datamateriale, og at modellen skal forbedres, så den udelukkende bygger på oplandsfysiske variable.

#### 2.4.4.2 Undersøgelsens metode

I denne rapport anvender vi data fra FR340, men har vi udvidet analysen til at omfatte alle 39 stationer og brugt lidt andre variable. Følgende variable er undersøgt:

##### **Oplandsstørrelse**

Oplandene er afgrænset i MapInfo med udgangspunkt i de oplande, der er markeret i arealinformationssystemet (AIS)<sup>1</sup>. AIS oplandene falder dog ikke altid sammen med de valgte stationer, og det har derfor været nødvendigt at revidere oplandsgrænserne for de fleste stationer. Selve oplandsgrænserne i AIS er ikke ændrede, men den kombinerede information fra AIS oplandsgrænser, højdemodel samt synlige grøfter/vandløb og andre strukturer (vejdæmninger o.l.) fra ortofotos, har givet mulighed for at definere mere præcise oplandsstørrelser i projektet.

<sup>1</sup> [http://www.dmu.dk/Udgivelser/Kort\\_og\\_Geodata/AIS/](http://www.dmu.dk/Udgivelser/Kort_og_Geodata/AIS/)

Oplandsstørrelsen er trukket ud af GIS som areal af de digitaliserede oplande. Størrelsen varierer mellem 11 og 1277 km<sup>2</sup> (middel 262 km<sup>2</sup>) og resultaterne svarer til de oplandsstørrelser, der er brugt i FR340.

### **Vandløbslængde**

For de 27 FDC oplande har FR340 angivet længder på grundlag af KMS kort i 1:25.000. For de øvrige oplande er vandløbene registreret i GIS på grundlag af kort i samme målestok og med hjælp af arealinformationssystemets vandløbs-tema. Længderne varierer mellem 2,8 og 100 km.

### **Form**

Der er beregnet en formfaktor som 100 gange oplandsareal delt med vandløbslængde i anden potens. Formfaktoren er størst for korte, brede oplande og mindre for lange, smalle oplande.

### **Fald**

For FDC stationer er fald opgivet i FR340 beregnet som forskel på vandløbenes bundkoter ved begyndelse og slut. For de øvrige stationer har vi brugt forskellen mellem de terrænkoter, der er fremgår af COWIs digitale højdemodel. Faldet varierer mellem 0,1 og 9,7 ‰.

### **Byzone**

Som et simpelt udtryk for befæstet areal er arealet med byzone indenfor de enkelte opland opgjort på grundlag af de byzone-polygoner, der findes i AIS<sup>2</sup>. Byzonen varierer fra 0 til 4,1 ‰ af de pågældende oplande.

### **Befæstet areal**

Befæstet areal er opgjort på grundlag af arealanvendelseskortet i AIS. Dette kort stammer fra 2002 og indeholder 48 anvendelsestyper, som vi har tildelt hver sin befæstelsesgrad (se Bilag 2: Arealanvendelse/befæstet areal). Det befæstede areal er herefter opgjort i procent<sup>3</sup>. Det befæstede areal i de valgte oplande varierer mellem 1,6 og 8,6 ‰.

---

<sup>2</sup> Byzone findes i AIS som en samlet fil, der dækker hele landet. Arealbestemmelsen er foretaget med MapInfos SQL query og funktionen areaoverlap

<sup>3</sup> AISs kort rummer et meget stort antal polygoner, som viste sig at være vanskelige at håndtere i GIS. Arealerne blev bestemt for nogle få oplande af gangen med MapInfos areaoverlap funktion. Resultatet blev eksporteret til Excel, hvor beregningerne af arealer i hver anvendelsestype for hvert opland blev foretaget med pivottabelfunktionen.

### **Våde områder**

Våde områder er her defineret som summen af AIS anvendelsestyperne 4110-5230 (se Bilag 2: Arealanvendelse/befæstet areal) og bestemt på samme måde som befæstet areal. De "våde" anvendelsestyper udgør 0,5-13 % af de 39 oplande (middel 6 %). Heraf er de vigtigste typer eng (33 %), mose (36 %) og sø (25 %).

### **Skov**

Andelen af skov er beregnet på grundlag af AIS anvendelsestyper. Andelen varierer mellem 1,5 og 31,8 %.

### **Ler-andel**

Ler-andel er her defineret som underbund på grundlag af DJF's database<sup>4</sup>, der indeholder vektordata med afgrænsningen mellem følgende to typer: (a) leret underjord (normalt over 15 % ler) og (b) sandet underjord (under 10 % og som oftest mindre end 5 % ler). Afgrænsningen for leret underjord har DJF udført med støtte fra landskabselementdatabasen. Andelen af leret underbund i de 39 oplande varierer fra 0 til 100 %.

### **Nedbør**

Årsnedbør er beregnet på grundlag af DMIs 10 km klimagrid for årsnedbør for perioden 1961-1990 (DMI, 2000). For hver gridcelle er centrum brugt som et punkt, og middelværdien af punkterne indenfor oplandet er beregnet. For oplande uden punkter er nærmeste punkt valgt. Alle værdier er tillagt 21 % som korrektion for nedbør ved jordoverfladen (DMI, 1998). Årsnedbøren i oplandene varierer fra 670 til 1099 mm.

### **Oplandets fald**

Som udtryk for oplandets fald er beregnet hældningen af en ret linje mellem oplandets laveste punkt, dvs. målestationen og det højeste punkt. Det højeste punkt og afstanden er fundet i "Kort fra COWI" med den digitale terrænmodel. Oplandenes fald varierer mellem 1,5 og 31,1 %.

---

<sup>4</sup> <http://www.djfgeodata.dk/datasaml/index.html>

### 2.4.4.3 Statistisk analyse

De anvendte værdier for de enkelte oplandsvariable fremgår af Bilag 3: Anvendte variable, afstrømningsmodel. Resultatet af en bivariat korrelationsanalyse af data er vist i Tabel 2-4. Den statistiske analyse er udført med Stata (vers. 9).

Tabel 2-4 Korrelationsmatrice for oplandsvariable

	q100	q1000	Areal	Længde	Form	Fald	Ler	Byzone	Nedbør	Befæst	Våde	Skov	Opl.fald
q100	1												
q1000	0,9123	1											
Areal	-0,3373	-0,2846	1										
Længde	-0,4273	-0,3599	0,9485	1									
Form	0,3186	0,1873	-0,3212	-0,4638	1								
Fald	0,6182	0,4576	-0,3612	-0,4280	0,4008	1							
Ler	0,2808	0,1152	-0,3349	-0,4193	0,4071	0,4492	1						
Byzone	-0,0755	-0,0377	-0,0861	-0,0784	-0,1412	0,1283	0,1876	1					
Nedbør	-0,3211	-0,2471	0,4092	0,4671	-0,3290	-0,2797	-0,6844	-0,2715	1				
Befæst	0,0348	0,0201	-0,2087	-0,2203	0,0181	0,1952	0,3867	0,9352	-0,4184	1			
Våde	-0,4091	-0,2877	0,2954	0,3211	-0,3509	-0,3768	-0,5355	0,1757	0,2310	0,0525	1		
Skov	-0,4237	-0,3035	0,2929	0,2931	-0,3543	-0,2212	-0,2864	-0,1377	0,2234	-0,2703	0,2162	1	
Opl.fald	0,5078	0,4186	-0,4200	-0,4838	0,4623	0,5471	0,4374	0,3284	-0,3158	0,4230	-0,2740	-0,3035	1

Analysen bekræfter forventningen om, at nogle variable nemlig oplandsstørrelse, vandløbslængde, våde områder og skov alle mindsker ekstrem afstrømning, mens vandløbsfald, oplandsfald og andelen af ler øger den ekstreme afstrømning. Ligeledes bekræfter data, at korte, brede oplande har større ekstrem afstrømning end lange, smalle oplande.

Derimod er det uventet, at årsnedbør og ekstrem afstrømning har en negativ korrelationskoefficient. Det kunne teoretisk have en meteorologisk forklaring, men kunne også skyldes, at de nedbørsrige oplande på anden måde adskiller sig fra

oplande med lavere nedbør, således at årsnedbør er korreleret med en ukendt variabel, der påvirker afstrømningen. Årsagssammenhængen er således ukendt. Byzone og befæstet areal betyder ikke ret meget i disse data. Det kan dels skyldes, at byområder kun dækker en lille del af de undersøgte oplande, og derfor ikke "slår igennem" i resultatet, dels at forsinkelsesbassiner og lignende tiltag i byområder påvirker afstrømningsstatistikken ved at udjævne nogle (moderate) spidser. De to variable er ikke statistisk signifikante for afstrømningen, og korrelationskoefficienterne har endda hvert sit fortegn. Samtidig er de to variable stærkt indbyrdes korrelerede.

Analysen viser i øvrigt, at mange af variableerne er stærkt indbyrdes korrelerede.

Samlet kan man konkludere, at de vigtigste oplandsfaktorer for ekstrem afstrømning er:

- Fald (både vandløbets og oplandets)
- Skov
- Våde områder
- Vandløbets længde og oplandets størrelse (indbyrdes stærkt korrelerede)

### Multipel regressionsanalyse

For at opstille en model for sammenhængen mellem oplandsvariable og ekstrem afstrømning er data analyseret med multipel regressionsanalyse som vist i Tabel 2-5. Determinanterne i Tabel 2-5 er konstanterne i følgende udtryk:

$$q_T = a + b_L * L + b_{Fa} * Fa + b_{Våd} * Våd + b_{Form} * Form + b_A * A + b_{Ler} * Ler + b_{Ned} * Ned + b_{Skov} * Skov + b_{OpF} * OpF$$

En gennemgang af værdierne i tabellen viser en række koefficienter, der er kontraintuitive. Flere af de variable har ændret fortegn i forhold til den bivariate analyse (form og ler). Det kan forklares med "multikollinearitet": flere af de forklarende variable er højt korrelerede indbyrdes og påvirker derfor hinanden, når man skal estimere de enkelte koefficienter. Multikollinearitet invaliderer ikke modellens forudsigelser af afstrømningen, men betyder, at de forklarende variables individuelle effekter er vanskelige at adskille og estimere præcist.

Tabel 2-5 Bestemmelse af determinanter ved multipel regressionsanalyse med mindste kvadraters metode for alle 39 observationer. Absolut værdi af t angivet i parentes. Signifikans markeret.

		q100	lnq100	q1000	lnq1000
<b>Længde</b>	L	-2,151	-0,023	-4,758	-0,034
		(2,35)**	(2,58)**	(2,20)**	(2,91)***
<b>Vandløbsfald</b>	Fa	13,146	0,068	19,387	0,085
		(3,26)***	(1,75)*	(2,03)*	(1,65)
<b>Våde omr.</b>	Våd	-6,386	-0,044	-12,699	-0,052
		(2,68)**	(1,89)*	(2,25)**	(1,70)
<b>Form</b>	Form	-44,413	-0,32	-112,467	-0,474
		(1,78)*	(1,32)	(1,90)*	(1,48)
<b>Areal</b>	A	0,152	0,001	0,324	0,002
		(2,41)**	(2,42)**	(2,17)**	(2,66)**
<b>Lerandel</b>	Ler	-0,792	-0,005	-2,02	-0,01
		(2,91)***	(1,93)*	(3,13)***	(2,79)***
<b>Årsnedbør</b>	Ned	-0,137	-0,001	-0,321	-0,001
		(2,15)**	(1,28)	(2,12)**	(1,77)*
<b>Skov</b>	Skov	-2,168	-0,025	-3,441	-0,027
		(2,76)***	(3,30)***	(1,85)*	(2,74)**
<b>Oplandets fald</b>	OpF	1,898	0,014	4,607	0,02
		(1,58)	(1,19)	(1,62)	(1,30)
<b>Konstant</b>	A	321,511	6,167	650,111	7,377
		(4,41)***	(8,73)***	(3,76)***	(7,91)***
<b>R-squared</b>		0,67	0,60	0,52	0,57

\* signifikant ved 10%; \*\* signifikant ved 5%; \*\*\* signifikant ved 1%

Byzone og befæstet areal blev forsøgsvis medtaget i modellen. De to variable er begge statistisk insignifikante, omend de giver en vis forbedring af modellen

forklaringskraft ( $R^2$  for  $q_{100} = 0,74$ ). En afprøvning af modellen på Værebros oplandet giver imidlertid en negativ værdi for  $q_{100}$ , når byzone og befæstet areal er inkluderet! Det kan forklares med, at de to variable er stærkt korrelerede.

Koefficienterne bliver derfor meget upræcist estimeret, og når modellen anvendes på oplande med variabelværdier, der afviger fra de intervaller, modellen er beregnet på grundlag af, påvirkes resultatet på en uforudsigelig måde. Samtidig er de to variable langt fra signifikante i den bivariate analyse, og de er derfor udelukket.

Modeller med et reduceret antal variable er også undersøgt, men de gav et væsentligt dårligere resultat (dvs. lavere  $R^2$ ). Derfor vises kun resultatet for de 9 variable.

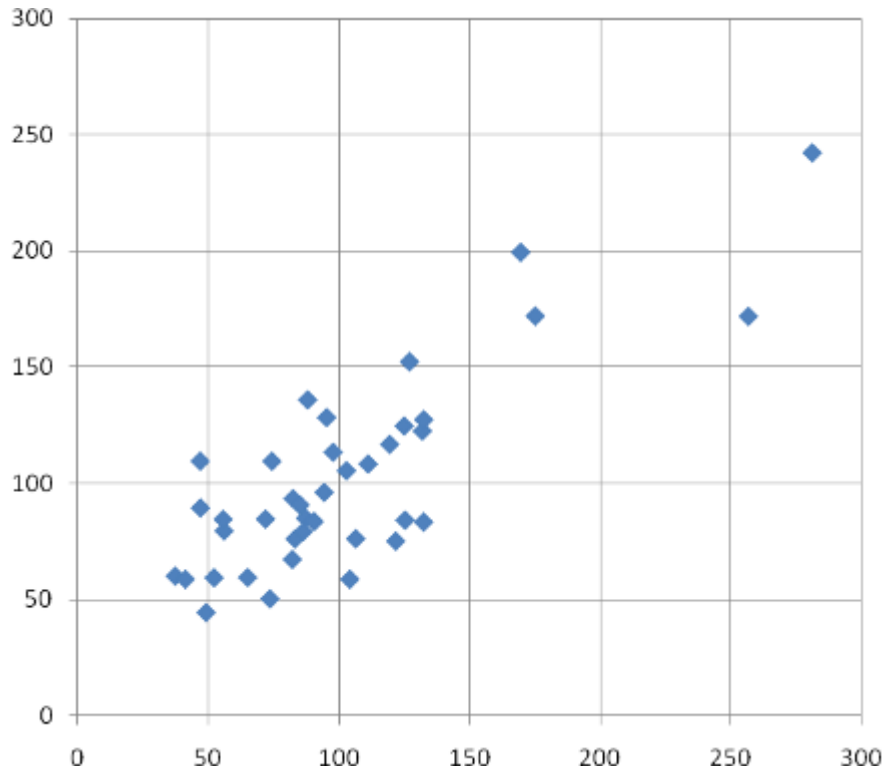
Beregningerne er gennemført for såvel  $q_{100}$  og  $q_{1000}$  som for de naturlige logaritmer til disse afstrømninger. Det viser sig imidlertid at brug af logaritmer ikke giver bedre resultat.

Det kan overvejes at udelukke Station 660014 Bagge Å fra analysen, da den måske bør betragtes som en "outlier". Stationen har høj afstrømning. Hvis stationen udelukkes, falder  $R^2$ , og den er derfor bibeholdt. Observationen har betydning for effekten af variabelen Fa.

Samlet giver 9-variabel modellen for  $q_{100}$  et  $R^2 = 0,67$  svarende til, at den forventede forudsigelsesfejl er reduceret med 67 %.

Figur 2-3 viser estimerterne fra 9-variabel modellen sammenlignet med de oprindelig beregnede  $q_{100}$ .





Figur 2-3 Estimater med 9-variabel model (y-akse) sammenlignet med de oprindeligt beregnede  $q_{100}$  (x-akse). Alle værdier i  $l s^{-1} km^{-2}$ .

Modellen kunne måske forbedres yderligere ved at inddrage flere variable. En mulig variabel kunne være et bedre udtryk for landskabets faldforhold, men det kræver en mere omfattende GIS analyse af den digitale terrænmodel.

Det er også muligt, at en ikke-lineær model kunne give en bedre forklaringskraft, men dette er ikke undersøgt.

#### 2.4.5 Anbefalet beregning af ekstremvandføring

##### Referenceopland

Hvis man arbejder med et af de 39 oplande, der allerede er analyseret i FR340, benyttes naturligvis disse værdier. De statistiske parametre til beregning af  $q_T$  med den generaliserede ekstremværdifordeling kan findes i nævnte rapport. FR340 angiver også konfidensinterval for værdierne. Værdierne for  $q_{100}$  og  $q_{1000}$  er anført i nærværende rapports Bilag 3: Anvendte variable, afstrømningsmodel.

For andre oplande er den nemmeste metode, at bruge data fra et nærliggende, sammenligneligt referenceopland. Den statistiske analyse peger på, at man her skal lægge særlig vægt på, at følgende variable er nogenlunde ens.

- Fald (både vandløbets og oplandets)
- Skov
- Våde områder
- Vandløbets længde og oplandets størrelse (stærkt korrelerede)

Denne metode er enkel og hurtig.

#### **Model beregning**

Alternativet til referenceoplandet er at bruge den model, der her er udviklet til at estimere ekstremafstrømning på grundlag af 9 fysiske oplandsvariable. Det kræver, at de forskellige oplandsvariable først beregnes med et GIS program på grundlag af arealinformationssystemet og andre kort.

#### **Oplande med lang hydrologisk måleserie**

Hvis der foreligger en lang hydrologisk måleserie kan afstrømningen i stedet beregnes med den generaliserede ekstremværdifordeling som beskrevet i afsnit 2.4.2.2. Det kræver, at man er i stand til at beregne de statistiske parametre med et egnet statistikprogram. Alternativt kan man overveje at estimere afstrømningen med en anden statistisk funktion som f.eks. Gumbel-fordelingen, der kan estimeres med Gumbel-papir eller beregnes i Excel. Et eksempel herpå er vist senere.

#### *2.4.6 Effekter af klimaændringer på nedbør og afstrømning*

**Nedbør:** Generelt regner man med, at der i fremtiden vil falde mindre nedbør om sommeren, men at regnen vil falde mere intensivt. Dette kan betyde større afstrømningshændelser om sommeren. Nedbøren om vinteren forventes at stige med op til ca. 40 % i år 2100, mens årsnedbøren forventes at stige med ca. 20 %.

**Snesmeltning:** De største afstrømninger sker ofte i forbindelse med snesmeltning. Ved fremtidens varmere vintre vil der være mindre aflejringer af sne, og man må derfor antage, at betydningen af denne faktor vil mindskes. Thodsen, (2007) rapporterer således et fald i snemængden med ca. 2/3, samtidigt med at længden

af sammenhængende perioder med frost vil blive reduceret. Snesmeltingen, som skaber de fleste af de allerhøjeste afstrømninger i danske vandløb, vil således svækkes i et fremtidigt klima.

**Afstrømning:** Virkningerne af ændret nedbør og smeltning gælder for alle oplande. Det er vanskeligt at sige, hvordan de vil påvirke ekstremafstrømningen. Det anbefales, at man benytter samme "klimatillæg" som Skrift 29, dvs. 30 % i 2100.

DMU (2009) refererer til flere undersøgelser, hvor den fremtidige afstrømning er modelleret med enten med den hydrologiske oplandsmodel NAM (Nedbør Afstrømnings Model) eller med den distribuerede hydrologiske model MIKE SHE. Disse undersøgelser resumeres i det følgende fra FR711.

Afstrømningen vil stige i vintermånederne, hvilket betyder, at de nedbørsrelaterede høje afstrømninger generelt vil forøges. Thodsen, (2007) angiver 99,9 % fraktil afstrømningen forøges mellem 25 % i Grindsted Å ved Egbro og 4 % i Gudenåen ved Voervadsbro. Mikkelsen (2008) angiver, at 99,9 % fraktil afstrømningen i Storåen ved Holstebro vil forøges ca. 60 %, i forhold til perioden 1995-2003.

Mikkelsen (2008) har ved hjælp af MIKE 11 modelleret vandstanden i Storåen ved Holstebro. Ifølge disse beregninger vil oversvømmeskriteriet (9,60 m DVR) blive nået ved 99 % fraktil afstrømningen. Det betyder i gennemsnit 3,65 dage om året, hvilket er væsentligt oftere end i observationsperioden.

Andersen et al. (2006) modellerer, at Gjern Å vil oversvømme ådalen før udløbet i Gudenåen 1½ gang hyppigere (fra 34 til 51 dage/år) i det fremtidige klima. Thodsen et al. (2007) har modelleret vandstanden i den nedre del af Kongeåen og fundet, at vandstandsstigningen både vil skyldes en den øgede afstrømning, men i højere grad af det hævede havspejl (35 cm hævnings mellem år 2002 og perioden 2071-2100), hvor det også estimeres at slusen imellem Vadehavet og åen vil være lukket 77 % mere under et fremtidigt klima (slusen er modelleret til at være lukket 5 % i nutiden og 9 % i fremtiden). Upublicerede resultater fra samme studie viser, at marskområderne bag diget omkring Kongeåen vil oversvømmes oftere, fra 5 dage i 2001-2002 til 26 dage i en tilsvarende periode i det fremtidige klima ved et oversvømmeskriterium på 1,90 m (DVR).

## 2.5 Bestemmelse af maksimal vandstand

### 2.5.1 Bestemmelse af maksimal vandstand i vandløb ud fra målinger

Hvis et H-punkt er sammenfaldende med en vandstandsmålestation kan data fra stationen eventuelt anvendes direkte. Man skal så blot bestemme den maksimale vandstand med en relevant gentagelseshyppighed, f.eks. svarende til en 100-års hændelse.

Det er også muligt at der langs et vandløb er andre optegnelser eller markeringer af den maksimale vandstand for ekstreme afstrømningssituationer. I så fald vil disse kunne indmåles og anvendes i metoden.

### 2.5.2 Bestemmelse af vandstand ud fra maksimal afstrømning

Vandstanden i et vandløb beregnes normalt som en funktion af vandføringen normalt med et hydraulisk program som VASP eller Mike 11. Dette kræver kendskab til vandløbets længde- og tværprofil og vandløbets ruhed (Manning-tal). Ved detaljerede oversvømmelsesanalyser vil man typisk anvende disse modeller.

Ved udvikling af en screeningsmetode må man se på andre muligheder for at bestemme vandstanden. Dette både når vandløbets tværsnit er kendt, og når det ikke er det.

I dette afsnit beskrives mulige metoder for bestemmelse af vandstanden.

Vandstanden i en ekstrem situation kan estimeres på simpel vis, hvis man gør følgende antagelser:

- Vandløbet er "fuldtløbende" ved medianmaksimum
- Terrænet kan beskrives ved vandløbets hældning og terrænets "anlæg".

For det første antages, at vandløbet er "fyldt" ved medianmaksimum, som kan antages at optræde hvert andet år (svarende til en  $Q_2$ -vandføring). Vandstanden beregnes derefter som den stigning i forhold til det "fulde" vandløb, som den yderligere vandføring i ekstrem situationen ( $Q_T - Q_2$ ) medfører. Man ser altså helt bort fra selve vandløbet og den del af vandføringen, der svarer til  $Q_2$ .

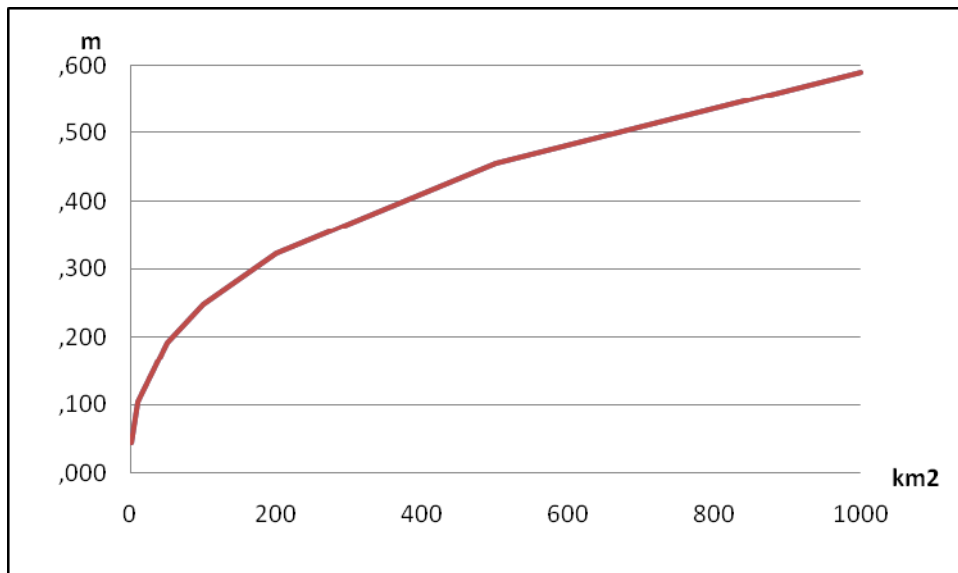
For det andet antages, at terrænets form kan beskrives ved vandløbets hældning ( $l$ ) og det vandløbsmæssige terræns "anlæg" ( $a$ ). I beregningerne ses bort fra bredden af selve vandløbet og terrænets hældning (anlæg) antages at være lille. Der regnes således på et v-formet (terræn)tværsnit. Under disse antagelser kan Manning-formlen forenkles til:

$$Q_T - Q_2 = a \times H^2 \times M \times \sqrt{l} \times (2a[H])^{\frac{3}{8}}$$

hvor  $H$  er vandstanden over terræn ved vandløbet og  $M$  Manning-tallet. Heraf fås vandstandsstigningen som funktion af  $Q = Q_T - Q_2$ ,  $l$  og  $a$ :

$$H = \left( \frac{Q}{2^{\frac{3}{8}} \times M \times \sqrt{l} \times a^{\frac{5}{8}}} \right)^{\frac{8}{5}}$$

Som det fremgår af formlen, er  $H$  en funktion af vandføringen og dermed af oplandsarealet (i  $3/8$  potens). Et eksempel er vist på nedenstående figur.



Figur 2-4 Eksempel på beregnet vandstandsstigning (i meter) som funktion af oplandsstørrelse (i km<sup>2</sup>). I eksemplet er  $M=25$ ,  $l= 1 \text{ ‰}$ ,  $a=1:20$  og afstrømningen  $45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  over medianmaksimum.

Vandstandsstigningen for andre afstrømninger og værdier af  $M$ ,  $I$  og  $a$  kan beregnes i et regneark.

Det er naturligvis en forenkling at antage, at vandløbet er "fuldtløbende" ved medianmaksimum, fordi vandstanden afhænger af det enkelte vandløbs skikkelse, grødevækst og forhindringer nedstrøms. Mange steder sker der oversvømmelser allerede ved vandføringer, der er mindre end medianmaksimum.

Det skal også nævnes, at vandløbenes vandføringsevne ændres gennem tiden som beskrevet i DMU FR218. Vedligeholdelsen af vandløbene har stor betydning for deres vandføringsevne, især i sommerhalvåret, og det må forventes, at der mange steder vil ske betydelig reduktion i vandføringsevnen som følge af restaurering eller reduceret vedligeholdelse i forbindelse med gennemførelse af vandplanernes tiltag. Det kan betyde, at metoden undervurderer vandstandsstigningen, medmindre der tages højde for den ændrede vandføringsevne via Manningtallet  $M$ .

I konverteringen fra vandføringen  $Q$  til vandstanden  $H$  anvendes Manningformlen, og dermed vandspejlsældningen. Denne sættes til en middelværdi af det interval som er publiceret i DMU's Fagrapport 340.

Metoden kan forbedres, hvis man i stedet for det simple v-formede tværsnit anvender det faktiske terræntværsnit ved hjælp af højdemodellen, hvor tværsnitsarealet er en funktion af højden. Denne funktion indbygges derefter i Manningformlen, og vandstanden kan beregnes.

### *2.5.3 Bestemmelse af vandstand ved tværsnitsindsnævninger*

Tværsnitsindsnævninger forekommer eksempelvis ved broer og rørlagte strækninger langs vandløb. Disse kan under ekstreme afstrømningsforhold give anledning til en opstuvningseffekt, der er betydende for oversvømmelsesgraden af de vandløbsnære områder, fortrinsvis opstrøms indsnævringen. Stemme- og overløbsbygværker medfører ikke nødvendigvis en indsnævring af vandløbstværsnittet, men kan forårsage en opstuvning med oversvømmelse til følge.

Den udviklede metode beskriver følgende indsnævrende og opstuvende elementer langs vandløb:

- Broer
- Rørunderføringer
- Overløbsbygværker

Metoden giver mulighed for at bestemme opstuvningen fra disse elementer på følgende niveauer:

**Simpelt niveau, ingen supplerende angivelser:** der anvendes henholdsvis minimum og maximum opstuvning (angivet som overhøjde). Minimums opstuvning anvendes, hvor det skønnes, at der ikke vil være væsentlige problemer, og maximum opstuvning anvendes, hvor det forventes, at problemer vil opstå.

**Udvidet niveau, geometrisk information:** For broer er der tale om tværsnitsareal og længde. For rørunderføringer er det diameter og længde. For overløbsbygværker er det flodemål eller kote til kant.

**Detaljeret niveau, geometrisk information:** For broer er det bundkote, bredde, højde, længde, form. For overløbsbygværker er det kote og bredde. Rørunderføringer har ikke et detaljeret niveau.

I det følgende gennemgås beregningsgrundlaget for de forskellige niveauer for de opstuvende elementer.

#### 2.5.3.1 Broer

**Simpelt niveau (minimumsopstuvning):** Opstuvningen sættes til 20 cm for en 100 års hændelse og 30 cm for en 1000 års hændelse.

**Simpelt niveau (maksimumopstuvning):** Opstuvningen sættes til overside vejkote for en 100 årshændelse og overside vejkote +10 cm for en 1000 års hændelse. Grundlaget for koten er den originale laserscannede højdemodel, før der er udført tilretning af højdemodellen for broer mm.

**Udvidet niveau (niveau 2):** Hvis kendskabet til broen omfatter både tværsnitsareal og længde af vandløbet under brogennemføringen, kan der udføres en egentlig

beregning på grundlag af Manningformlen og den estimerede vandføring. Der regnes med et gennemsnitligt manningstal på  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  gennem selve broen, hvilket modsvarer en bro med noget ruhed samt en stenet vandløbsbund.

Den samlede opstuvning beregnes som summen af:

Enkelttab indløb:  $\Delta H = \zeta * V^2/2g$   
 hvor  $V$  er hastigheden i røret/broen  
 indløbskoefficienten  $\zeta$  sættes lig 0,5  
 $g$  er tyngdeaccelerationen

Friktionstab:  $\Delta H = Q^2 I / (A^3 M^2 R^4)$   
 hvor  $I$  er længden af broen  
 $A$  er tværsnitsarealet  
 $R$  er hydraulisk radius  
 $M$  er manningtallet

Enkelttab udløb:  $\Delta H = \zeta * (V_{\text{rør}} - V_{\text{vandløb}})^2 / 2g$   
 hvor udløbskoefficienten  $\zeta$  sættes lig 1,2

Ved dette niveau kan forudsættes rektangulært tværsnit i forholdet 4/3. Herved kan hydraulisk radius sættes til  $0,25 * A^{1/2}$ .

**Detaljeret niveau (niveau 3):** Ved dette niveau anvendes faktiske dimensioner i beregninger som udføres som anført for niveau 2.

#### 2.5.3.2 Rørunderføringer

Det er forudsat at de rørlagte strækninger er kortere end ca. 50 m. Ved længere strækninger med brønde mm. bør der udføres en egentlig hydraulisk rørberegning f.eks. i MIKE Urban.

**Simpelt niveau (minimumopstuvning):** Opstuvningen sættes til 20 cm for en 100 års hændelse og 30 cm for en 1000 års hændelse.

**Simpelt niveau (maksimumopstuvning):** Opstuvningen sættes til overside vejkode for en 100 årshændelse og overside vejkode +10 cm for en 1000 års



hændelse. Grundlaget for koten er den originale laserscannede højdemodel, før der er udført tilretning af højdemodellen for broer mm.

**Udvidet niveau (niveau 2):** Hvis kendskabet til røret omfatter både diameter og længde af rørunderføringen kan der udføres en egentlig beregning på grundlag af Manningformlen og den estimerede vandføring. Forudsætningen er, at opstuvningen på nedstrøms side er så stor, at der reelt er tale om fuldløbende "rør". Der regnes med et gennemsnitligt manningstal på  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , hvilket modsvarer et ældre betonrør.

Den samlede opstuvning beregnes som summen af:

Enkelttab indløb:  $\Delta H = \zeta * V^2/2g$   
 hvor  $V$  er hastigheden i røret  
 indløbskoefficienten  $\zeta$  sættes lig 0,5  
 $g$  er tyngdeaccelerationen

Friktionstab:  $\Delta H = Q^2/(A^3 M^2 R^3)$   
 hvor  $l$  er længden af broen  
 $A$  er tværsnitsarealet,  $A = \pi/4 * D^2$   
 $R$  er hydraulisk radius,  $R = D/4$   
 $D$  er diameteren af røret  
 $M$  er manningtallet

Enkelttab udløb:  $\Delta H = \zeta * (V_{\text{rør}} - V_{\text{vandløb}})^2/2g$   
 hvor Udløbskoefficienten  $\zeta$  sættes lig 1,2

Der forudsættes cirkulært tværsnit.

### 2.5.3.3 Overløbsbygværker

Ved overløbsbygværker stryg mm. baseres opstuvningsberegningen på koten til stryget, overløbet eller andet relevant.

**Simpelt niveau (niveau 1):** Opstuvningen sættes til 20 cm for en 100 års hændelse og 30 cm for en 1000 års hændelse.

**Udvidet niveau (niveau 2):** Kendes det aktuelle flodemål sættes opstuvningskoten til flodemålet. Kendes overløbskanten eller anden relevant afgrænsning, kote til indløb i stryg eller andet sættes opstuvningskoten til den aktuelle kote for en 100 års hændelse og + 10 cm for en 1000 års hændelse.

**Detaljeret niveau (niveau 3):** Ved dette niveau anvendes faktiske dimensioner i beregningerne, som baseres på en beregning af kritisk dybde:

$$y_C = (\alpha \cdot q^2 / g)^{1/3}$$

Hvor  $y_C$  er kritisk dybde  
 $\alpha$  er hastighedsfordelingskoefficienten  $\approx 1$   
 $q$  er vandføringen pr. meter kant

Opstuvningskoten sættes til kote af overfaldskant plus 1,5 gange  $y_C$ , da hastighedshøjden ved overfaldet netop svarer til halvdelen af kritisk dybde.

#### 2.5.4 Bestemmelse af maksimal vandstand ved udløb til havet

For vandløbstrækninger med forbindelse til havet er det nødvendigt at fastsætte havniveauet da havet vil udgøre nedstrøms ende af vandløbet. Vandstanden her beregnes ikke som almindelige H-punkter i vandløbet med en konvertering fra vandføring til vandstand, men må angives direkte.

Metoden giver mulighed for at vælge vandstanden i havet arbitrært. Det anbefales dog at anvende en af følgende vandstande:

- Middelvandstand
- Målt vandstand på tidspunktet for ekstrem afstrømning i vandløbet
- Årlig maximal højvande
- Extrem højvande svarende til en gentagelsesperiode på 100 år
- En af ovenstående fremskrevet med den forventede stigning som følge af klimaændringer.

Førstnævnte må fremskaffes fra Miljøcenter, Kystdirektoratet, Havnemyndigheder eller andre. De to sidstnævnte kan fås via Kystdirektoratets højvandsstatistikker, se

Kystdirektoratets hjemmeside [www.kyst.dk](http://www.kyst.dk). Her findes højvandsstatistikker i stationer for hele landet. De forventede ændringer i vandstanden som følge af klimændringer kan findes på [www.klimatilpasning.dk](http://www.klimatilpasning.dk).

Stormflodshændelser medtages ikke, da det vil være usædvanligt at ekstreme afstrømningssituationer i vandløb vil optræde samtidigt med stormflod.

#### 2.5.4.1 Effekter af klimændringer på havvandstand

Den fremtidige havvandstand ændres som følge af tre faktorer:

- Global vandstandsstigning
- Regional effekt af ændret vind- og lufttryk
- Vertikale landændringer.

For de vandløbsnære arealer vil havvandsstigningerne betyde oversvømmelse som følge af:

- direkte oversvømmelse fra havet i kystnære ådale
- opstuvning og
- lukkede sluseporte.

**Global vandstandsstigning:** Den globale vandstandsstigning skyldes varmeudvidelse af vandet i havene samt afsmeltning af gletsjere og iskapper. IPCC regnede tidligere (i AR4 fra 2007) med en global vandstandsstigning på 20-60 cm i år 2100 i de valgte scenarier. Hertil kommer regionale ændringer, der skyldes et samspil mellem en geografisk fordeling af temperatur- og salinitetsændringer og ændringer i oceancirkulationen. Siden IPPCs rapport fra 2007 er der publiceret en række studier, som bl.a. på baggrund af statistiske sammenhænge mellem vandstandsstigning og temperatur forudser vandstandsstigninger frem til 2100 på mellem 0,5 og 2 m.

**Regional effekt på middelvandstand:** Ændrede vind- og trykforhold har regional betydning for både middelvandstand og stormflodshændelser. Regionale klimasimuleringer, der giver scenarier for fremtidens klima, viser en mulig forøgelse

af vestenvinden over havet omkring Danmark. Hvis vestenvinden øges, vil det føre til højere vandstand på vestvendte kyster, specielt den jyske vestkyst. For Nordsøen viser de klimasimuleringer, der er foretaget indtil nu, at effekten af den øgede vestenvind kun giver en lille forskel i den årlige middelvandstand, men en effekt på 10-15 cm på den jyske vestkyst i januar måned (DMI, 2009).

**Vertikale landændringer:** De vertikale landændringer i Danmark varierer fra en hævnings på ca. 5 cm pr 100 år i den sydlige del af landet til en hævnings på 20 cm pr 100 år i Nordjylland . Denne hævnings betyder en svag reduktion af virkningen af havvandstandsstigningerne.

**Stormflodshændelser:** Der forventes kraftigere storme i fremtiden, og dermed en yderligere stigning i stormflodshøjden. Simuleringer viser, at vindeffekten i 2100 betyder en stigning i stormflodshøjder på den jyske vestkyst på omkring 30 cm (DMI 2009). Ved København regnes med 10 cm (Kliem, pers.kom.). Det enkleste er at antage, at man kan addere den gennemsnitlige vandstandsstigning til de nuværende ekstremhøjvande, som er beskrevet i Kystdirektoratets højvandsstatistikker. Denne antagelse brugte DMI i en vurdering for Region Hovedstaden, hvor vindeffekten er forholdsvis ringe, men ved den jyske vestkyst må man regne med en yderligere stigning.

**Samlet effekt på havvandsstigning:** Med hensyn til effekten af klimaforandringer anbefales det at regne med en generel stigning på 100 cm i 2100 i hele landet. Ved dynamiske beregninger af stormflodshændelser anbefales, at man øger niveauet med yderligere 30 cm ved den jyske vestkyst.

## 2.6 Vandstandens variation langs vandløb

### 2.6.1 Indledning

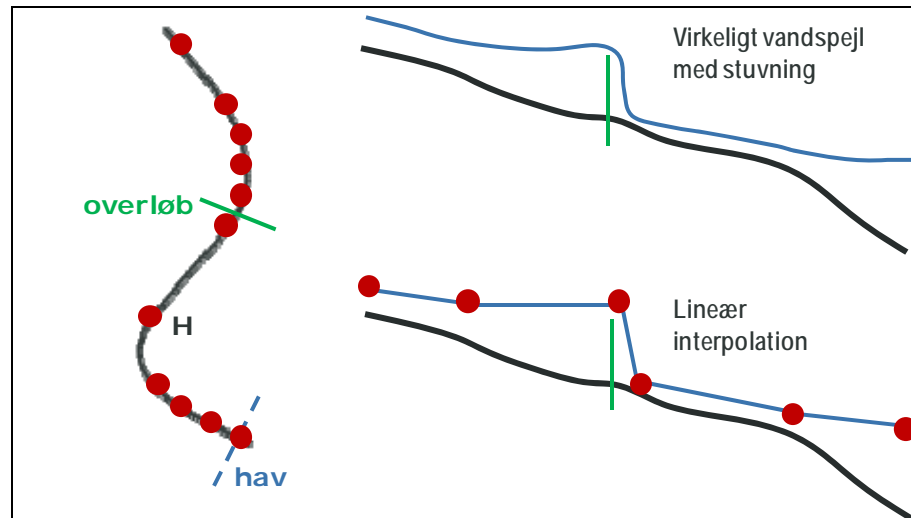
Det foregående kapitel fokuserede på, hvordan vandstanden kan tilvejebringes på en given lokalitet i et vandløb. Da der vil være en hvis afstand mellem de vandstandspunkter, der afsættes i vandløbstemaet i GIS, skal der tages højde for hvordan vandstanden varierer mellem disse punkter.

### 2.6.2 Forsimplet beskrivelse af vandstandsvariation

Det er valgt at beskrive vandstandens variation langs vandløbet så simpelt som muligt, uden dog at gå på afgørende kompromis med fysikken i vandets strømning. Den mest betydende antagelse er, at strømmingen i hele vandløbet er stationær. Det vil sige, at de fundne maksimale vandstande igennem vandløbet optræder til samme tid og i øvrigt er konstante. Hermed beskrives midlertidige magasinerings-effekter eller eksempelvis den dynamiske vandudveksling mellem vandløb og ådal ikke. Sekundært antages det, at vandspejlet er horisontalt i alle tværsnit på tværs af vandløb og ådal. Dette betyder f.eks., at vandspejlet i ådalen overestimeres i de tilfælde hvor brinkerne er forholdsvis høje, og hvor der foregår en langsgående strømning i ådalen.

Vandstandsvariationen langs vandløbet tilvejebringes ved at denne enten beregnes, eller der interpoleres mellem vandstanden i enkelte punkter, hvor den maksimale vandstand er bestemt. For at tilvejebringe en langsgående variation af vandstanden i vandløbet interpoleres der lineært mellem de punkter, hvor vandstanden er kendt, eller vandstanden beregnes på delstrækninger for at inkludere en stuvningseffekt. De mest almindelige stuvningseffekter kommer fra havet eller fra tilstedeværelsen af bygværker (broer, rørunderføringer, overløb etc.)

Figuren herunder viser et eksempel på et længdeprofil af vandstanden i et fiktivt vandløb med et overløbsbygværk, og hvor der er interpoleret lineært mellem vandstandspunkterne. Til sammenligning er det virkelige vandspejlsforløb ligeledes skitseret i figuren.



Figur 2-5 Længdeprofil af vandstand i fiktivt vandløb med overløbsbygværk

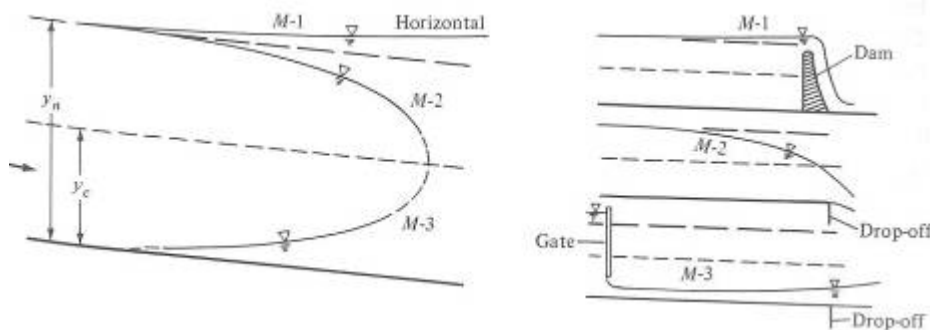
### 2.6.3 Bestemmelse af vandstand ved stuvning

Hensigten med at beregne vandstanden langs vandløbet er at tilvejebringe et maksimal vandstandsprofil, hvor en lineær interpolation mellem to fastsatte stationer ikke kan forsvares. Dette vil som oftest altid være tilfældet på strækninger, hvor strømmingen ændrer karakter, dvs. ændrer sig fra, hvad der fagteknisk benævnes naturlig dybde. Sådanne ændringer optræder typisk opstrøms en dæmning eller overløbsbygværk eller nedstrøms en sluse. Ved ind- og udløb fra en rørunderføring ændrer strømmingen også karakter. En ændring af vandspejlet forekommer nødvendigvis også imellem to tværsnit, der måtte have forskellig naturlig dybde.

Det er ikke sigtet med nærværende metode at beskrive samtlige mulige vandspejlsformer, der forekommer i vandløb. F.eks. er vandspejl, der ligger under det fagteknisk 'kritisk dybde' ikke relevante i forbindelse med oversvømmelsesvurdering, hvor det er maksimal vandstand man er ude efter. Sådanne vandspejl kan optræde nedstrøms sluser, eller ved udløbet fra rørunderføringer afsluttende med hvirveldannelse og en tilbagevenden til naturlig dybde (hydraulisk spring).

De vandspejlsformer, der er relevante i forbindelse med oversvømmelsesvurdering, er hvor vandspejlet er højere end naturlig dybde, hvilket kan være tilfældet

opstrøms en spærring af vandløbet (f.eks. et overløbsbygværk). Det kan også være tilfældet i overgangen fra hav til vandløb. Strømningsformen betegnes som strømmende. Nedenstående figur viser de tre mest almindelige vandspejlsformer for vandløb med moderate hældninger.



Figur 2-6 Mulige vandspejlsforløb for vandløb med moderat hældning (fra Prasuhn, 1992).

Det vil være vandspejlskurven af typen M-1 der er relevant for oversvømmelsesvurderingen, idet vandspejlet her er højere, end hvis simpel lineær interpolation anvendes. Dette vandspejlsprofil er også, hvad de fleste forbinder med 'stuvning', og er også det profil, der har givet navn til stuvningskurver.

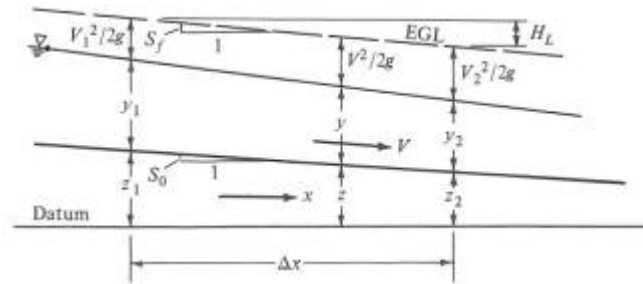
Der er i litteraturen (Chow, 1973; Henderson 1966) opstillet differentialligninger, der generelt beskriver vandspejlskurvernes forløb samt analytiske løsninger, hvor dette lader sig gøre. For naturlige vandløb med varierende og uensartede tværsnit opstilles bedst numeriske løsninger; den mest almindelige er en numerisk løsning til energiligningen. Energiligningen opstillet over et vandløbssegment lyder:

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_L$$

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2g} = H_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_L$$

$$H_1 - H_2 = \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) + H_L$$

De indgående parametre ses af Figur 2-7.



Figur 2-7 Principskitse for opstilling af energiligningen.

For hvert af de to snit (1 og 2) haves en geometrisk højde, en vanddybde og en hastighedshøjde. Imellem de to snit vil der være et energitab  $H_L$ . Dette tab er lig  $S_f \cdot \Delta x$ , altså hældningen af energiliniens gange afstanden mellem de to snit. Hældningen  $S_f$  fås fra Manning formlen, således at energitabet  $H_L$  kan bestemmes som

$$H_L = \frac{Q^2 \Delta x}{M^2 R^4 A^3}$$

Hvor  $Q$  er vandføringen,  $M$  er Manningtallet,  $R$  er hydraulisk radius og  $A$  er tværsnitsarealet.

Beregningen af vandspejlets forløb foregår fra nedstrøms side mod opstrøms side. Vandstanden i det nederste snit forudsættes kendt (f.eks. havspejlet), ligeledes vandføringen og tværsnitsparametrene  $R$  og  $A$ . Manningtallet skønnes. Herved kan energitabet beregnes. Herefter beregnes forskellen i trykhøjden i de to snit jf. energiligningen. Der itereres i ligningen, idet tværsnitsparametrene i det opstrøms tværsnit i første omgang må skønnes. Iterationen foregår, indtil der er tilfredsstillende overensstemmelse mellem leddene på venstre og højre side af ligningen.

#### 2.6.4 Anbefaling for langsgående vandstandsvariation

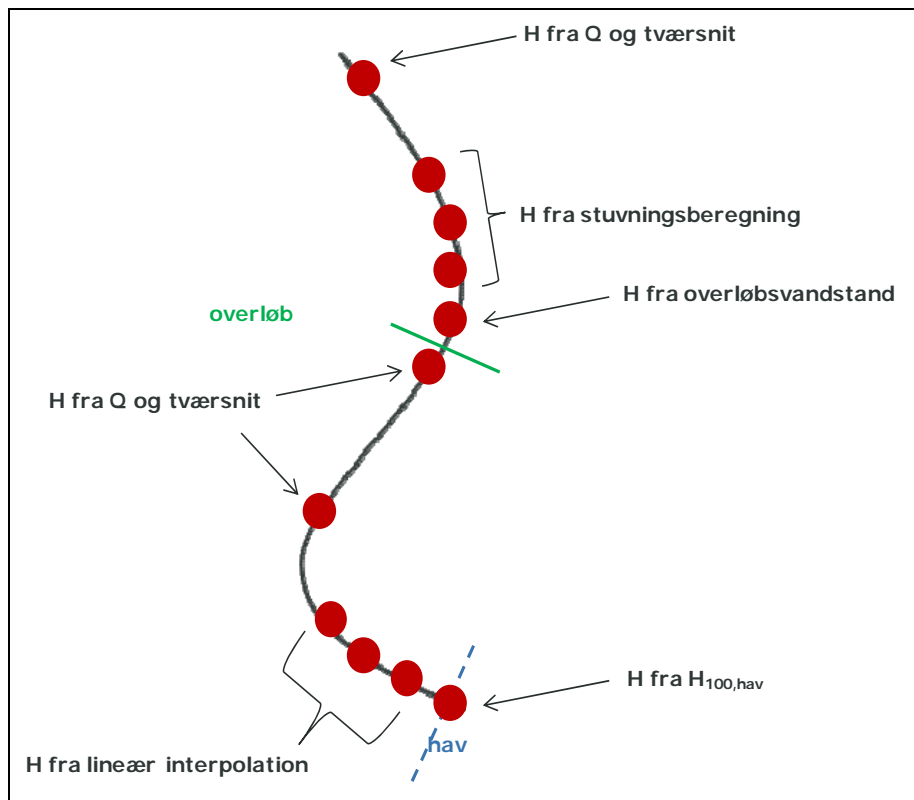
Vandløbstemaet, der er etableret i GIS, kan indeholde vandstandspunkter, hvor der ikke ønskes en beregning af vandstanden ud fra en antagelse om, at der kan interpoleres imellem de vandstandspunkter, hvor der faktisk er foretaget en



beregning. Den lineære interpolation mellem H-punkterne er en hurtig og overkommelig opgave. For de fleste danske vandløb vil en lineær interpolation mellem H-punkterne kunne forsvares. I særlige tilfælde, f.eks. ved en kombination af et stejlt vandløb ( $>> 1$  m/km) og signifikante opstuvende bygværker, bør stuvningseffekter medtages, og en egentlig stuvningsberegning foretages. Til screeningsformål vil en stuvningsberegning sjældent være nødvendigt.

### 2.6.5 Integrering af vandstandsinformation

Vandstanden i de udvalgte H-punkter bestemmes som angivet i de foregående afsnit om bestemmelse af maksimal vandstand og vandstandens variation langs vandløbet. Vandstanden langs vandløbet er derfor sammensat af vandstande beregnet på forskellig vis. Figuren herunder viser et fiktivt eksempel på, hvordan vandstanden kan være sammensat.



Figur 2-8 Eksempel på hvordan den samlede vandstandsinformation kan sammensættes.

### 2.6.6 Overførsel af vandstandsinformation til GIS

De punkter, hvori der er beregnet en vandstand, svarer til de punkter, der blev defineret i vandløbstemaet i GIS. De beregnede vandstande føres efter beregningen tilbage til kolonnen for H-punkter i vandløbstemaet. Herefter importeres vandløbstemaet i GIS.

## 2.7 Tilvejebringelse af oversvømmeskort

Den horisontale udbredelse af et oversvømmet område beskrives i GIS ved at kombinere informationen i vandløbstemaet med topografien i højdemodellen. Herved kan man simpelt og hurtigt vurdere omfanget af oversvømmelser langs et vandløb.

Modellen er baseret på ArcGIS med extensionen Spatial Analyst. Til opbygning af modellen er anvendt Model Builder.

Beregningen af oversvømmelsesudbredelsen er delt op i to faser:

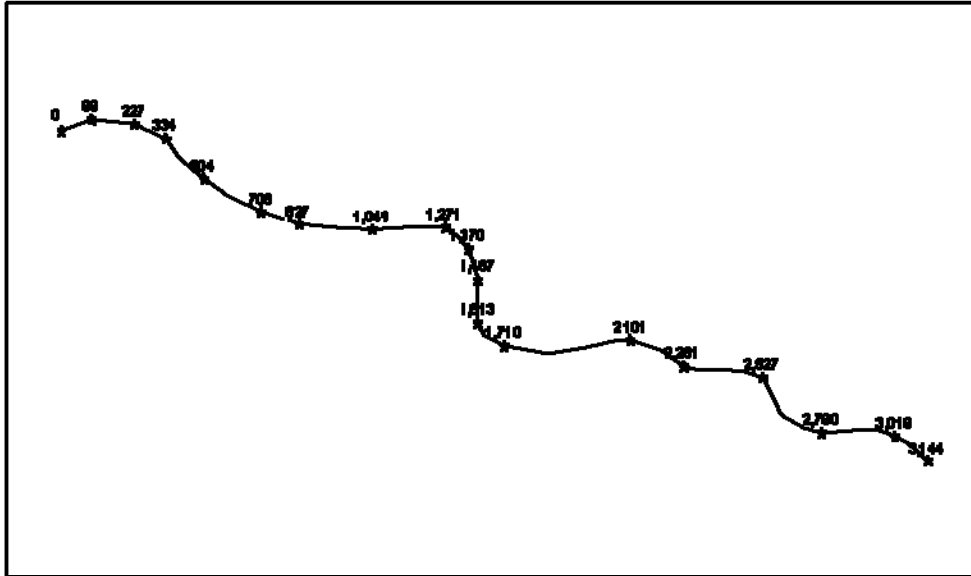
- 1 Interpolation i et vandløbsgrid på baggrund af vandløbstemaet, der har modtaget input fra vandstandsbergningsmodulet
- 2 Beregning af vandets udbredelse i terrænet på baggrund af vandløbsgrid.

### 2.7.1 Beregning af vandløbsgrid

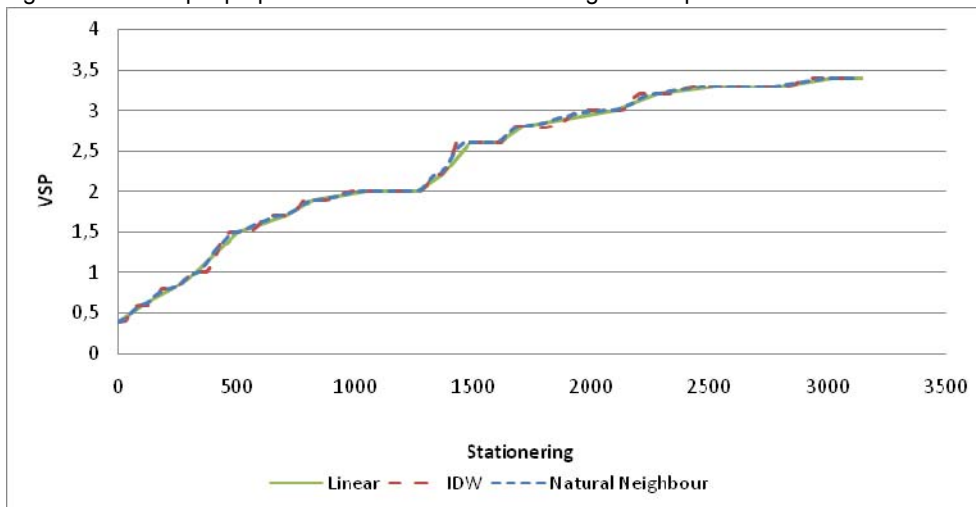
Følgende data skal anvendes til beregning af et vandløbsgrid med en H-værdi i hver celle:

- ASCII-fil med X,Y,H punkter
- Shapefil med vandløbstema.

Punktfilen fra vandstandsbergningsmodulet indlæses i GIS, og der interpoleres et grid vha. *Natural Neighbour* eller *Inverse Distance Weighted* metoden. Et eksempel på betydningen af valget mellem disse to metoder er vist i Figur 2-9 og Figur 2-10.



Figur 2-9 Eksempel på punktfil indlæst i GIS med beregnede H-punkter.

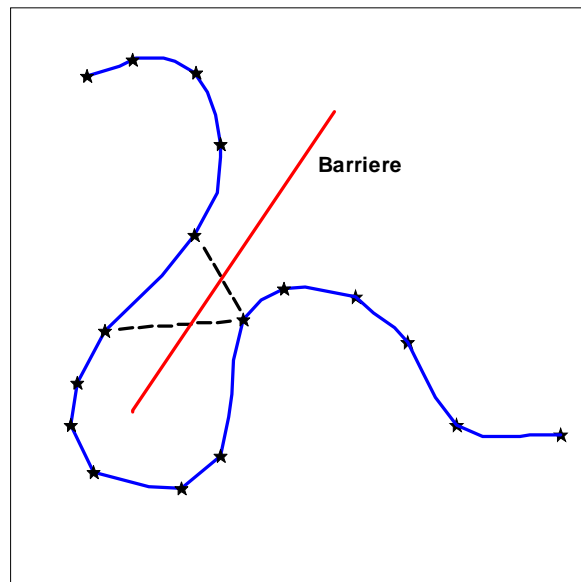


Figur 2-10 Langsgående interpolation af H-punkterne fra Figur 2-9 med hhv. lineær, IDW og natural neighbour interpolation.

Som det ses af Figur 2-9 og Figur 2-10, kommer disse interpolationer meget tæt på lineær interpolation. Interpolationerne ligger som standardmetoder i hhv. *Vertical Mapper* i Mapinfo og *Spatial Analyst* i ArcGIS. Tests har vist at Natural Neighbour metoden er den mest velegnede, men IDW kan anvendes.

Ved anvendelse af interpolationen skal man være opmærksom på, at det vil være nødvendigt at lægge barrierer ind ved snævre meanderbuer, hvor der ellers vil

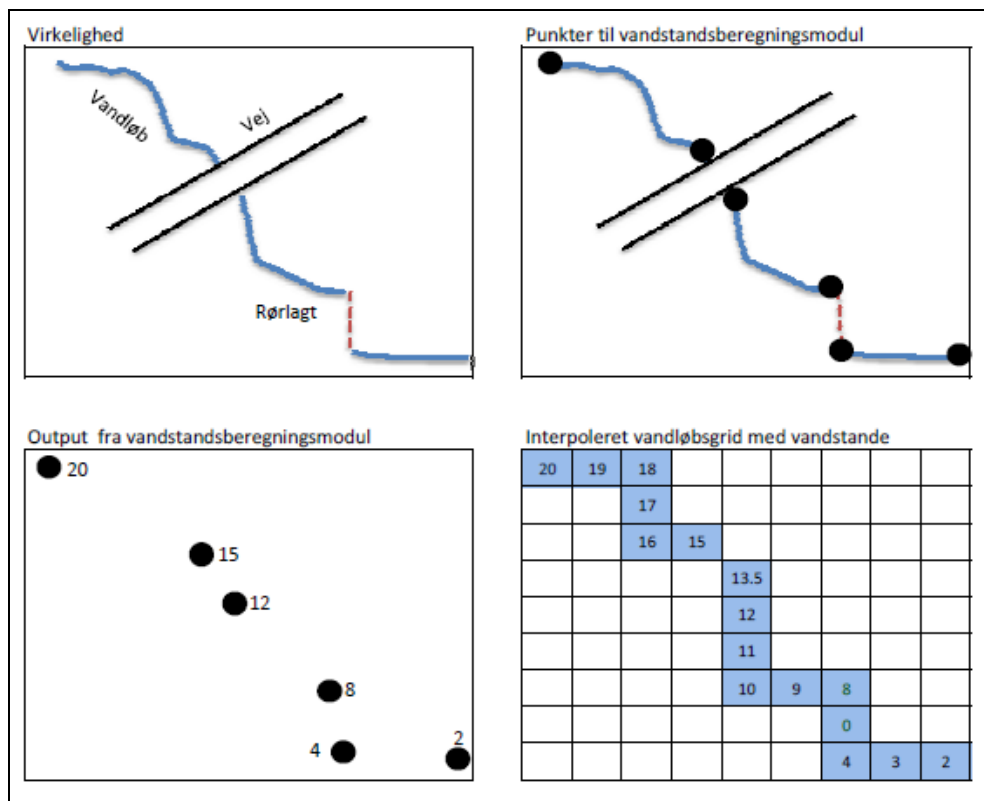
kunne opstå fejl, se Figur 2-11. Alternativt skal der i vandstandsbergningsmodulet genereres H-punkter med en afstand meget mindre end meanderbuenes diameter.



Figur 2-11 Eksempel på snæver mæanderbue, hvor det vil være nødvendigt at lægge en barriere ind for at undgå interpolation på tværs af buen.

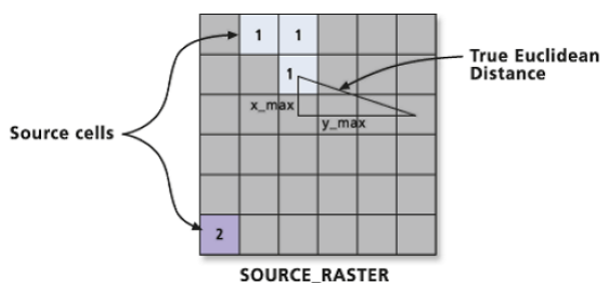
Efter interpolation udvælges alle gridceller, der er sammenfaldende med det vektoriserede vandløb, som anvendes som udgangspunkt for placering af H-punkter. En overordnet skitse af digitaliserings- og interpolationsprocessen i GIS er vist i Figur 2-12, hvor et eksempel er vist.

En mere detaljeret beskrivelse er vist i figurene i Bilag 4: Oversigt over metodens GIS operationer og Bilag 5: Detaljeret beskrivelse af metodens GIS operationer.



Figur 2-12 Eksempel på tilvejebringelse af vandløbsgrid med vandstande.

Vandstandene i vandløbsgriddet ekstrapoleres ud i terræn vha. funktionen *Euclidian Allocation* i ArcGIS. Den fungerer således at cellerne i outputgriddet (vandspejlsgrid) tildeles værdien af den celle i vandløbsgriddet, hvor den euklidiske afstand er mindst. Den euklidiske afstand beregnes som hypotenusen i en retvinklet trekant, hvor  $x_{max}$  og  $y_{max}$  er de to andre ben i trekanten, se figuren herunder.



Figur 2-13 Definition af Euklidisk afstand anvendt ved ekstrapolation ud i terræn.

## 3 Test af metode til screening af oversvømmelse

### 3.1 Indledning

Den udviklede metode er blevet testet på to udvalgte vandløb og tilhørende oplande, nemlig Værebros Å og Stor Å. Det overordnede formål med testningen er at validere metodens generelle anvendelighed. For at gøre dette, er de enkelte trin i metoden forsøgt valideret i videst muligt omfang. Herved er der opnået et kendskab til, hvilke parametre, der er mest betydende for det samlede resultat.

Det enkelte trin i metoden indeholder indtil flere niveauer som i princippet kan kombineres med niveauerne fra de øvrige trin. Det er dog tilstræbt at kombinere sammenlignelige niveauer indenfor de enkelte trin. Eksempelvis giver det ikke meget mening at teste effekten af stuvning i et system med få vandstandspunkter og et simpelt kendskabsniveau til broer mm. Tilsvarende varieres der ensartet på kendskabsniveauerne for broer, rør og stryg, således at alle har enten simpelt, udvidet eller detaljeret kendskabsniveau.

Metodikken er testet, således at der varieres på en parameter ad gangen, mens de øvrige parametre holdes på deres udgangsniveau. I nogle tilfælde varieres dog på flere parametre ad gangen. For begge år eksisterer der målinger af vandstande for forskellige hændelser samt opgørelse over oversvømmet areal. Udgangspunktet for testene har derfor været at undersøge, hvor meget de enkelte parametre betyder i forhold til at reproducere målingerne.

### 3.2 Testparametre

De valgte testparametre afspejler de parametre, der indgår i niveauerne for metodens enkelte trin. I tabellen herunder ses, hvilke parametre, der testes for de to åsysteme med en tilhørende kort beskrivelse af, hvorledes disse er tilvejebragt.

Trin	Parametervalg	Beskrivelse	
Vandføring Q	1. Et af de 39 oplande	Afstrømning fås fra DMU Fagrapport no. 340, hvis vandløbsoplandet er i blandt de 39 undersøgte oplande	
	2. Sammenligneligt opland	Afstrømning fås fra sammenligneligt opland (DMU FR no. 340)	
	3. Parametermodel	Afstrømning fås fra parametermodellen udviklet i metodikken	
	4. Målt tidsserie	Afstrømningen fås fra målt Q eller Q/H relation	
Vandstand H	Ådal	1. Anlæg	Konstant anlæg af ådalen antages. Vandløbet negligeres.
		2. Topografi	Ådalstopografi på udvalgte lokaliteter udtrækkes fra DTM
		3. Topografi plus tværsnit	Målt vandløbstværsnit kombineres med ådalstopografi fra DTM
	Bro	1A. Min. opstuvning	Sættes til 20 cm
		1B. Max. opstuvning	Sættes til overside vejkode + 10 cm for q100, og +30 cm for q1000
		2. Længde og bredde	Fås fra ortofoto/vandløbsregulativ
		3. Bundkode, bredde højde, længde, form	Fås fra vandløbsregulativ
	Rør	1A. Min. opstuvning	Sættes til 20 cm
		1B. Max. opstuvning	Sættes til overside vejkode + 10 cm for q100, og +30 cm for q1000
		2. Tværsnitsareal og længde	Fås fra vandløbsregulativ og ortofoto
	Overløb /stryg	1A. Minx. opstuvning	Sættes til 20 cm
		1B. Max. opstuvning	Sættes til overside vejkode + 10 cm for q100, og +30 cm for q1000
		2. Flodemål/kote til kant	Fås fra vandløbsregulativ
		3. Kote og længde af kant	Fås fra vandløbsregulativ
	Hav	1. Middel havniveau	Fås fra Kystdirektoratets højvandsstatistik
2. Årlig max. højvande		Fås fra Kystdirektoratets højvandsstatistik	
3. Målt		Fås fra Miljøcentre	
Vandstand	1. Antagelse om hældning	Konstant hældning af vandspejl introduceres for hele vandløbet	
	2. Lineær interpolation	Lineær interpolation foretages mellem H-punkter	
	3. Stuvning	Vandstanden i H-punkter beregnes ud fra stuvningsformel	
GIS	1. Få H-punkter	Der introduceres et begrænset antal H-punkter i vandløbstemaet	
	2. Mange H-punkter	Der introduceres et udvidet antal H-punkter i vandløbstemaet	

Tabel 3-1 Oversigt over valgte testparametre med tilhørende beskrivelse

### 3.3 Valgte testoplande

De to å-systemer beskrives kort i det følgende.

#### 3.3.1 Værebros Å

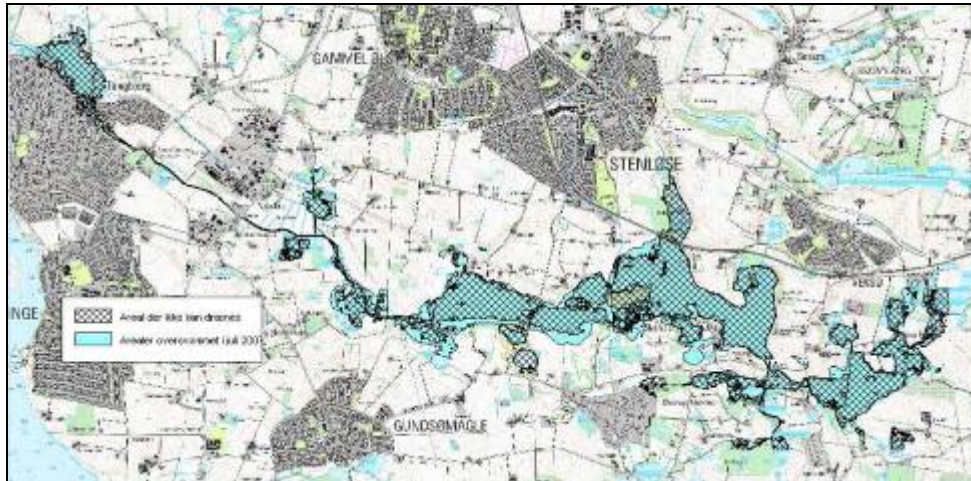
Værebros Å er beliggende i den nordlige del af Sjælland. Værebros Å starter ved sammenløbet mellem Bunds Å og Jonstrup Å, og løber ud i Roskilde Fjord. I alt har vandløbet en længde på ca. 19 km. Det samlede opland til Værebros Å er på ca. 153 km<sup>2</sup>. Hældningen er generelt lille, og den gennemsnitlige hældning udgør ca. 0,26 ‰ for hele strækningen. Figur 3-1 viser placeringen af Værebros Å i Egedal kommune. Figuren viser station 0.0 m samt station 19.000 m ved udløbet til Roskilde fjord.



Figur 3-1 Værebros Å

I juli 2007 blev Værebros Å oversvømmet som følge af kraftige regnskyl. Det oversvømmede areal udgjorde ca. 450 ha. Det oversvømmede areal blev opmålt ud fra luftfotos. En optegning af det oversvømmede område i juli 2007 er vist på Figur 3-2.





Figur 3-2 Det oversvømmede areal langs Værebros Å under hændelsen i juli 2007.

Egedal kommune har i forbindelse med dette projekt velvilligt stillet forskellige data for Værebros Å til rådighed. Disse data inkluderer

- Vandstandsdata
- Vandføringsdata
- Vandløbstværsnit
- Oversvømmet areal i 2007
- Vandløbets forløb
- Oplandsareal
- Supplerende data i GIS.

Herudover er vandstanden i Roskilde Fjord dækkende hændelsesperioden i 2007 indhentet fra Miljøcenter Roskilde.

Et besøg hos Egedal kommune, herunder en felttur til Værebros Å, blev foretaget i juni 2010. Figur 3-3 viser nogle fotos fra Værebros Å under dette besøg.

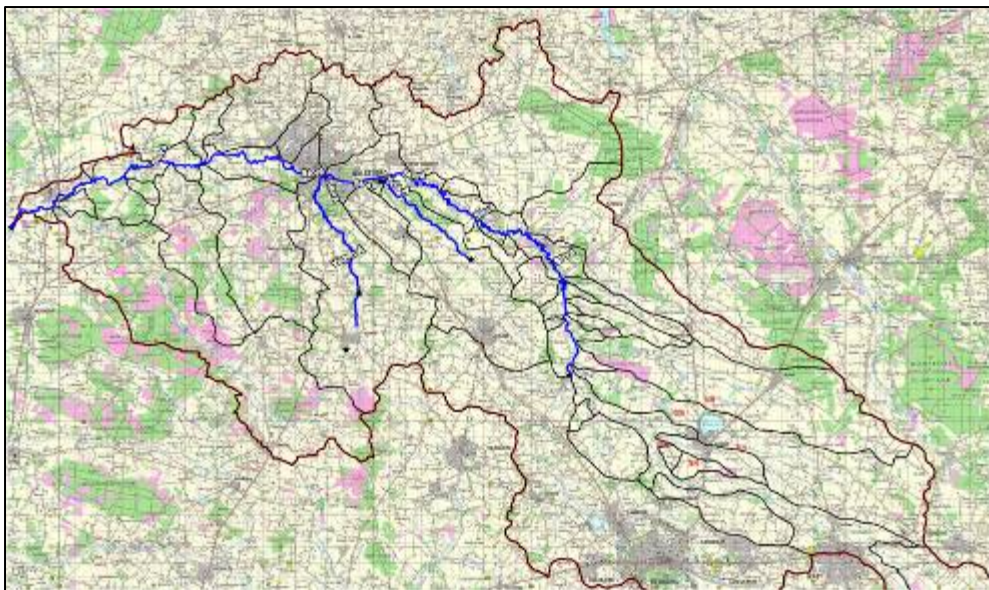


Figur 3-3 Fotos fra Værebros Å juni 2010. Øverst tv: åen tæt ved station 52.14. Øverst th.: Åen ved udløbet til Roskilde Fjord. Nederst tv.: arbejdsbro til grødeopsamling. Nederst th.: brotværnsnit med indsnævrende effekt.

### 3.3.2 Storå

Storå er beliggende i Vestjylland. Storå starter ved sammenløbet af Højris Å og Herningsholm Å ca. 800 m nordøst for Ørre, og løber ud i Nissum Fjord. Vandløbet har en samlet længde på 66.191 m. Storå løber gennem Holstebro by, hvor der findes et vandkraftværk og -sø. Oplandsarealet ved vandkraftsøen i Holstebro by er ca. 766 km<sup>2</sup>.

Der er indtil flere sidetilløb til Storå, heraf kan nævnes Tvis Å og Vegem Å. Figur 3-4 viser Storåens forløb med tilhørende opland.



Figur 3-4 Kort over Storå

Storå har i tidens løb været oversvømmet adskillige gange. Den største oversvømmelse var i 1970, og endnu en stor oversvømmelse skete i januar 2007. Senest i januar 2011 var der endnu en kraftig oversvømmelse i Holstebro by.

En optegnelse af det oversvømmede område under hændelsen i 1970 er vist i Figur 3-5.



Figur 3-5 Oversvømmet areal under hændelsen i 1970. Kilde: Holstebro kommune.

Holstebro kommune har i forbindelse med dette projekt velvilligt stillet forskellige data for Storåen til rådighed. Disse data inkluderer:

- Vandstandsdata
- Vandføringsdata
- Vandløbstværsnit
- Kort over oversvømmet areal i 1970
- Kort over estimeret oversvømmet areal i 2007
- Vandløbets forløb
- Oplandsareal
- Supplerende data i GIS
- Diverse rapporter og publikationer

Et besøg hos Holstebro kommune og felttur til Storå blev gennemført i juni 2010. Figur 3-6 viser nogle fotos fra besøget i juni 2010.

Figur 3-7 viser oversvømmelsesudbredelsen i Holstebro by under hændelsen i 2007.



Figur 3-6 Fotos fra Storå, juni 2010. Øverst tv.: Vandkraftsøen. Øverst th.: Storå i Holstebro by. Nederst tv.: Storå i Holstebro by. Nederst th.: Storå nedstrøms Holstebro by.



Figur 3-7 Holstebro by under oversvømmelsen i 2007.

### **3.4 Verifikation af metoden**

#### *3.4.1 Værebros Å*

##### 3.4.1.1 Beskrivelse af udførte tests

Der er udført et antal tests, hvor metodens parametre er kombineret på forskellig vis. De tests, der er udført på Værebros Å systemet er vist i tabel

Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Udførte tests på Værebros Å

Test nummer ->		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Vandføring Q	1. Et af de 39 oplande																						
	2. Sammenligneligt opland	•											•										
	3. Parametermodel					•				•		•		•		•	•	•	•		•	•	
	4. Målt tidsserie		•	•	•		•	•	•		•				•								
Vandstand H	Ådal	1. Anlæg	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					•	•	
		2. Topografi																•					
		3. Topografi plus tværsnit																	•	•			
	Bro	1A. Min. opstuvning			•	•	•	•	•													•	•
		1B. Max. opstuvning																					
		2. Længde og bredde								•	•	•	•	•	•								
	Rør	3. Bundkote, bredde højde, længde, form														•	•	•	•	•			
		1A. Min. opstuvning			•	•	•	•	•													•	•
		1B. Max. opstuvning																					
	Overløb /stryg	2. Tværsnitsareal og længde								•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			
		1A. Minx. opstuvning			•	•	•	•	•													•	•
		1B. Max. opstuvning																					
Hav	2. Flodemål/kote til kant								•	•	•	•	•	•									
	3. Kote og længde af kant														•	•	•	•	•				
	1. Middel havniveau	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	
Vandstand	2. Årlig max. højvande					•																	
	3. Målt							•															
	1. Antagelse om hældning	•	•																				
Vandstand	2. Lineær interpolation			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	
	3. Stuvning																			•			

S/S	1. Få H-punkter	•	•	•						•	•											
	2. Mange H-punkter				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•			•

### 3.4.1.2 Indledende GIS analyse

Den indledende GIS analyse består i tilvejebringelse af følgende:

- Digital Terræn Model
- Vandløbstema
- Data for betydende broer og styrt.

**Digital terrænmodel:** COWI's højdemodel har her været anvendt. Denne har en gridopløsning på 2 m, og en vertikal nøjagtighed på ca. 10 cm.

**Vandløbstema:** Vandløbstemaet består af en shapefil for Værebros Å, en position og stationering af H-punkterne i Værebros Å, samt information om H-punkts type, kendskabsniveau og data for broer mv. Shapefilen er fremskaffet fra Egedal kommune.

Vandløbstemaet med angivelse af H-punkter ses i Figur 3-8.





Figur 3-8 Vandløbstema for Værebros Å med indikation af H-punkter.

**Data for broer etc.:** Data for broer mv. er fremkommet via vandløbsregulativet for Værebros Å, fra det tilgængelige ortofoto af Åen, og supplerende information fra Egedal kommune.

Tablet 3-3 indeholder broer og stryg som er udpegede som værende betydende for eventuel opstuvning i Værebros Å.

Tabel 3-3 Betydende broer og stryg i Værebros Å, med tilhørende stationering i GIS-modellen

Navn	Type	Stationering, model (m)
Arbejdsbro	Bro	3324
Snyde Bro	Bro	3551
Jernbane	Bro	3610
Arbejdsbro	Bro	3630
Stryg	Stryg	3810
Lunde Bro	Bro	7003
Arbejdsbro	Bro	7515
Veksø Bro	Bro	7534
Stenløse Bro	Bro	10932
Arbejdsbro	Bro	10953
Øvre Værebros	Bro	14901
Nedre Værebros	Bro	16124

**H-punktstema:** For hver test er der lavet et H-punktstema, som indeholder oplysninger om position, stationering samt data for broer, bygværker mv.. Et eksempel på et H-punktstema (svarende til Test 18) er vist i Tabel 3-4.

Tabel 3-4 Eksempel på H-punktsfil for Værebros Å (Test 18).

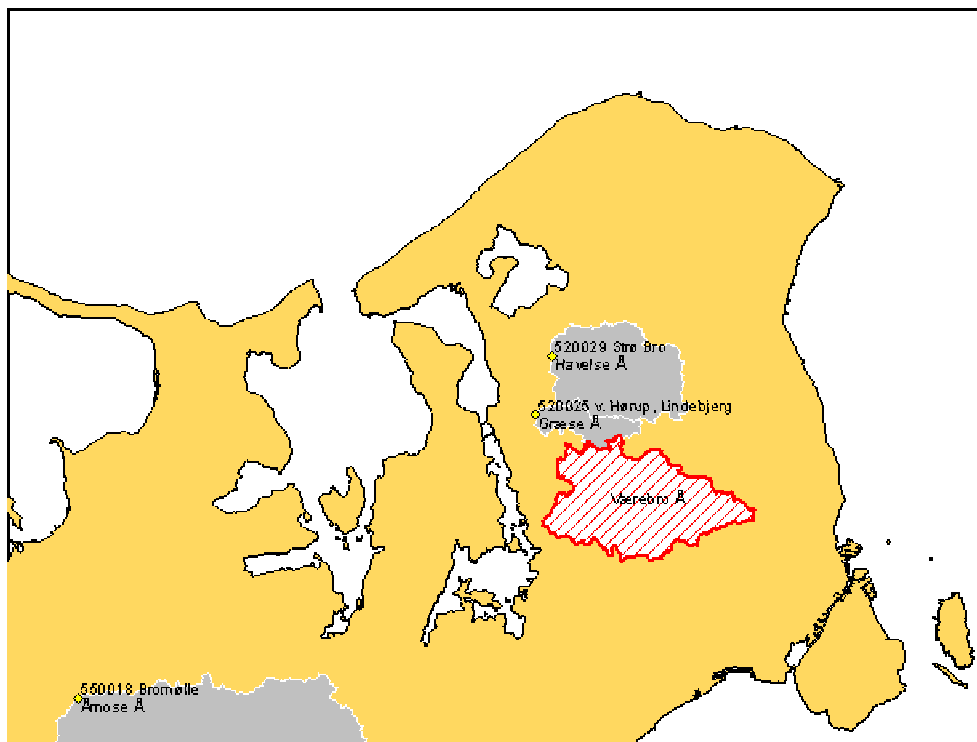
Effektiv metodik til screening af oversvømmelsesrisici i vandløb

X	Y	Station	Type_ID	Kendskab	H	Opland	VSP	Bro_kote	H_brinke	K2_Bro_TS	K2_BV_L	K3_Slug	K3_Hojde	K2_ror_dia	K2_FM_OK	K3_OK	L
693744,58	6186010,89	18985	10	3	0,00	151,4	0,50	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
694546,18	6185518,69	18000	0	3	0,00	150,1	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
694982,62	6185379,60	17500	0	3	0,00	149,0	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
695162,47	6184825,66	16920	0	3	0,00	147,8	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
695757,06	6184386,15	16138	0	3	0,00	146,8	0,90	4,30	3,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
695765,87	6184375,68	16124	1	3	0,00	146,8	0,90	4,30	3,10	10,80	11,00	7,40	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00
696287,14	6184005,54	15463	0	3	0,00	145,0	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
696728,72	6183694,99	14918	0	3	0,00	143,0	1,00	5,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
696741,60	6183684,26	14901	1	3	0,00	143,0	1,00	5,50	2,60	12,40	14,00	4,70	3,10	0,00	0,00	0,00	0,00
697567,67	6183465,99	14000	0	3	0,00	139,0	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
698124,01	6182612,30	12900	0	3	0,00	133,0	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
698778,67	6182454,03	12200	0	3	0,00	130,0	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
699498,07	6182626,69	11424	0	3	0,00	123,0	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
699964,41	6182623,23	10957	0	3	0,00	116,4	1,20	1,60	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
699968,42	6182620,74	10953	1	3	0,00	116,4	1,20	1,60	1,43	19,00	2,00	7,50	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00
699981,80	6182612,15	10937	0	3	0,00	116,0	1,20	2,50	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
699985,59	6182609,75	10932	1	3	0,00	116,0	1,20	2,50	1,60	18,80	5,00	8,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00
700375,74	6182473,22	10500	0	3	0,00	115,0	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
700629,93	6182859,30	10000	0	3	0,00	113,0	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
701243,82	6183053,53	9338	0	3	0,00	111,0	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
701994,40	6182684,24	8492	0	3	0,00	108,0	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
702478,80	6182221,43	7820	0	3	0,00	105,0	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
702530,49	6181958,87	7541	0	3	0,00	103,0	1,80	4,40	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
702533,45	6181950,97	7534	1	3	0,00	103,0	1,80	4,40	2,00	15,70	7,00	6,30	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00
702539,50	6181937,76	7518	0	3	0,00	103,0	1,80	2,40	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
702541,48	6181934,42	7515	1	3	0,00	103,0	1,80	2,40	2,00	15,00	2,00	6,50	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00
702958,58	6181760,59	7012	0	3	0,00	89,5	1,80	3,50	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
702967,48	6181761,95	7003	1	3	0,00	89,5	1,80	3,50	2,10	14,90	9,00	6,30	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00
703020,75	6181768,20	6968	0	3	0,00	89,0	0,00	0,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
703416,42	6181482,84	6449	0	3	0,00	86,0	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
703794,53	6181696,35	5993	0	3	0,00	83,0	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
704058,92	6182189,01	5392	0	3	0,00	80,0	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
704469,23	6182561,76	4801	0	3	0,00	77,0	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
704886,77	6182987,97	4143	0	3	0,00	74,0	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705072,41	6183226,38	3832	0	3	0,00	73,0	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705082,94	6183244,34	3810	5	3	0,00	73,0	0,00	0,00	2,80	0,00	22,00	0,00	0,00	0,00	2,10	3,50	0,00
705184,42	6183351,29	3662	0	3	0,00	70,6	2,20	3,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705187,38	6183356,61	3656	1	3	0,00	70,6	2,20	3,00	2,40	9,00	2,00	6,20	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705188,06	6183384,72	3626	0	3	0,00	70,0	2,20	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705184,15	6183405,22	3610	1	3	0,00	70,0	0,00	7,60	3,00	9,00	19,00	3,10	2,90	0,00	0,00	0,00	0,00
705183,64	6183417,14	3600	0	3	0,00	70,0	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705181,99	6183459,39	3551	1	3	0,00	70,0	2,20	7,60	3,00	9,00	49,00	4,50	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00
705171,52	6183682,98	3327	0	3	0,00	66,7	2,65	3,30	3,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705171,34	6183685,82	3324	1	3	0,00	66,7	2,68	3,30	3,10	7,50	2,00	6,20	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705168,50	6183955,96	3052	0	3	0,00	65,0	0,00	0,00	3,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705380,88	6184065,76	2799	0	3	0,00	63,0	0,00	0,00	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
705603,81	6184206,87	2502	0	3	0,00	61,0	3,00	4,47	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

### 3.4.1.3 Tilvejebringelse af vandføring

I det følgende beskrives, hvordan de vandføringer, der er anvendt i Værebros Å testene, er fremkommet.

**Q fra sammenligneligt opland:** De nærmeste mulige referenceoplande er Græse Å, Havelse Å og Åmose Å, se Figur 3-9.



Figur 3-9 Mulige referenceoplande til Værebros Å

Værebros Å oplandet ligner oplandene til Havelse Å og Åmose Å, selvom det har en noget større andel af våde områder, se Tabel 3-5. Det nærmeste undersøgte opland, Græse Å, er væsentligt mindre og har større fald. Det foreslås derfor, at ekstremafstrømningen estimeres som gennemsnittet af værdier fra Havelse Å og Åmose Å. Anvendelse af parametermodellen giver for disse åer en beregnet  $q_{100}$  på henholdsvis 74 og 56 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (se Tabel 3-5 og Bilag 3: Anvendte variable, afstrømningsmodel), hvilket giver en middelværdi for Værebros Å på 65 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>.

Tabel 3-5 Sammenligning af Værebros Å med Græse Å, Havelse Å og Åmose Å

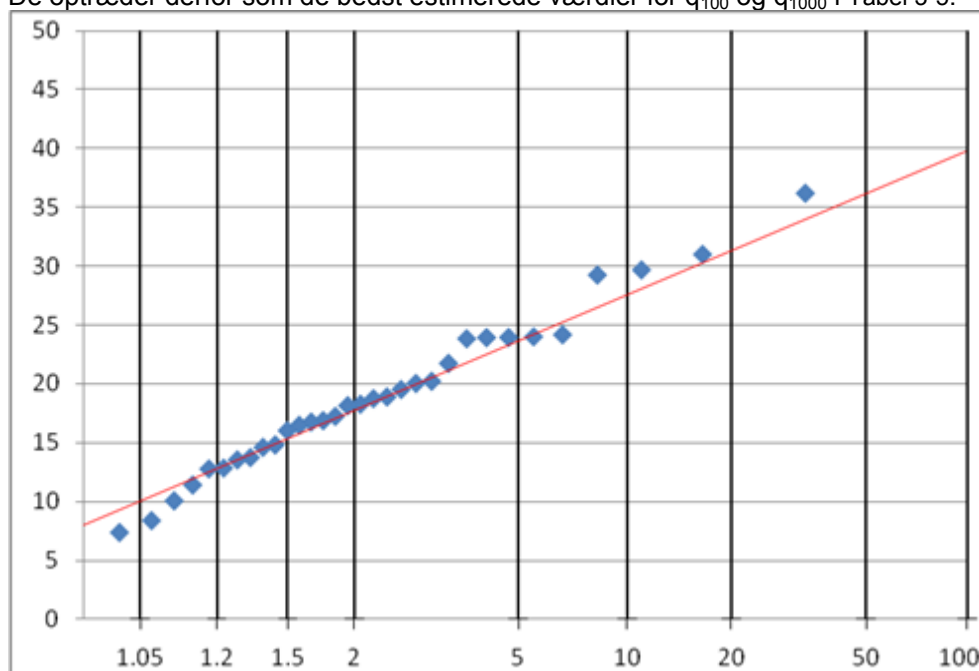
Station	Fald	Opland fald	Våde omr	Skov	Areal	Længde	q <sub>100</sub>	q <sub>1000</sub>
nr	‰	‰	%	%	km <sup>2</sup>	km	l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>	l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>
520025 Græse Å	1,8	5,2	9,1	12,8	25	10,6	85	143
520029 Havelse Å	1,1	4,1	3,5	9,3	102	14,3	74	94
550018 Åmose Å	1,0	2,8	5,6	13,0	290	37,5	56	60
Værebros Å	0,8	3,4	10,2	12,7	145	27,1	42	49

FR340 bilag 8 viser i øvrigt, at der er meget stor usikkerhed på GEV for Græse Å. Usikkerheden for Havelse Å er mindre, mens den for Åmose Å er lille.

**Q fra parametermodel:** Til sammenligning giver modellen 46 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> for q<sub>100</sub> og, overraskende, beregner modellen en værdi på 32 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> for q<sub>1000</sub>. Denne er lavere end q<sub>100</sub> værdien og må derfor kasseres. Når man beregner modelværdierne for samtlige 39 undersøgte oplande, ses det, at samme fejl opstår i et enkelt andet opland, så det er en svaghed ved modellen.

**Q fra statistisk beregning:** To metoder er anvendt til estimeringen af q<sub>100</sub> og q<sub>1000</sub>, nemlig Gumbels metode og Generaliseret Ekstrem Værdimetode (GEV). Ved at plote gentagelseshyppighederne på Gumbel-papir eller ved beregning kan afstrømningen estimeres (Figur 3-10). Den til rådighed værende tidsserie fra målestationen ved Veksø Bro (opland 110 km<sup>2</sup>, år 1978-2009) giver et estimat for q<sub>100</sub> på 39,8 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> og 51,8 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> for q<sub>1000</sub>.

Ved at anvende GEV (med parametre estimeret fra statistikprogrammet Stata) kan  $q_{100}$  beregnes til  $41,5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  og  $q_{1000}$  til  $49,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ . Disse resultater er brugt, fordi de er direkte sammenlignelige med DMUs data for de øvrige stationer. De optræder derfor som de bedst estimerede værdier for  $q_{100}$  og  $q_{1000}$  i Tabel 3-5.



Figur 3-10 Beregning af ekstrem afstrømning i Værebros Å med Gumbel funktionen. X-akse er gentagelseshyppighed, y-akse afstrømning i  $\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$

**Øvrige vandføringer:** Nogle af de gennemførte tests har anvendt en vandføring svarende til den, der er målt på det tidspunkt, hvor oversvømmelsesudbredelsen fra 2007 er opgjort (juli 2007). Station 52.14 har d.8/7 2007 målt en vandføring på  $3231 \text{ m}^3/\text{s}$ . Med et oplandsareal på  $109,66 \text{ km}^2$  ved denne station fås en specifik afstrømning på  $29 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ .

Herudover er der i forbindelse med tilvejebringelse af sandsynlighedskort anvendt vandføringer med forskellige gentagelseshyppigheder. Disse vandføringer er fremkommet ved brug af Gumbels metode. Resultaterne ses i tabellen herunder.

Tabel 3-6 Beregnede specifikke afstrømninger for Værebros Å for forskellige gentagelseshyppigheder. Gumbels metode er anvendt.

Gentagelseshyppighed [år]	Afstrømning $q$ [ $\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ]
2	17.8
10	27.6
20	31.3
50	36.2
100	39.8
500	48.2
1000	51.8

#### 3.4.1.4 Bestemmelse af vandstand

Vandstandene i Værebros Å testene er bestemt via vandføringen ud fra de principper der er beskrevet i metodeafsnittet.

En direkte anvendelse af målte vandstande i Værebros Å ville være at projicere disse ud i terræn for at generere et oversvømmeskort. Dette vil imidlertid kun give mening for meget høje vandstande, eller vandstande sammenfaldende med vandstanden under oversvømmeshændelsen i juli 2007. Vandstandstidsserien ved station 52.14 har ikke data for oversvømmeshændelsen. Dette formentlig fordi loggeren kan være sat ud af drift ved en given høj vandstand.

Et forsøg på at rekonstruere vandstanden i station 52.14 under oversvømmelsen i 2007 er gjort i dette studie. Ud fra oversvømmeskortet er den horisontale udbredelse (oversvømmelsesbredde) i m på tværs af vandløbet vurderet. Herefter er der udtrukket et tværprofil af topografi for ådalen i station 52.14. Ved at indlægge oversvømmelsesbredden på et niveau i tværprofilet således at vandlinien netop



møder topografien ved kanten, kan vandstanden vurderes. Herved fås en vandstand på ca. 2.8 m.

#### 3.4.1.5 Vandstandens langsgående variation

Den langsgående variation af vandstanden illustreres bedst ved at plotte længdeprofiler af beregnede vandstande. Der eksisterer ikke sådanne målte profiler for Værebros Å, idet der kun er få vandstandsmålere i systemet. Metodens længdeprofiler for vandstand kan derfor ikke sammenlignes med målinger. Det næstbedste er at sammenligne metodens længdeprofiler med længdeprofiler fra en dynamisk vandløbsmodel, som f.eks. MIKE11.

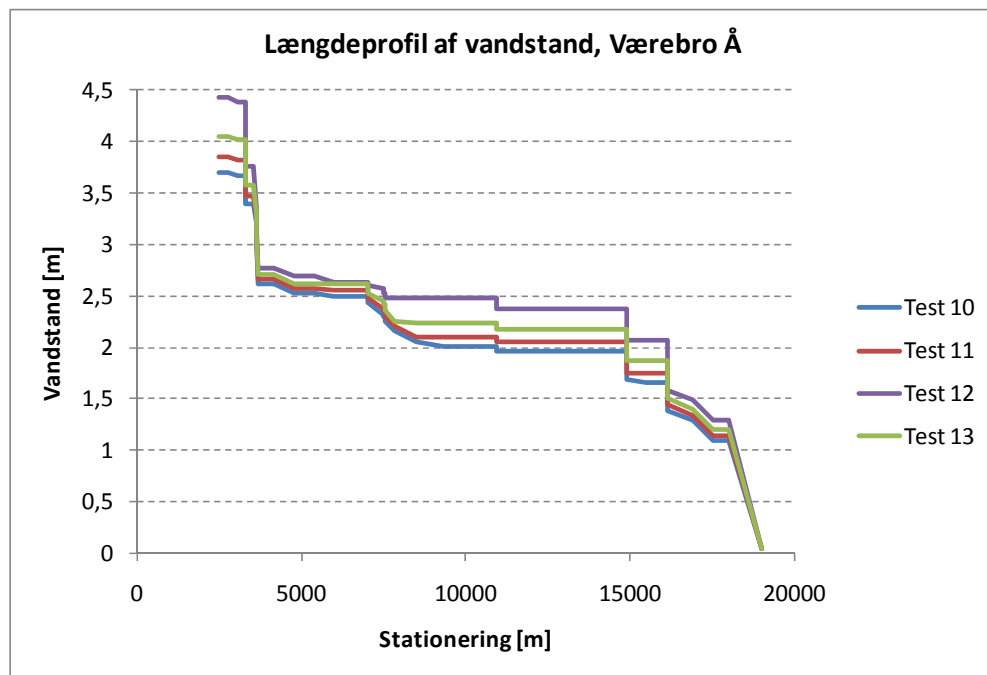
En sådan MIKE11 model er sat op for Værebros Å som en del af nærværende projekt. Modellen er kalibreret mod målte vandstande i station 52.14. Kalibreringen bekræfter, at der er stor forskel på vandløbets ruhed i vinter og sommermånederne som følge af grødevækst.

#### 3.4.1.6 Oversvømmeskort

En opmåling af det oversvømmede område i juli 2007 er fremskaffet fra Egedal kommune. Dette kort ligger direkte i polygonformat i ArcGIS. De forskellige tests i metoden er sammenlignet med dette oversvømmeskort, hvor dette giver mening. Oversvømmeskortene er alle placeret i Bilag 5: Oversvømmeskort. I de følgende afsnit henvises til de relevante oversvømmeskort.

#### 3.4.1.7 Vurdering af valg af vandføring

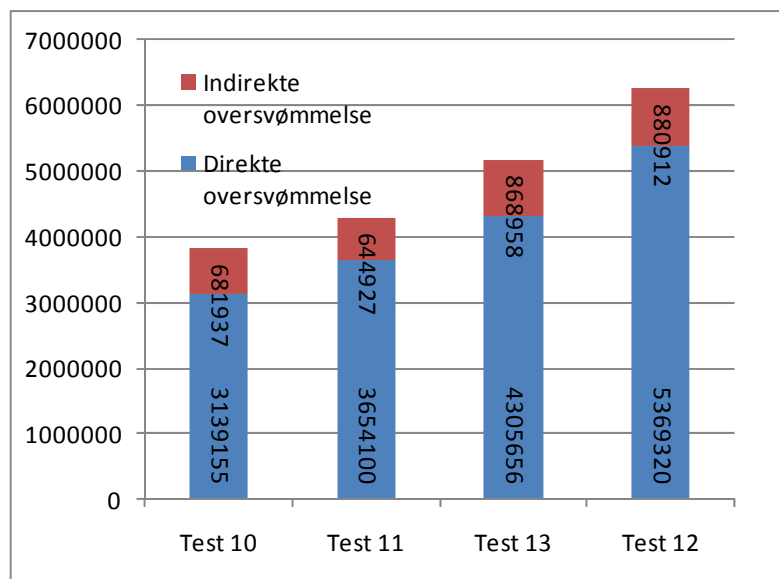
Betydningen af valget af vandføring er vurderet ud fra resulterende længdeprofiler af vandstand samt plots af oversvømmet areal. Figur 3-11 viser det resulterende længdeprofil af vandstand ved  $q = 29$  ( $q_{11}$ ),  $q = 36$  ( $q_{50}$ ),  $q = 42$  ( $q_{100}$ ), og  $q = 65$   $l/s/km^2$  ( $>q_{1000}$ ) i Værebros Å. Det ses, at den maksimale forskel i midten af åen er ca. 0.5 m, mens den er ca. 0.75 m i opstrøms ende.



Figur 3-11 Længdeprofil af beregnet vandstand for tests med  $q=29$ ,  $q=36$ ,  $q=42$ , og  $q=65$  l/s/km<sup>2</sup>.

De anvendte vandføringer har betydelig indflydelse på oversvømmelsesudbredelsen. Udbredelsen af oversvømmelsen for de ovennævnte test 10-13 er vist i Figur 9-12 i Bilag 5: Oversvømmelseskort. Som forventet giver en højere vandføring et større oversvømmet areal. I Tabel 3-7 er det samlede oversvømmede areal (både direkte og indirekte) opgjort for de enkelte tests. Ved indirekte oversvømmelse forstås den oversvømmelse der ville optræde hvis de markerede områder stod i hydraulisk forbindelse med vandløbet, Tilsammenligning kan nævnes at det opmålte totale oversvømmede areal er på ca. 4500000 m<sup>2</sup>.

Tabel 3-7 Beregnede oversvømmede arealer i m<sup>2</sup> for Test 10, 11, 13 og 12.



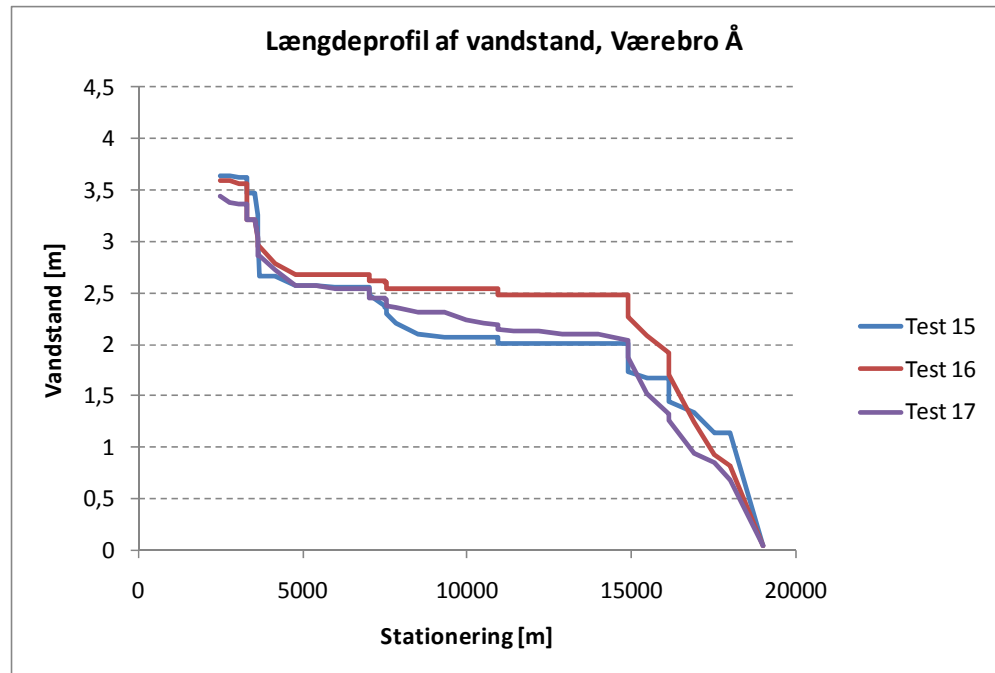
### 3.4.1.8 Vurdering af valg af topografi

Parametrene i Test 15, 16 og 17 er ens på nær valget af ådalsbeskrivelsen. Test 15 antager et fast anlæg til beskrivelse af ådalen. Et anlæg på 1:20 er valgt. Test 16 anvender tværsnit, der er udtrukket fra ådalstopografien (DTM) for hver ca. 500 m i langsgående retning af vandløbet. Test 17 er en udvidelse af Test 16, idet selve vandløbstværsnittet er inkluderet i ådalstopografien.

Figur 3-12 viser de tilhørende længdeprofiler af vandstand for de tre tests. Det må antages at Test 17 giver det mest korrekte vandspejlsforløb, idet både ådalstopografien og vandløbstværsnittet er med i beskrivelsen. Det ses, at antagelsen om et fast anlæg (Test 15) ligger tættere på resultatet af Test 17 end på Test 16, hvor vandløbstværsnittet ikke er indeholdt. Test 15 overvurderer vandføringsevnen på den nederste strækning, hvor vandløbet ligger med stort fald.

Forskellen på test 16 og 17 illustrerer betydningen om antagelsen af fuldt vandløbstværsnit ved medianmaksimum. I Test 16 er der regnet med ådalstværsnit samt en vandføring, der illustrerer forskellen mellem medianmaksimum og den aktuelle vandføring. I Test 17 er der regnet med den fulde vandføring i det fulde tværsnit. Antagelsen om fyldt vandløb ved medianmaksimum giver således i dette tilfælde en overvurdering af det oversvømmede areal.

Ved valg af forskellige anlæg af ådalstopografien kan længdeprofilet ved Test 15 formentlig komme tættere på resultatet af Test 16. Man kan derfor ikke sige, at et fast anlæg (Test 15) vil være bedre end ådalstopografien (Test 17). Forskellen mellem resultatet for Test 16 og Test 17 skyldes den øgede kapacitet af vandløbet når vandløbstværsnittet er medtaget i topografien. I dette tilfælde er forskellen op til 0.5 m.

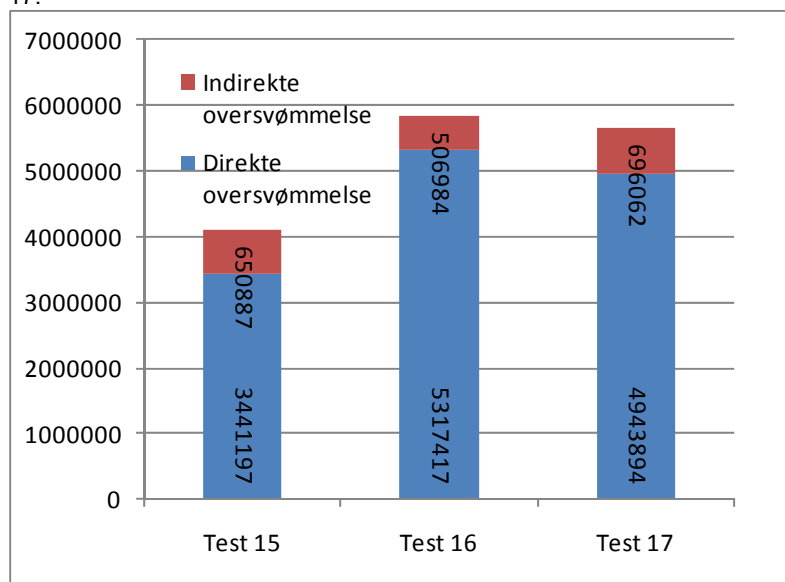


Figur 3-12 Længdeprofil af vandstand for test 15, 16 og 17, der repræsenterer henholdsvis fast anlæg, ådalstopografi fra DTM og ådalstopografi fra DTM plus vandløbstværsnit til beskrivelse af ådalen.

De tilhørende oversvømmede arealer er vist i Figur 14, 15 og 16 i Bilag 5:

Oversvømmelseskort. De totale oversvømmede arealer (både direkte og indirekte) for de tre tests ses af Tabel 3-8

Tabel 3-8 Beregnede oversvømmede arealer i m<sup>2</sup> (direkte og indirekte) for Test 15, 16, og 17.

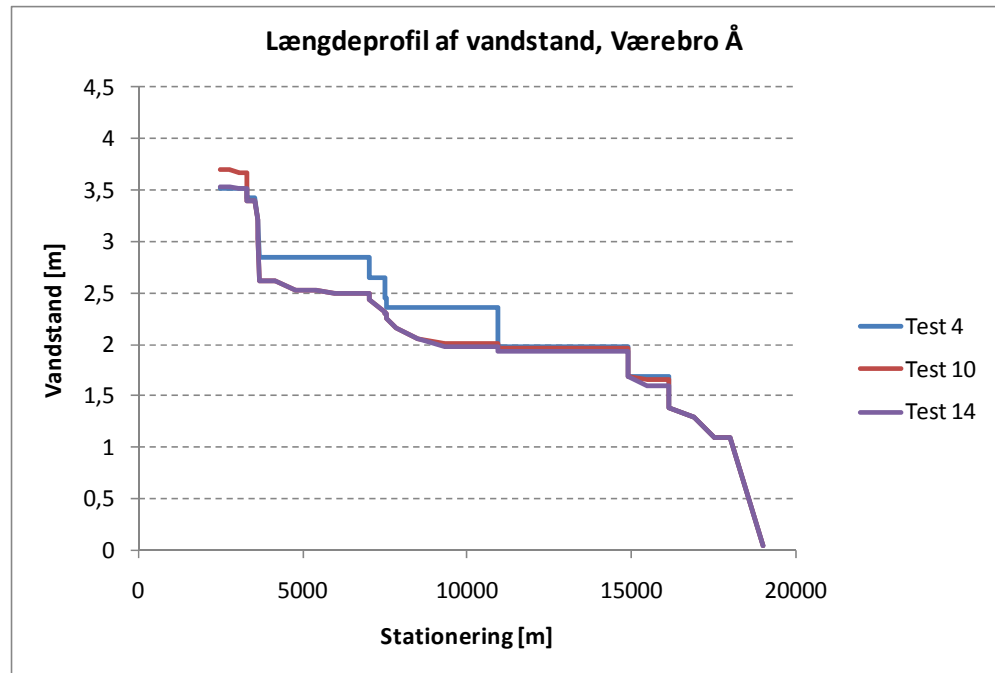


Det ses at forskellen i oversvømmet areal mellem Test 16 og Test 17 ikke er så udtalt som det kunne forventes ud fra længdeprofilerne af vandstand, se Figur 3-12. Dette skyldes, at den anvendte vandføring (q50) så at sige fylder op til kanten af ådalen uanset de øvrige valg. Derfor ses primært en vandstandsstigning.

#### 3.4.1.9 Vurdering af valg af kendskabsniveau for broer, rør, og stryg

Test 4, 10 og 14 har alle samme parametre undtagen kendskabsniveauet for broer, rør og stryg. Test 4 antager maximum/minimum stuvning for broer etc., medens Test 10 og 14 baserer sig på egentlige data for broer etc.

Den resulterende vandstand af de tre tests ses i Figur 3-13. Det ses for det første, at vandstanden for Test 10 og Test 14 er meget tæt på hinanden. Det vil sige, at det detaljerede kendskabsniveau ikke giver et væsentlig anderledes resultat end det udvidede kendskabsniveau. Desuden ses, at antagelsen om maximum/minimum stuvning giver et sammenligneligt resultat som de to øvrige tests på den nedre del af vandløbsstrækningen. I den øvre del af vandløbet giver Test 10 dog et noget højere vandspejl end de to øvrige tests. Her er antagelsen om maximum stuvning (sat til 30 cm) tydeligvis overestimeret.

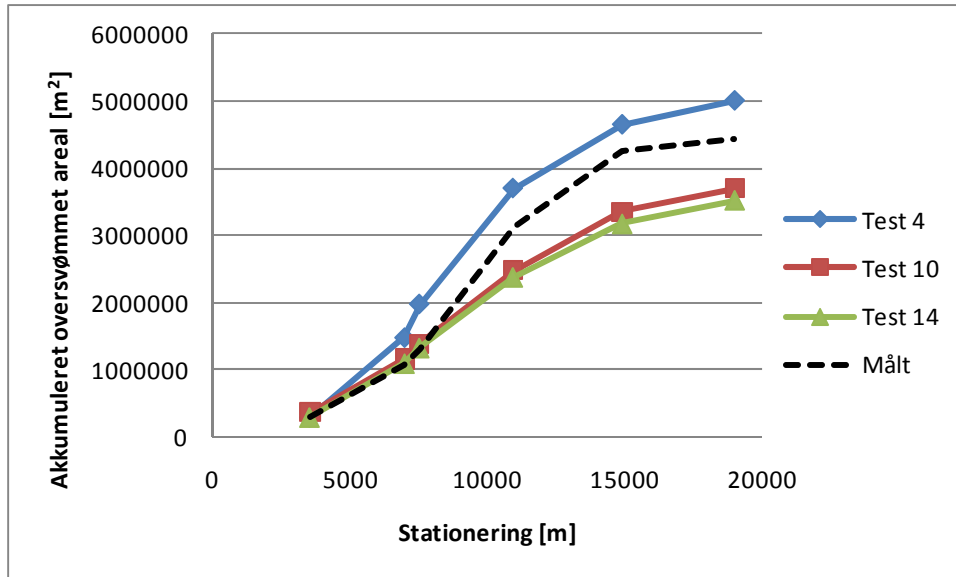


Figur 3-13 Længdeprofil af vandstand for test 4, 10 og 14, der repræsenterer simpelt, udvidet og detaljeret kendskabsniveau for broer, stryg og rør.

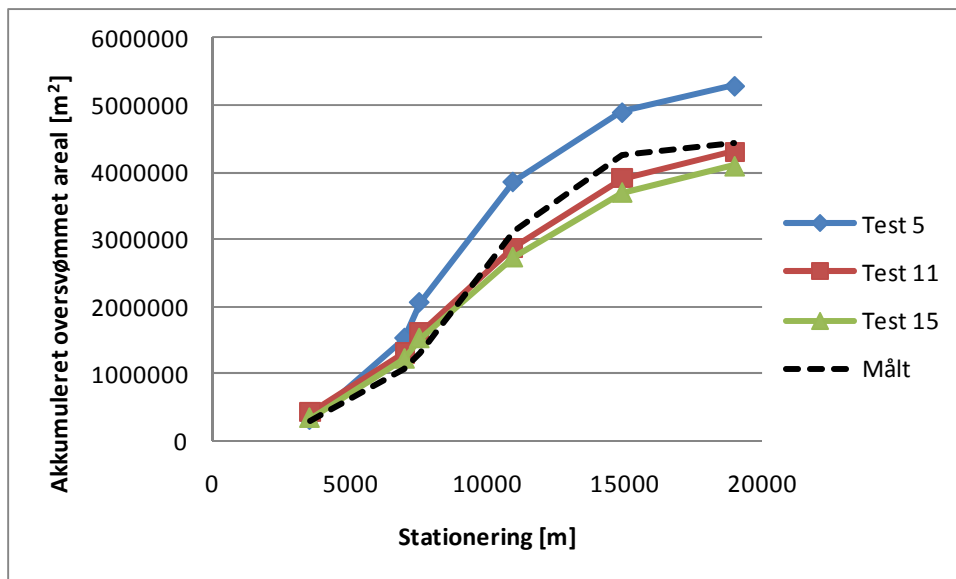
De oversvømmede arealer for de tre tests ses i Figur 4, 9 og 13 i Bilag 5: Oversvømmelseskort.

Test 5, 11 og 15 kan ligeledes sammenlignes, idet forskellen mellem disse tests netop er kendskabsniveauet til broer mv. Forskellen mellem disse tests og Test 4, 10 og 14 er at vandføringen er større ( $q_{50}$ ) i førstnævnte. Længdeprofilerne for test 5, 11 og 15 har samme generelle forløb som profilerne i Figur 3-13.

Analysen er udvidet med plots af det akkumulerede oversvømmede areal som funktion af vandløbsstationeringen. Dette er gjort for henholdsvis test 4, 10, 14 og for test 5, 11 og 15 i Figur 3-14 og Figur 3-15.



Figur 3-14 Akkumuleret oversvømmet areal for Test 4, 10, og 14 samt det opmålte.



Figur 3-15 Akkumuleret oversvømmet areal for Test 5, 11, og 15 samt det opmålte.

Ved sammenligning af Figur 3-14 og Figur 3-15 ses, at testene med maximum/minimum opstuvning (test 4 og test 5) afviger betydeligt fra de øvrige tests. I forhold til det opmålte oversvømmede areal er det i den opstrøms del af vandløbet at de simple tests Test 4 og Test 5 adskiller sig. I den midterste og nedre del af vandløbet er tilvæksten i oversvømmet areal sammenlignelig med den målte.

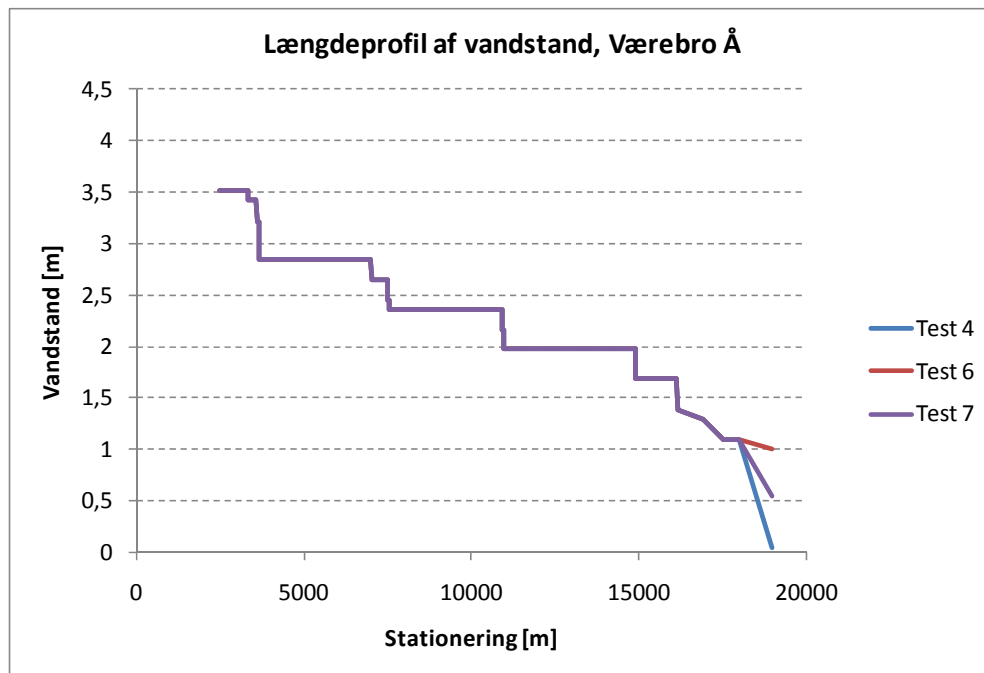
Hvis vandføringen øges (til  $q_{50}$ ) til et niveau, der er mere reelt i forhold til hændelsen i 2007, bliver testene med de detaljerede informationer om broer mere retvisende, se Figur 3-15. Samlet set kan det konkluderes, at hvis det simple niveau med angivelse af maximum/minimum opstuvning vælges, skal stuvningen vurderes ved de enkelte broer.

#### 3.4.1.10 Vurdering af valg af havvandstand

Havvandstanden er varieret på tre niveauer. Test 4 har et havniveau svarende til middelt havniveau, Test 6 har et havniveau svarende til årlig maximum højvande, og endelig indeholder Test 7 en havvandstand svarende til det, der er målt i den periode, hvori oversvømmelsen i juli 2007 foregår.

Længdeprofiler af vandstand for de tre tests ses af Figur 3-16.



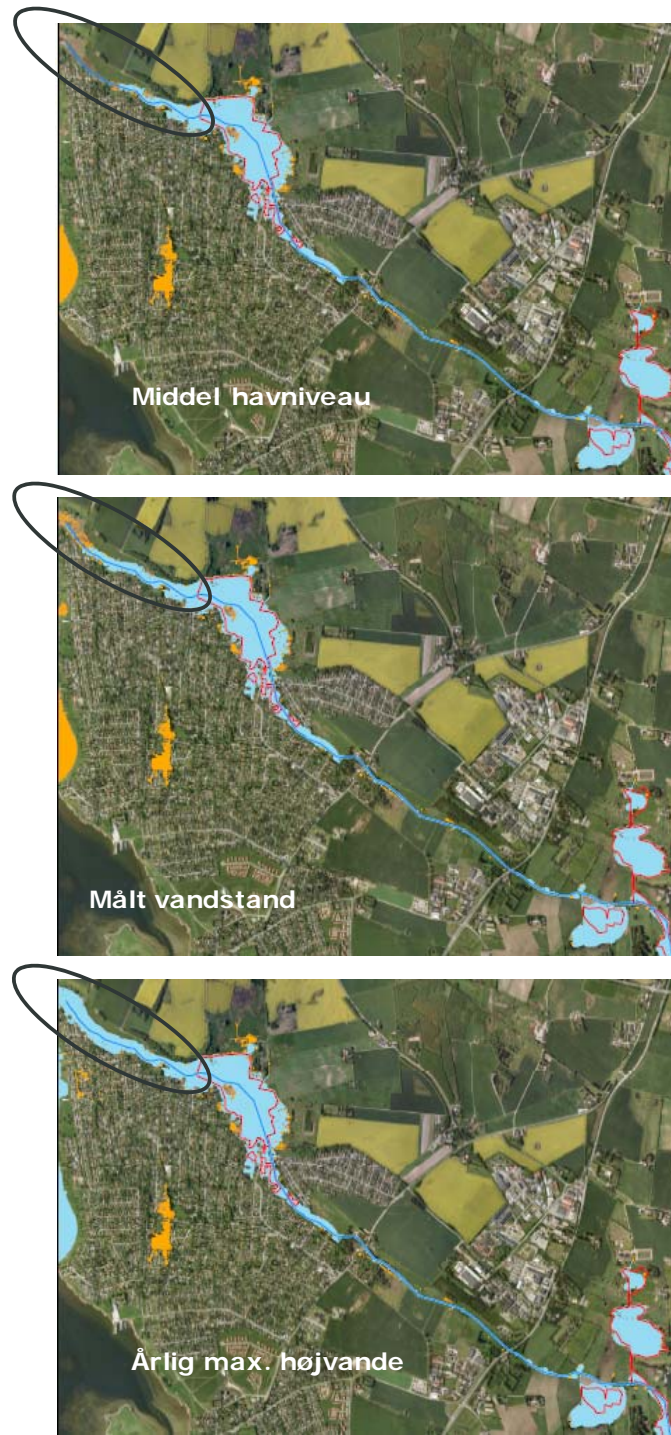


Figur 3-16 Længdeprofil af vandstand for Test 4, 6 og 7.

Det ses af figuren at de valgte havvandstande kun har betydning i den aller yderste del af åen, dvs. ved udløbet til Roskilde fjord. Hvis mere ekstreme vandstande havde været valgt, evt. i forbindelse med en klimafremskrivning af havvandstanden, ville effekten være større.

Oversvømmelsesudbredelsen for de tre tests ses af Figur 4, 6 og 7 i Bilag 5:

Oversvømmelseskort. Oversvømmelsen i den ydre del af åen for de tre tests ses af Figur 3-17. Det ses, at de tre vandstande kun giver en lille forskel i udbredelsen. De arealer, der kortlægges her, vil i mindst samme grad være truet af oversvømmelser ifm højvandshændelser, som er uafhængige af vandføringen i vandløbet.



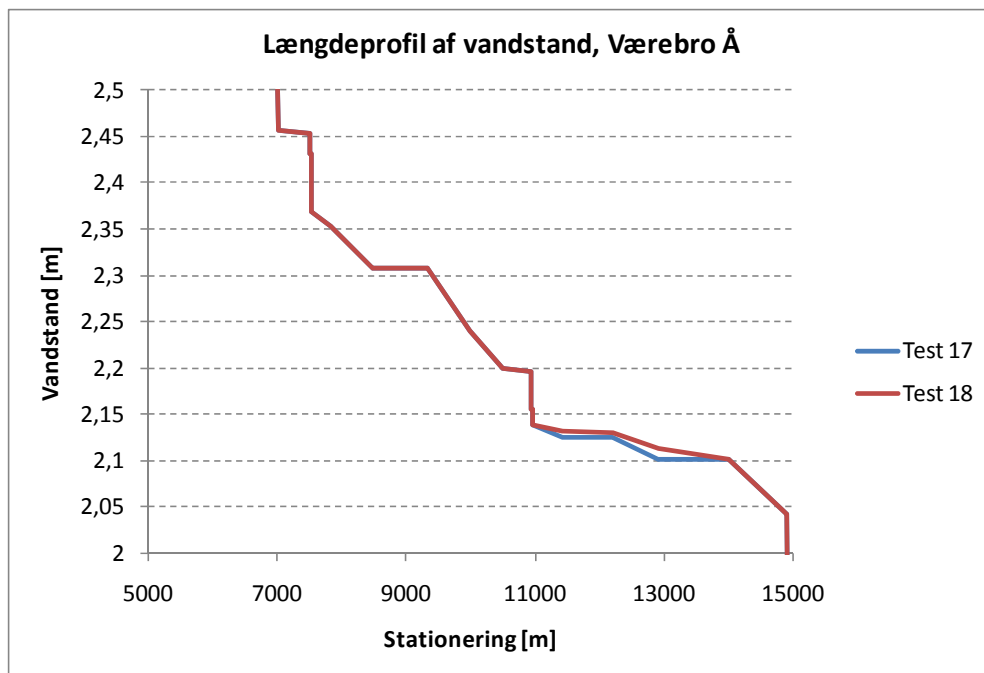
Figur 3-17 Oversvømmelsesudbredelse i den ydre del af Værebros ved Test 4 (top), test 6 (bund) og test 7 (midt).

### 3.4.1.11 Vurdering af valg af vandstandsvariation

Test 1 og 2 antager en konstant hældning på vandspejlet. Disse tests er medtaget for at undersøge, hvor stor en afvigelse, der fås på oversvømmelsesudbredelse og dybde, hvis disse simple antagelser gøres. Test 1 har et horisontalt vandspejl på 3 m, svarende til, at det antages at maximum vandstand i målestation 52.14 er den samme i hele vandløbet. Dette er selvfølgelig en al for grov forenkling af virkeligheden. Test 2 antager en konstant hældning på langs af vandløbet svarende til middelhældningen af de 39 vandløb, der er undersøgt i DMU Fagrapport 340. Denne antagelse er ligeledes en forenkling af virkeligheden, idet opstuvende effekter fra broer mm. ikke kommer med. Figur 1 og 2 i Bilag 5:

Oversvømmelseskort viser oversvømmelsesudbredelsen for Test 1 og Test 2. Det er tydeligt, at oversvømmelsen overestimeres i begge tilfælde.

Et andet forhold der er testet er stuvning. I alle tests undtagen Test 18, er der regnet med lineær interpolation mellem de valgte H-punkter. Test 17 og 18 viser effekten af at inkludere en hydraulisk stuvningsberegning, se Figur 3-18.



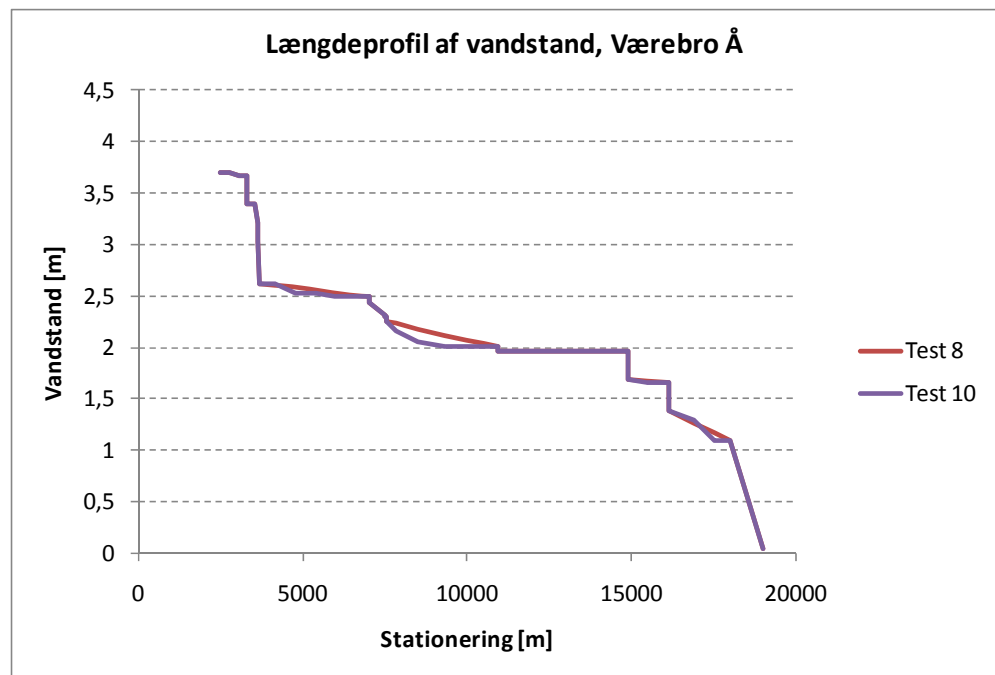
Figur 3-18 Længdeprofil af vandstand for Test 17 (lineær interpolation) og Test 18 (stuvning).

Det ses af Figur 3-18, hvor der er zoomet ind på en del af vandløbet, at forskellen mellem den lineære interpolation og stuvning er ganske få centimeter. Det vurderes

derfor, at til screeningsformål er det fyldestgørende at antage en lineær variation mellem punkter med beregnede vandstande.

### 3.4.1.12 Vurdering af valg af antal H-punkter

Betydningen af antallet af punkter, hvori der beregnet en vandstand, er undersøgt. Test 8 indeholder 44 H-punkter, hvori vandstanden beregnes. Test 10 indeholder ligeledes 44 H-punkter, men der beregnes kun vandstand i 27 punkter. For de resterende punkter interpoleres der lineært mellem nabopunkter.



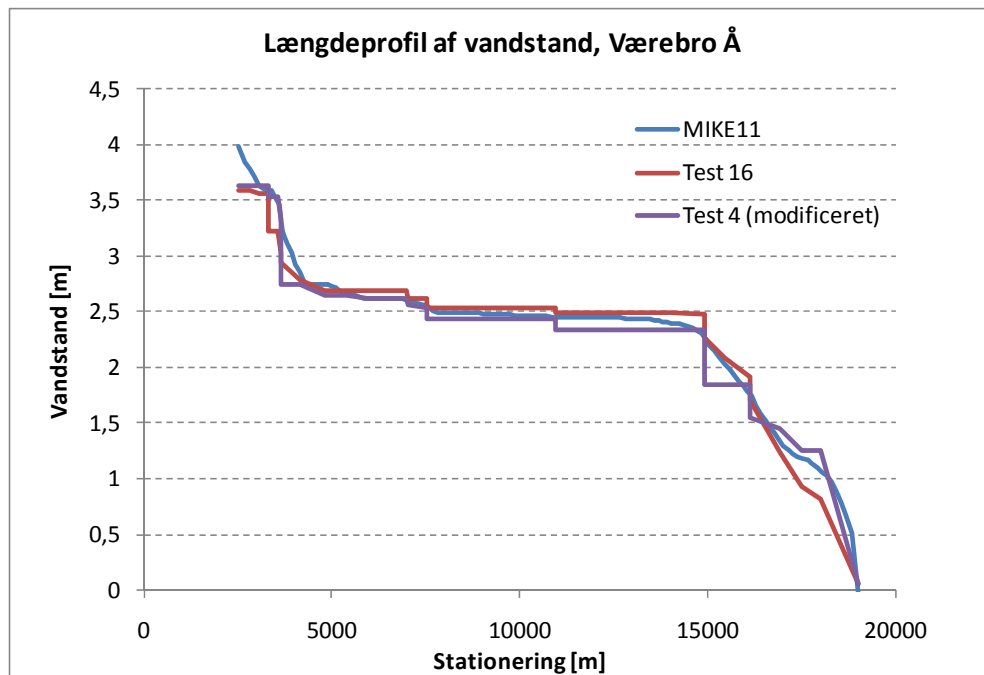
Figur 3-19 Længdeprofil af vandstand i Værebros Å for Test 8 (27 beregnede H-punkter) og Test 10 (44 beregnede H-punkter).

De to tests viser (se Figur 3-19) at der ca. midtvejs på Værebros Å vil være en vandstandsfor­skel på ca. 12 cm. Denne forskel er ikke synlig på oversvømmelseskortene, se Figur 8 og 9 i Bilag 5: Oversvømmelseskort. Det er ikke forsøgt at teste, hvad en yderligere reduktion af punkter med vandstands­beregning vil betyde.

### 3.4.1.13 Beregning med dynamisk hydraulisk model

Som en del af testarbejdet blev der sat en MIKE11 model op for Værebros Å. Formålet med dette var at tilvejebringe en langsgående vandstandsvariation, der ville være opfattet som det mest korrekte. Ved at sammenligne forskellige beregnede oversvømmelseskort med den målte udbredelse, samt ved at analysere vandstandsresultaterne fra MIKE11 blev det indledningsvis vurderet at oversvømmelsen i 2007 ca. svarede til en 50-års hændelse ( $q_{50}$ ). MIKE11 modellen er derfor kørt med denne vandføring og sammenlignet med øvrige tests, der ligeledes har anvendt  $q_{50}$ .

Figur 3-20 viser længdeprofiler af vandstand for testen med MIKE11, sammenlignet med Test 16 og en modificeret udgave af Test 4.



Figur 3-20 Længdeprofil af vandstand i Værebros Å for MIKE11 beregning, Test 16 og modificeret Test 4.

Det ses at resultaterne fra Test 16, som anvender ådalstværsnit og niveau 3 for broer etc., ligger meget tæt på MIKE11 beregningens resultat.

Den modificerede udgave af Test 4 har til forskel fra Test 4 varierende maximum og minimum opstuvning langs vandløbet. Denne test er medtaget for at illustrere, hvor godt en test med simple antagelser kan komme på en beregning, der bedre repræsenterer virkeligheden.

Udfordringen med varierende maximum og minimum opstuvning på langs af vandløbet er, at det vil kræve, at der etableres en sammenhæng mellem maximum/minimum stuvningshøjde og geometrien af broer mv. Det er ikke givet at en sådan sammenhæng vil passe til alle forekommende broer i åsystemer, bl.a. fordi der ved en krafttig oversvømmelse vil være en interaktion mellem oversvømmelsen i ådalen og stuvningen ved broerne. Det skal dog ikke udelukkes, at en hvis sammenhæng kan etableres, og dette er derfor en forbedringsmulighed ved metoden.

De oversvømmede arealer fra Test 16 og testen med MIKE11 ses i Bilag 5:  
Oversvømmelseskort, i henholdsvis Figur 15 og 17.

### 3.4.2 *Stor Å*

#### 3.4.2.1 Beskrivelse af udførte tests

De test der er udført for Storå er vist i Tabel 3-9.

Tabel 3-9 Udførte tests på Storåen

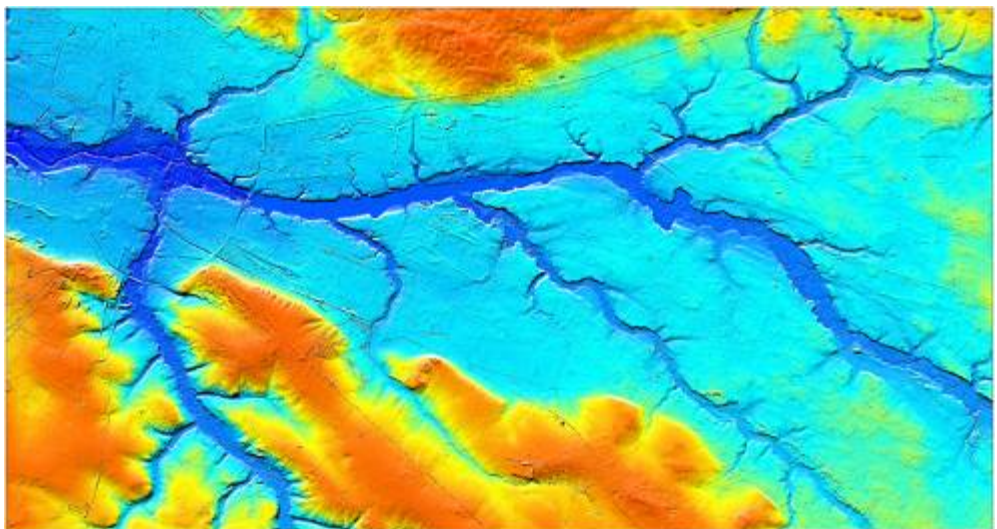
Test nummer ->		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Vandføring Q	1. Et af de 39 oplande															
	2. Sammenligneligt opland															
	3. Parametermodel	• q <sub>100</sub>	• q <sub>100</sub>	• q <sub>100</sub>	• q <sub>100</sub>	• q <sub>100,c</sub>	• q <sub>1000+</sub> +	• q <sub>1000+</sub> +	• q <sub>100,c</sub>	• q <sub>10</sub>	• q <sub>20</sub>	• q <sub>50</sub>	• q <sub>100</sub>	• q <sub>500</sub>	• q <sub>1000</sub>	
	4. Målt tidsserie															
Vandstand H	Ådal	1. Anlæg	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		2. Topografi														
		3. Topografi plus tværsnit				•										
	Bro	1A. Min. opstuvning	•				•	•								
		1B. Max. opstuvning														
		2. Længde og bredde		•												
		3. Bundkote, bredde højde, længde, form			•	•			•	•	•	•	•	•	•	
	Rør	1A. Min. opstuvning	•				•	•								
		1B. Max. opstuvning														
		2. Tværsnitsareal og længde		•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	Overløb /stryg	1A. Minx. opstuvning	•				•	•								
		1B. Max. opstuvning														
		2. Flodemål/kote til kant		•												
		3. Kote og længde af kant			•	•			•	•	•	•	•	•	•	
	Hav	1. Middel havniveau	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2. Årlig max. højvande																
3. Målt																
Vandstand	1. Antagelse om hældning															
	2. Lineær interpolation	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	3. Stuvning															
GIS	1. Få H-punkter															
	2. Mange H-punkter	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	

### 3.4.2.2 Forudgående GIS analyse

Den indledende GIS analyse består i tilvejebringelse af følgende:

- Digital Terræn Model
- Vandløbstema
- Data for betydende broer og styrt.

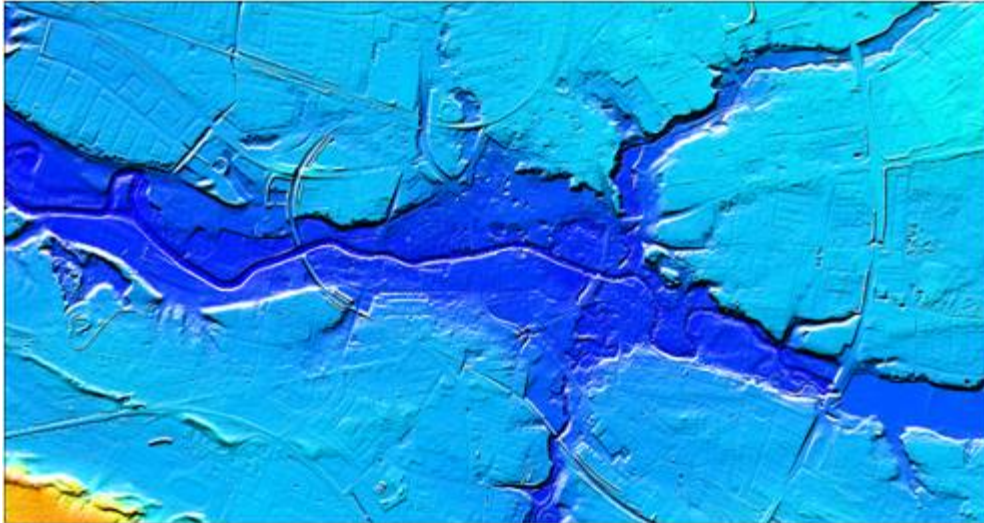
**Digital terrænmodel:** COWI's højdemodel har her været anvendt. Denne har en gridopløsning på 2 m, og en vertikal nøjagtighed på ca. 10 cm. Den digitale terrænmodel dækker dele af ådalen til selve Storå samt dele af Tvis Å og Vegen Å. Der er fokuseret på oversvømmelse i Holstebro by, hvorfor testene kun dækker Storå frem til station 40200 m. Et udsnit af DTM'en for Storå er vist i Figur 3-21.



Figur 3-21 DTM af Storå, Vegen Å og Tvis Å

Figur 3-22 viser et udsnit af Holstebro by fra samme DTM.





Figur 3-22 Udsnit af DTM for Storå.

**Vandløbstema:** Vandløbstemaet består af en shapefil for Storå. Shapefilen er fremkommet ved digitalisering af vandløbet ud fra ortofoto og digitale kort.

**Data for broer etc.:** Data for betydende broer mv. (se Tabel 3-10) er fremdraget via vandløbsregulativet for Storå, fra det tilgængelige ortofoto af Åen, og supplerende information fra Holstebro kommune.

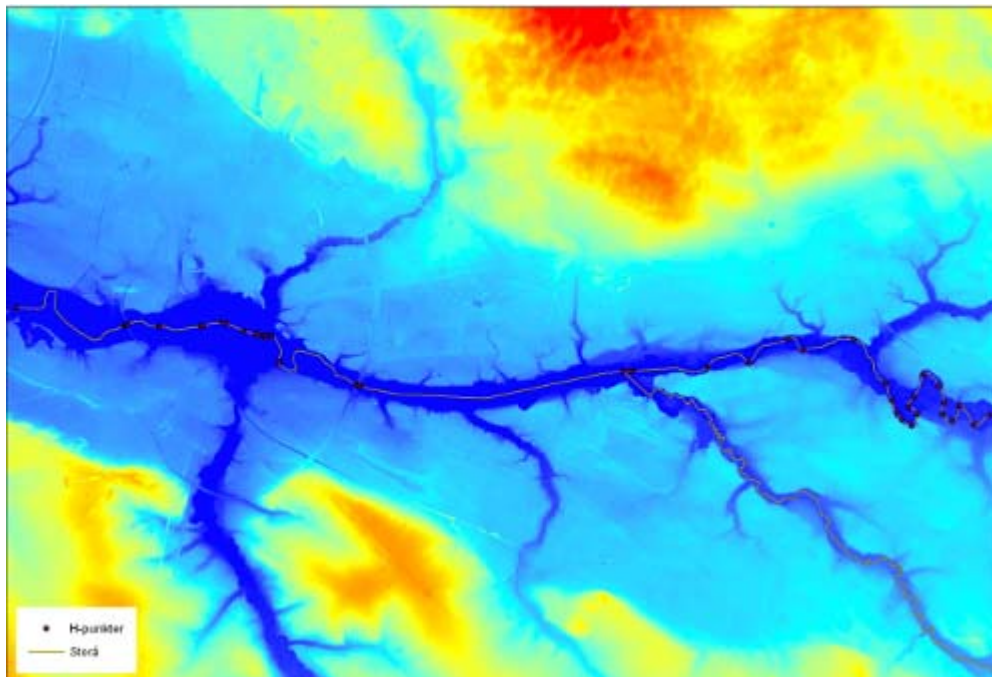
Tabel 3-10 Betydende broer mv. nedstrøms vandkraftsøen til station 40.200 m

Navn	Type	Stationering
Dæmning	Overfald	35435
Gangbro v. Norgesvej	Bro	36512
Gangbro v. Sveavej	Bro	36779
Østerbrogade	Bro	36847
Sønderbrogade	Bro	36914
Gangbro v. Vigen	Bro	37003
Brotorvet	Bro	37113

Sønderbrogade	Bro	37241
Vesterbrogade	Bro	37862
Jernbanen	Bro	38190
Gangbro v. renseanlæg	Bro	38214

**H-punktstema:** For hver test er der lavet et H-punktstema, som indeholder oplysninger om position, stationering samt data for broer, bygværker mv. De H-punkter der er udpegede er vist i

Figur 3-23. Der er i alt 93 H-punkter dækkende heleåen, og 26 H-punkter fra vandkraftsdæmningen og ned til station 40200 m.



Figur 3-23 H-punkter og vandløbsskæpfil lagt ovenpå DTM for Storå

Et eksempel på H-punktsfil er vist i Tabel 3-11.

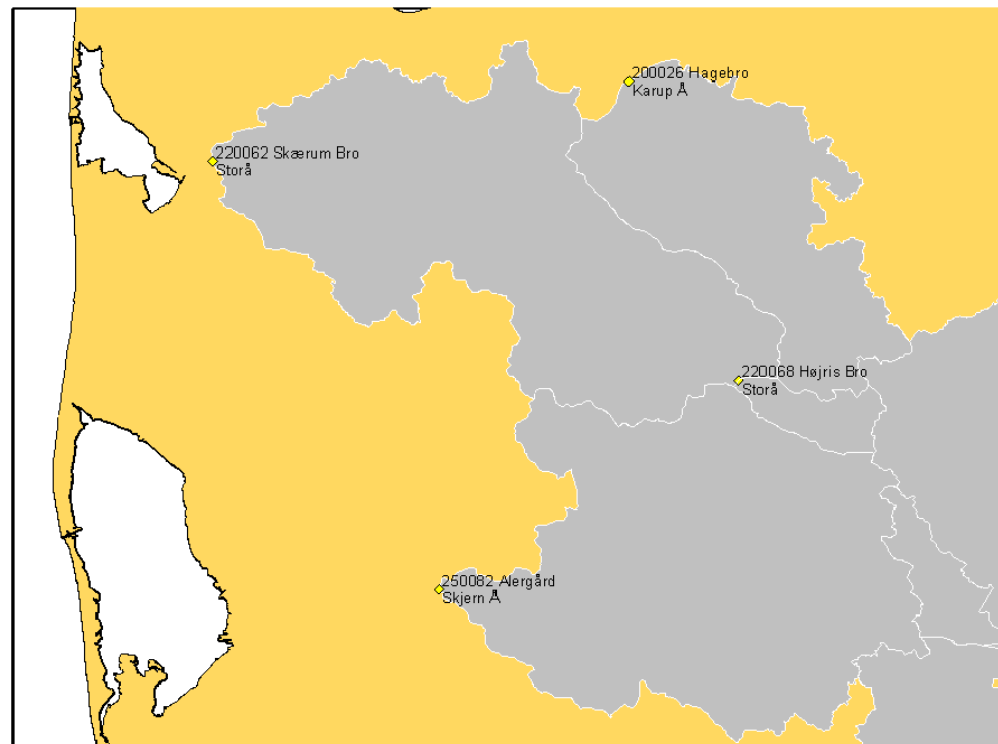
Tabel 3-11 Eksempel på H-punktsfil for Storå (Test 1).

X	Y	Station	Type_ID	Kendskab	H	Opland	VSP	Bro_kote	H_brink	K2_Bro_TS	K2_BV_L	K3_Slug	K3_Højde	K2_ror_dia	K2_FM_OK	K3_OK_L
474475,90	6246032,40	40200	0	1	0,00	822,5	0,00	0,00	7,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
475482,94	6245866,06	38216	0	1	0,00	822,0	0,00	0,00	7,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
475485,54	6245867,02	38214	1	1B	0,00	820,0	0,00	10,10	7,70	60,00	2,00	20,00	4,00	0,00	0,00	0,00
475505,79	6245874,95	38196	0	1	0,00	820,0	0,00	0,00	7,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
475511,13	6245877,14	38190	1	1A	0,00	820,0	0,00	16,00	7,70	105,00	6,00	21,00	5,00	0,00	0,00	0,00
475802,14	6245861,20	37877	0	1	0,00	820,0	0,00	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
475814,81	6245860,91	37862	1	1A	0,00	820,0	0,00	10,30	8,50	150,00	20,70	30,00	5,00	0,00	0,00	0,00
476193,98	6245860,61	37261	0	1	0,00	820,0	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
476214,49	6245863,84	37241	1	1A	0,00	820,0	0,00	11,30	9,00	175,00	20,00	35,00	5,00	0,00	0,00	0,00
476394,30	6245895,81	37130	0	1	0,00	820,0	0,00	0,00	8,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
476421,42	6245890,11	37113	1	1A	0,00	820,0	0,00	11,00	8,20	150,00	28,00	25,00	5,00	0,00	0,00	0,00
476587,74	6245818,96	37005	0	1	0,00	785,0	0,00	0,00	8,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
476590,85	6245817,40	37003	1	1B	0,00	785,0	0,00	8,00	8,20	60,00	2,00	20,00	4,00	0,00	0,00	0,00
476699,75	6245786,55	36935	0	1	0,00	785,0	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
476720,45	6245780,77	36914	1	1A	0,00	767,0	0,00	8,10	8,00	140,00	21,20	20,00	4,00	0,00	0,00	0,00
476772,49	6245769,43	36857	0	1	0,00	767,0	0,00	0,00	8,40	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
476782,64	6245770,79	36847	1	1A	0,00	767,0	0,00	8,40	8,40	120,00	10,10	21,00	4,00	0,00	0,00	0,00
476790,90	6245771,32	36833	0	1	0,00	767,0	0,00	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
476841,12	6245775,19	36783	5	1A	0,00	767,0	0,00	0,00	9,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,20	50,00
476845,72	6245773,09	36781	0	1	0,00	767,0	0,00	0,00	8,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
476848,02	6245771,94	36779	1	1B	0,00	767,0	0,00	8,50	8,30	60,00	0,00	20,00	4,00	0,00	0,00	0,00
476914,87	6245532,67	36514	0	1	0,00	767,0	0,00	0,00	8,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
476914,81	6245530,73	36512	1	1B	0,00	767,0	0,00	12,20	8,60	60,00	2,00	20,00	3,00	0,00	0,00	0,00
477635,18	6245319,09	35458	0	1	0,00	766,0	0,00	0,00	11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
477653,98	6245310,80	35438	1	1A	0,00	766,0	0,00	13,00	11,50	130,00	8,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00
477673,62	6245301,99	35435	5	1A	0,00	766,0	0,00	0,00	14,20	0,00	8,00	0,00	0,00	13,70	16,00	16,00

### 3.4.2.3 Tilvejebringelse af vandføring

Der eksisterer ikke målinger for vandføringen under de store oversvømmelses-hændelser i 1970 og 2007, hvorfor en ekstrem vandføring må fremskaffes ved fra enten sammenlignelige oplande, ved hjælp af statistik, eller ved hjælp af 9-parametermodellen udviklet i dette projekt. En vurdering fra Holstebro kommune (personlig kommunikation med Flemming Kofoed) angiver, at vandføringen under 2007 oversvømmelsen var et sted mellem 60 og 65 m<sup>3</sup>/s nedstrøms vandkraftsøen. Et tidligere studie (COWI, 2009) angiver, at vandføringen nedstrøms vandkraftsøen var mellem 75 og 85 m<sup>3</sup>/s under hændelsen i 1970. I det følgende beskrives, hvordan de vandføringer, der er anvendt i Storå, er fremkommet.

**Q fra sammenligneligt opland:** De nærmeste oplande til Storå, som DMU i FR340 har undersøgt, er Karup Å (200026 Hagebro) og Skjern Å (250082 Alergård). Oplandene er vist på Figur 3-24.



Figur 3-24 Mulige referenceoplande til Storå.

De vigtigste variable er vist i Tabel 3-12.

Det ses, at oplandet til Storå (Station 220062) ligner oplandene til de to stationer Karup Å og Skjern Å, som derfor begge er mulige referenceoplände. Der er meget stor forskel på  $q_{100}$  (og  $q_{1000}$ ) for de to referenceoplände, og hvis der ikke var data for Storå, ville det derfor være naturligt at bruge gennemsnittet af værdierne for Karup Å og Skjern Å som skøn. Det bemærkes, at FR340 Bilag 8 viser, at der er noget større usikkerhed på bestemmelsen af afstrømningen fra Skjern Å end for de andre stationer. Dette kunne tale for at lægge mere vægt på Karup Å end på Skjern Å.

Tallene for Skjern Å viser i øvrigt betydeligt større forskel på  $q_{100}$  og  $q_{1000}$ , mens  $q_{1000}$  for de andre stationer kun er lidt større end  $q_{100}$ .

Tabel 3-12 Sammenligning af Storå med referenceopländene Karup Å og Skjern Å

Station	Fald	Opland fald	Våde omr	Skov	Areal	Længde	$q_{100}$	$q_{1000}$
nr	‰	‰	%	%	km <sup>2</sup>	km	l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>	l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>
200026 Karup Å	0,9	2,8	5,2	24,5	518	63,1	37	39
250082 Skjern Å	0,9	3,0	5,5	22,4	1051	63,2	119	192
220062 Storå	0,8	2,8	4,5	14,4	1092	100,4	82	84

**Q fra parametermodel:** Modellen med 9 variable giver  $67 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  for  $q_{100}$  og  $69 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  for  $q_{1000}$ . Det første tal er således tæt på gennemsnittet af de to referencestationer.

**Q fra statistisk beregning:** To metoder er anvendt til estimeringen af  $q_{100}$  og  $q_{1000}$ , nemlig Gumbels metode og Generaliseret Ekstrem Værdimetode (GEV).

Afstrømningen i Storå er behandlet statistisk i FR340, og de beregnede parametre i den generaliserede ekstremværdifordeling ligger til grund for beregningerne af afstrømningerne for Storå. Der fås en  $q_{100}$  på  $82 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  og en  $q_{1000}$  på  $84 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ .

Anvendes i stedet Gumbels metode fås  $67 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  for  $q_{100}$  og  $84 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  for  $q_{1000}$ . Det ses derfor at  $q_{100}$  vurderet med henholdsvis Gumbels metode og 9-parameter modellen giver samme resultat. I testene med  $q_{100}$  er Gumbels metode derfor anvendt.

**Øvrige vandføringer:** Der er anvendt en klimafremskrivning af  $q_{100}$  i enkelte tests. Denne fremskrivning er valgt til 15 % (som værende middel mellem det anbefalede interval på 0-30%).

Herudover er der lavet tests med vandføringer med forskellig gentagelseshyppighed. Disse vandføringer er fremkommet ved hjælp af Gumbels metode.

Resultatet ses i

Tabel 3-13.

Tabel 3-13 Beregnede specifikke afstrømninger for Storå for forskellige gentagelseshyppigheder. Gumbels metode er anvendt.

Gentagelseshyppighed [år]	Afstrømning $q$ [ $\text{l/s/km}^2$ ]
2	35.5
10	49.5
20	54.9
50	61.8
100	67.0
500	79.0
1000	84.1

#### 3.4.2.4 Bestemmelse af vandstand

Vandstandene i Storå testene er bestemt via vandføringen ud fra de principper, der er beskrevet i metodeafsnittet.

En direkte anvendelse af målte vandstande i Storå ville være at projicere disse ud i terræn for at generere et oversvømmelseskort. Dette vil være muligt for både hændelsen i 1970 og den i 2007, idet højeste vandstand er målt. Imidlertid er oversvømmelsesudbredelsen i 2007 vurderet udfra koten svarende til netop højeste vandstand. Det betyder, at en sammenligning mellem målt og beregnet oversvømmet areal kun vil være en test på, hvor god den anvendte højdemodel er. For hændelsen i 1970 er der det specielle forhold, at det opmålte oversvømmede areal nedstrøms vandkraftsøen er påvirket af åens forløb for omlægning af denne.

På baggrund af dette er det valgt at teste metoden i sin helhed, som derfor betyder at vandstanden bestemmes udfra vandføringen.

#### 3.4.2.5 Vandstandens langsgående variation

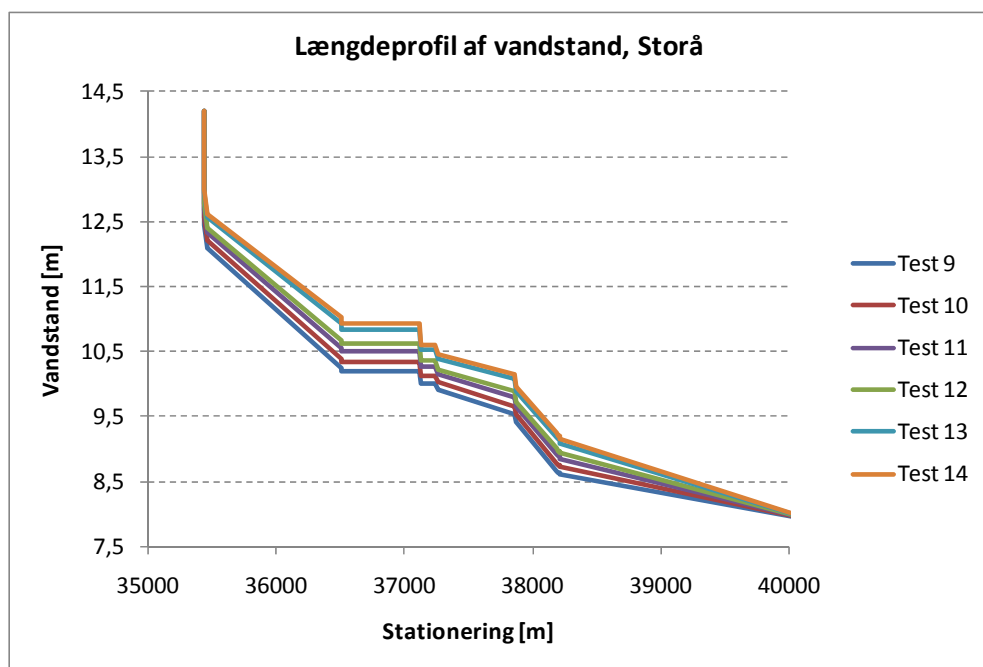
Den langsgående variation af vandstanden illustreres bedst ved at plote længdeprofiler af beregnede vandstande. Der eksisterer ikke sådanne målte profiler for Storå for de ekstreme afstrømninger i 1970 og 2007. På baggrund af et tidligere studie (COWI, 2009) kan resultater fra en MIKE11 model fremskaffes. Disse resultater er næstbedst i forhold til målinger og kan derfor bruges til at sammenligne med metodens længdeprofiler.

#### 3.4.2.6 Oversvømmelseskort

En opmåling af det oversvømmede område under hændelsen i 1970 er tilvejebragt af Holstebro kommune. Dette kort er blevet digitaliseret så det forefindes som polygonformat i ArcGIS. De forskellige tests i metoden er sammenlignet med dette oversvømmelseskort, hvor dette giver mening. Oversvømmelseskortene er alle placeret i Bilag 6: Oversvømmelseskort, Storå. I de følgende afsnit henvises til de relevante oversvømmelseskort.

#### 3.4.2.7 Vurdering af valg af vandføring

Betydningen af valget af vandføring er vurderet ud fra resulterende længdeprofiler af vandstand samt plots af oversvømmet areal. Længdeprofiler af vandstande svarende til vandføringer på 49.5 ( $q_{10}$ ), 54.9 ( $q_{20}$ ), 61.8 ( $q_{50}$ ), 67.0 ( $q_{100}$ ), 79.0 ( $q_{500}$ ) og 84.1 ( $q_{1000}$ )  $\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  er vist på Figur 3-25.



Figur 3-25 Beregnet vandstand for Test 9-14 svarende til  $q_{10}$ ,  $q_{20}$ ,  $q_{50}$ ,  $q_{100}$ ,  $q_{500}$  og  $q_{1000}$ .

Det ses, at forskellen mellem højeste ( $q_{1000}$ ) og laveste ( $q_{10}$ ) vandstand er ca. 60 cm. Forskellen mellem vandstanden for  $q_{50}$  og  $q_{100}$  er ca. 10 cm.

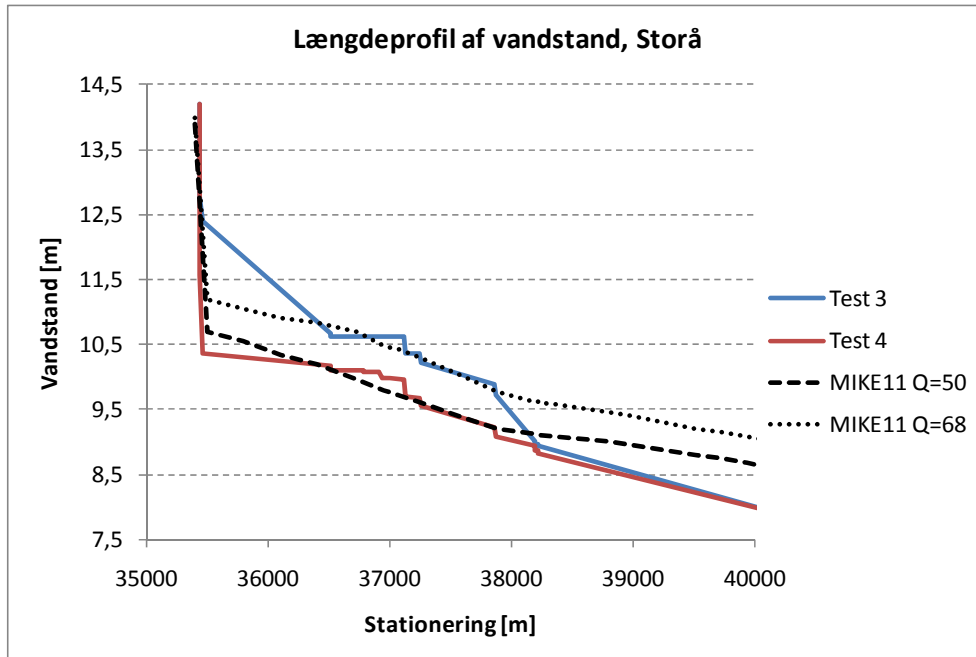
Figur 9 i Bilag 6: Oversvømmelseskort, Storå viser oversvømmelsesudbredelsen svarende til  $q_{10}$ ,  $q_{100}$  og  $q_{1000}$ . Det ses, at der ikke er stor forskel på udbredelsen mellem de to sidstnævnte.

#### 3.4.2.8 Vurdering af valg af topografi

Valget af topografibeskrivelse for ådalen er anskueliggjort ved Test 3 og 4. I begge tilfælde er vandføringen  $q_{100}$ , og kendskabsniveauet til broer mv. er detaljeret. Figur 3-26 viser længdeprofiler af vandstanden for Test 3 og Test 4, samt for beregninger med MIKE11 med en vandføring på henholdsvis 50 og 68  $\text{m}^3/\text{s}$ . Test 3 og 4 er kørt med en vandføring på 67  $\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ , hvilket umiddelbart nedstrøms



vandkraftsøen svarer til ca.  $51 \text{ m}^3/\text{s}$ . Derfor giver det kun mening at sammenligne Test 3 og 4 med MIKE11 kørslen med  $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$  (den stiplede linie).

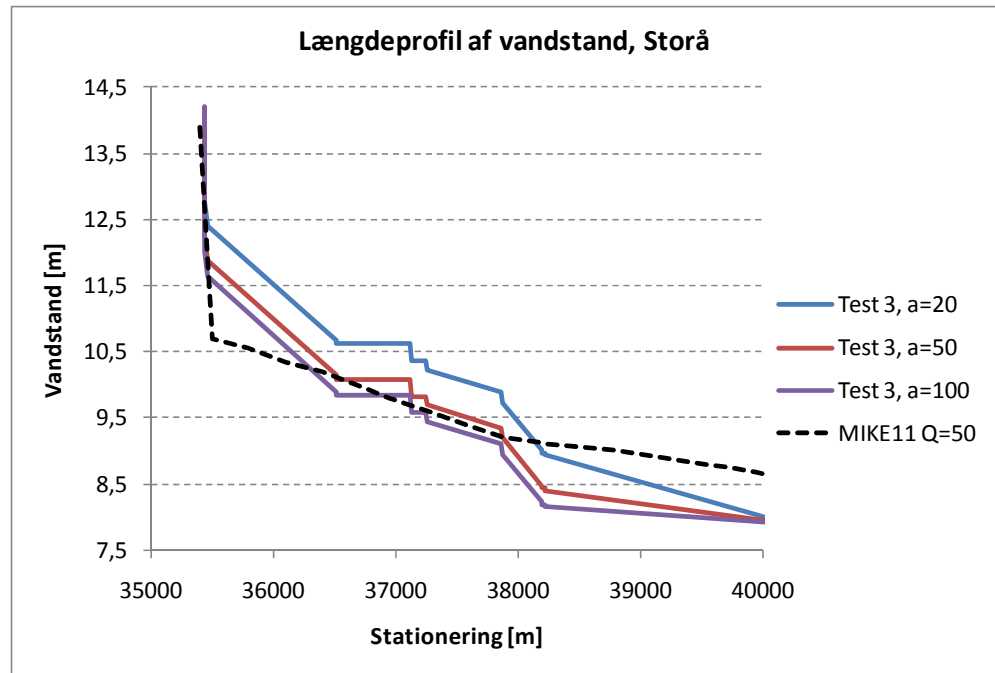


Figur 3-26 Længdeprofiler af vandstand for Test 3 (fast anlæg) og Test 4 (ådalstværsnit).

Der er betydelig forskel på vandstanden, om man antager et fast anlæg (Test 3) eller tager ådalstopografien med (Test 4). Da MIKE11 kørslen med tilsvarende vandføring giver et vandspejlsprofil, der ligger tæt på Test 4, må det antages - som forventet - at det er mere retvisende at tage ådalstopografien med.

Den nedre del af å-strækningen (fra ca. 38.500 til 40.200 m) er influeret af vandstanden ved nedre rand. Denne er ikke præcist sat for Test 3 og 4, hvorfor denne del af vandspejlet ikke er retvisende. På den øvre del (dvs. fra 35.500 til 36.500 m) giver Test 3 et urealistisk vandspejl.

MIKE11 beregningen med  $Q=68 \text{ m}^3/\text{s}$  svarer til en gentagelseshyppighed større end 1000 år ( $q=89 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ). Når vandspejlet er sammenfaldende med Test 3 fra station 35.500 m til ca. 38.000 m viser det, at antagelsen om fast anlæg på 1:20 i Test 3 ikke kan anvendes. Anvendes i stedet et anlæg på 1:50 og 1:100 fås vandspejl som vist i Figur 3-27.



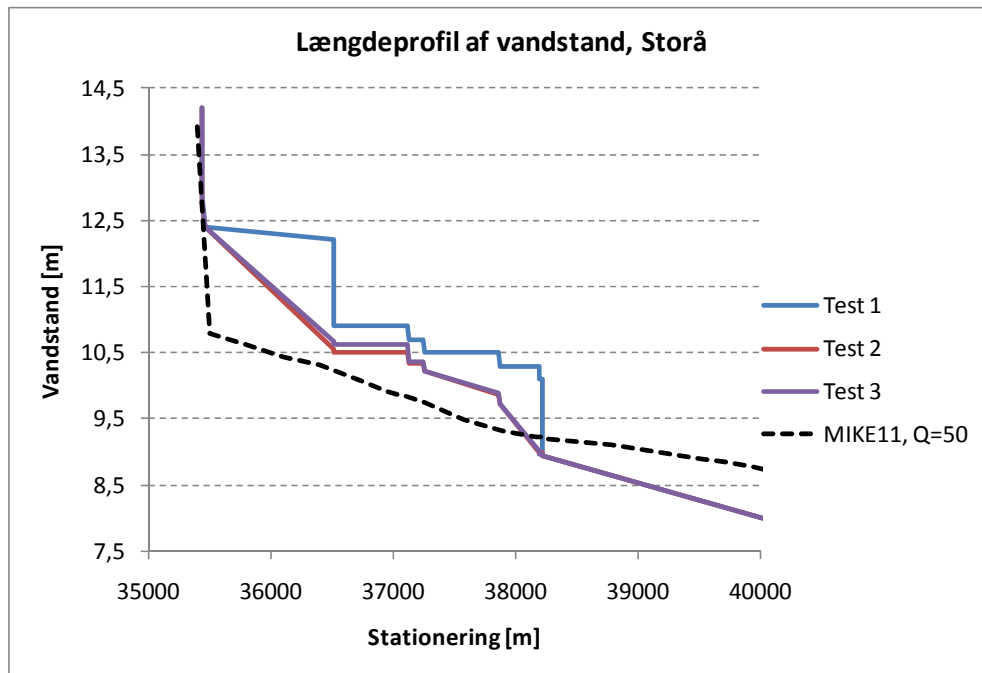
Figur 3-27 Længdeprofil af vandstand for forskellige anlæg af ådal samt MIKE11.

På strækningen nedstrøms vandkraftsøen optræder der hældninger af topografien på mellem 50 og 100. Det kan derfor konkluderes at vandspejlet er følsomt overfor valg af anlæg, og at der på delstrækninger kan opnås et retvisende resultat. Det kan endvidere konkluderes, at den nederste rand har væsentlig betydning for vandstandsvariationen.

De tilhørende oversvømmede arealer for Test 3 og 4 er vist i Figur 3 og 4 i Bilag 6: Oversvømmelseskort, Storå.

#### 3.4.2.9 Vurdering af valg af kendskabsniveau for broer, rør, og stryg

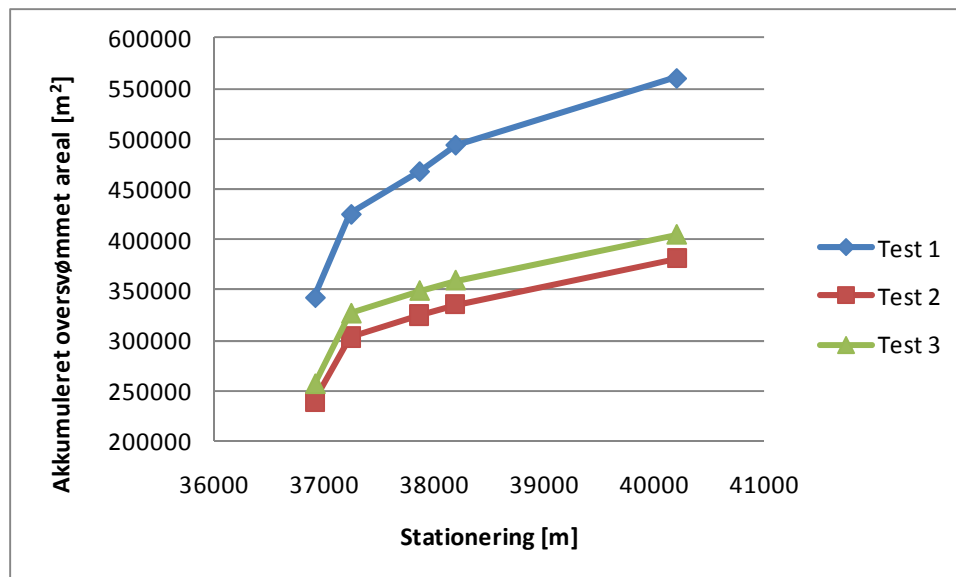
Resultater af test med forskelligt kendskabsniveau for broer mm. ses i Figur 3-28.



Figur 3-28 Længdeprofil af vandstand for Test 1, 2 og 3 samt for MIKE11.

Ved ændring af anlæg fås ingen effekt på test 1. Dette tyder, på at den maximale opstuvning dominerer både vandføring og ådalsbeskrivelse. Ved at lade den maximale og minimale opstuvning variere langs vandløbet vil det kunne lade sig gøre at sænke vandspejlet, så det i nogen grad kommer til at ligne profilerne for test 2 og 3, hvor kendskabsniveauet for broer mm. er størst. Ulempen ved dette er, at det enten kræver et lokalt kendskab til broernes stuvning, eller at en generel sammenhæng mellem stuvningshøjde og broens dimensioner haves.

Det ses endvidere af Figur 3-28 at udvidet og maksimalt kendskab til broer mm. giver et næsten ens resultat. Figur 3-29 viser det akkumulerede oversvømmede areal for de tre tests som funktion af stationering. Det ses, at test 2 og 3 ligger tæt på hinanden, hvorimod test 1 giver et mærkbart større areal. Selvom det oversvømmede areal opstrøms vandkraftsøen var ens for alle tre tests, ville test 1 stadig give et mærkbart højere areal nedstrøms søen.



Figur 3-29 Akkumuleret oversvømmet areal for Test 1, 2 og 3.

De oversvømmede områder for Test 1, 2 og 3 ses af Figur 1, 2 og 3 i Bilag 6:

Oversvømmelseskort, Storå. Det skal bemærkes, at den nederste del af den viste strækning af Storå'en ikke giver så stort et oversvømmet areal som den målte i 1970. Dette skyldes primært to forhold: det ene er, at nedstrøms vandstand er sat for lavt i forhold til vandføringen ( $q_{100}$ ). Det andet er, at åen er blevet omlagt efter 1970, hvilket påvirker topografien så oversvømmelser får en anden udbredelse end tidligere.

#### 3.4.2.10 Vurdering af øvrige parametre

Havvandstanden er ikke relevant for de udførte tests på Storåen. Havvandstanden har dog samme betydning som den nedstrøms vandstand. Den nedstrøms vandstand er sat til en fast værdi for alle tests, og en vurdering af dens indflydelse på oversvømmelsen har derfor ikke været gennemført.

Desuden er den langsgående vandstand antaget at variere lineært for alle tests. Der er ikke lavet test med stuvning mellem H-punkterne.

Tilsvarende er der ikke varieret på antallet af H-punkter i GIS-modellen.

### 3.5 Rangordning af parametre

De overordnede parametre i metoden giver forskelligt udslag på resultatet i form af vandstand og udbredelse af oversvømmelse. Ved gennemgang af resultaterne fra de to testvandløb Værebros Å og Storå, fås følgende rangordning af parametre (mest betydende først):





1. Vandføring
2. Ådalstopografi
3. Kendskabsniveau for broer, overløbsbygværker og rørunderføringer
4. Havvandstand
5. Opløsning af H-punkter
6. Langsgående vandstandsvariation.

Det kan diskuteres om ådalstopografi og kendskabsniveau til broer mm. skal byttes om i rangordningen. Når det forholder sig sådan, er det fordi det simpleste niveau for broer mm. giver en meget højere vandstand end de øvrige niveauer.

Vandstanden er styret af den maximale stuvning som er sat for højt i metoden. Da det frarådes at bruge denne del af metoden, tillægges kun de avancerede niveauer for broer mm. betydning, og samlet set kommer rangen derfor efter ådalstopografien.

### 3.6 Sandsynligheds- og sandsynlighedskortlægning

Der er efterhånden enighed om at betegnelsen oversvømmelsesrisiko er sandsynligheden for oversvømmelse ganget med omkostningerne forbundet med oversvømmelse. Figur 3-30 illustrerer meget præcist betydningen af de to faktorer i relation til oversvømmelsesrisiko. Figuren dækker spændet fra en situation med lav sandsynlighed for oversvømmelse og små omkostninger forbundet hermed, til den modsatte situation, hvor der er tale om høj sandsynlighed for oversvømmelse i kombination med høje omkostninger forbundet med oversvømmelse.

<b>Høj sandsynlighed</b> <b>Store konsekvenser</b>	<b>Høj sandsynlighed</b> <b>Små konsekvenser</b>
	
<b>Lille sandsynlighed</b> <b>Store konsekvenser</b>	<b>Lille sandsynlighed</b> <b>Små konsekvenser</b>
	

Figur 3-30 Risikosituationer. Kilde: Rijkswaterstaat, The Netherlands. Fra [www.floodsite.net](http://www.floodsite.net)

Både sandsynligheden og omkostningerne kan optegnes som tematiske lag i GIS, og risikoen kan herefter opgøres som multiplikationen af disse. Herved gøres ideen bag Figur 3-30 operationel, idet en egentlig kvantificering af oversvømmelsesrisiko kan foretages.

Risiko som målparameter er en både fornuftig og praktisk størrelse, da forskellige løsningstiltag let vil kunne sammenlignes, og det kan vurderes om oversvømmelsesrisikoen ændrer sig væsentligt ved et givet tiltag. Udover at undersøge risikoen af forskellige tiltag kan denne også opgøres for nuværende og fremtidige klimatiske forhold.

Oversvømmelseskort svarende til vandføringer med givne gentagelseshyppigheder udgør grundlaget for at udarbejde sandsynlighedskort. F.eks. svarer en gentagelseshyppighed på 100 år til en sandsynlighed på 1 %, og en gentagelseshyppighed på 1000 år svarer til en sandsynlighed på 0.1 %.

Ved at optegne konturerne fra flere oversvømmelseskort på samme kort fås derfor et samlet kort over sandsynlighed for oversvømmelse. Sådanne kort er produceret for både Værebros Å og Storå som en del af dette projekt. Kortene fremgår af Figur 22 i Bilag 5: Oversvømmelseskort, Værebros Å og Figur 9 i Bilag 6:

Oversvømmelseskort, Storå.

## 4 Vurdering af metodens styrker og svagheder

### 4.1 Metodens styrker

Den udviklede metode har følgende styrker:

- Metoden kan anvendes med en beskedent indsats i forhold til traditionelle oversvømmelsesstudier med dynamiske vandløbsmodeller
- Metodens simple niveauer giver rimelige resultater
- Metodens avancerede niveauer giver gode resultater, som er sammenlignelige med resultaterne fra dynamiske modeller
- Metoden er anvendelig til screening af oversvømmelsestruede arealer langs vandløb
- Metodens resultater er tilgængelige i form af rapport på Miljøstyrelsen hjemmeside
- Metoden er ikke knyttet til noget bestemt software, men kan anvendes af alle interesserede ved at følge de beskrevne principper.

### 4.2 Metodens svagheder

Den udviklede metode har følgende ulemper:

- Hvis de mest avancerede niveauer anvendes for hvert trin i metoden er indsatsen næsten af samme størrelsesorden, som hvis en dynamisk vandløbsmodel sættes op
- Metoden er begrænset til vandløbsstrækninger, hvor der ikke er avanceret regulering (sluser, pumper, temporær og styret magasinering mm.) af det oversvømmede vand.

### 4.3 Anbefalinger

#### 4.3.1 Anbefalinger ved anvendelse af metoden

Det anbefales at anvende en ekstrem vandføring, f.eks. q100. Denne vandføring vil give en tilpas stor variation af oversvømmelsesudbredelsen langs vandløbet til at vurdere potentialet for oversvømmelse.



Det anbefales generelt at anvende metodens simpleste niveau for ådalsbeskrivelse i kombination med metodens mere avancerede niveauer for broer, overløbsbygværker og rørunderføringer.

Det forbedrer ikke metodens resultater væsentligt at udvide ådalstopografien med en beskrivelse af vandløbstværsnit. Ligeledes giver det ikke væsentlig anderledes resultater, hvis stuvning medtages i forhold til en antagelse om lineær variation af vandspejlet. Det anbefales derfor at udelade disse avancerede dele ved screening af oversvømmelsesrisiko.

Det anbefales at anvende et passende højt antal H-punkter til beskrivelse af vandløbet. Hermed menes, at afstanden mellem punkterne bør være mellem 500 m og 1000 m i slyngede vandløb med variation i faldet. På lange og flade vandløbsstrækninger kan en større afstand anvendes. Kun broer, overløbsbygværker og rør, der giver et betydeligt bidrag til oversvømmelseeffekten bør medtages i beskrivelsen. Skønsmæssig anbefales at medtage disse bygværker, hvis enten tværsnitsarealet eller tværsnitsbredden overstiger 20% af henholdsvis arealet eller bredden opstrøms disse bygværker.

#### *4.3.2 Anbefalinger for videregående arbejde*

Den udviklede metode er klar til anvendelse som den er beskrevet i denne rapport. Dog vil yderligere erfaring indsamlet ved test på flere vandløbsoplande, kunne modificere nogle af anbefalingerne omkring anvendelse af metodens simpleste niveauer.

## 5 Perspektivering og anbefalinger

Den udviklede metode til forudsigelse af oversvømmelse viser sig at være robust og pålidelig og kan anvendes med en forholdsvis beskeden indsats. Det er derfor oplagt at anvende metoden i forbindelse med screening af oversvømmelsestruede områder langs vandløb. Ved en sådan screening fås et overblik over, hvilke områder langs vandløb, der i særlig grad er truet af oversvømmelse. Dette resultat kan bruges til at udpege områder, hvor en særlig indsats, f.eks. i form af yderligere og mere detaljerede undersøgelser, skal gøres.

Metoden kan yderligere anvendes til en hurtig aftestning af foreslåede tiltag, der har til hensigt at minimere oversvømmelsesrisikoen. Desuden er det nemt at teste effekten af fremtidige klimaændringer på risikoen for oversvømmelse.

Metoden har umiddelbar anvendelsespotentialer i forbindelse med implementeringen af EU's oversvømmelsesdirektiv, der forløber i flere trin frem til 2015. Herudover kan den med fordel bruges i forbindelse med kommunernes arbejde med klimasikring samt i den almindelige byplanlægning og planlægning af arealudvikling.

## Bilag 1: Litteraturliste

- **Andersen**, H.E. et al., 2006. Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of the Total Environment*, 365(1-3): 223-237.
- **Mikkelsen**, M. L., 2008. Oversvømmelse I et fremtidigt klima. Speciale. Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet. 101 pp.
- **Thodsen**, H., Pedersen, J.B.T., Svinth, S. og Sunesen, S.T., 2006. The influence of climate change on bed sediment transport in the alluvial River Kongeå, Denmark. In: Refsgaard, J.C. og Højbjerg, A.L.; Experiences and challenges in implementation of the EU Water Framework Directive. NHP report no. 49. 593-600.
- **Thodsen**, H., 2007. The influence of climate change on stream flow in Danish rivers. *Journal of Hydrology*, 333(2-4): 226-238.
- **Chow**, V.T. 1959. *Open-Channel Hydraulics*.
- **Henderson**, F.M., 1966. *Open Channel Flow*.
- **DMU**, 2000: Afstrømningsforhold i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU Nr. 340.
- **DMI**, 1998. Technical Report 98-10. Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrektioner.
- **DMI**, 2000. Technical Report 00-11. Klimagrid - Danmark, normaler 1961-90, måneds- og årsværdier. Metodebeskrivelse og datasæt.

## Bilag 2: Arealanvendelse/befæstet areal

LUATYPE	Beskrivelse	Befæstet %
0	Ukendt	10
1100	Befæstet overflade	100
1110	Bykerne	80
1120	Lav bebyggelse	35
1121	Høj bebyggelse	50
1122	Åben bebyggelse	30
1123	Bebyggelse i åbent land	20
1210	Industri	60
1221	Motorvej	70
1222	Motortrafikvej	70
1223	Vej > 6 meter	70
1224	Vej 3 – 6 meter	70
1226	Jernbane	20
1228	Bro	70
1229	Dæmning	20
1240	Lufthavn	50
1242	Landingsbane	70
1310	Råstofområde	0
1340	Teknisk areal	10
1341	Kirkegård	0
1420	Sportsanlæg	10
1421	Rekreativt område	5
1422	Klippet græs	0
2112	Landbrug	0
2222	Gartneri	0
2300	Græsarealer	0
2310	Græs i byområder	5
2430	Blandet landbrug/natur	0
3100	Skov	0
3110	Løvskov	0
3120	Nåleskov	0
3130	Blandet skov	0
3210	Overdrev	0
3220	Hede	0
3250	Blandet natur	0
3310	Sand / Klit	0
3330	Anden overflade med ringe vegetation	0
4110	Eng	0
4112	Vådområde	0
4120	Mose	0
4130	Strandeng	0
4210	Marsk og strandeng	0
5120	Sø	0
5121	Vandløb > 8 - 12 m	0
5123	Sø / rørskov	0
5126	Dambrug	0
5230	Hav	0
6000	Uklassificeret	10

## Bilag 3: Anvendte variable, afstrømningsmodel

Station Nr	Areal km <sup>2</sup>	Længde km	Form	Fald ‰	Nedbør mm	Ler %	Byzone %	Befæst %	Våde omr %	Skov %	Opland fald ‰	q <sub>100</sub> l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>	q <sub>1000</sub> l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>
30003	150	23,3	0,276	1,3	843	0,0	4,07	3,5	8,8	6,3	5,3	132	177
70003	102	19,5	0,269	0,5	797	1,3	0,85	2,3	13,2	4,8	11,9	111	137
100010	101	20,9	0,230	1,8	866	1,3	1,37	5,0	7,4	7,8	5,0	95	179
100011	28	10,9	0,235	2,2	813	2,1	0,36	2,9	2,0	6,2	14,4	257	608
110016	108	19,9	0,272	0,5	1009	4,1	0,00	2,2	2,8	15,8	12,6	94	116
140022	218	31,3	0,222	1,4	895	9,6	1,81	2,4	9,3	26,9	6,0	104	200
200026	518	63,1	0,130	0,9	936	9,9	0,02	1,9	5,2	24,5	2,8	37	39
210019	11	5,6	0,347	4,1	847	11,0	0,00	2,7	0,9	2,1	14,6	175	240
210020	11	2,8	1,350	5,4	867	11,5	0,80	3,1	1,4	3,3	18,0	127	185
210077	79	20,0	0,198	1,3	1015	12,8	0,46	1,8	5,3	31,8	7,8	49	51
210084	1277	90,5	0,156	0,6	925	16,8	0,01	3,3	9,7	22,1	5,0	41	45
210085	186	21,6	0,398	1,3	994	22,7	0,30	2,8	7,9	7,2	5,2	106	131
220062	1092	100,4	0,108	0,8	1037	33,8	0,05	3,3	4,5	14,4	2,8	82	84
220068	64	14,5	0,307	1,5	1003	34,4	0,51	1,6	3,2	30,0	4,4	47	58
250082	1051	63,2	0,263	0,9	1043	41,0	0,10	2,5	5,5	22,4	3,0	119	192
260082	118	24,4	0,198	2,2	819	42,4	0,32	5,9	6,3	5,8	11,4	82	96
270021	47	13,6	0,254	4,4	778	43,1	3,48	8,6	2,1	6,0	31,1	170	207
330004	64	14,7	0,296	4,7	917	45,8	0,07	4,2	4,7	9,6	9,0	98	101
350010	223	24,2	0,380	1,4	1063	48,9	0,01	2,1	7,9	10,5	3,9	122	132
360008	389	56,3	0,123	0,9	1026	61,6	0,15	3,5	5,2	6,5	2,1	73	79
380024	673	54,9	0,223	0,7	1041	63,8	0,00	2,3	4,5	9,0	2,5	87	98
400024	294	35,5	0,233	1,3	1099	64,6	0,00	1,9	3,5	6,9	3,1	103	122
420016	563	60,9	0,152	0,9	1057	69,3	0,25	2,4	7,2	11,7	2,5	65	72
420074	100	27,7	0,130	1,8	1073	70,1	0,11	3,2	4,4	4,7	5,0	47	48
450001	533	50,3	0,211	1,3	835	70,8	0,00	4,4	5,7	12,3	7,8	72	73
450004	300	23,3	0,553	2,3	841	72,1	0,01	2,9	6,3	16,2	4,0	90	99
460030	73	11,2	0,580	0,4	838	79,6	0,08	4,4	6,0	12,1	13,0	83	94
520025	25	10,6	0,225	1,8	718	84,1	4,23	8,2	9,1	12,8	5,2	85	143
520029	102	14,3	0,500	1,1	755	85,4	0,54	5,6	3,5	9,3	4,1	74	94
550018	290	37,5	0,207	1,0	744	86,8	0,36	2,7	5,6	13,0	2,8	56	60
560006	16	3,1	1,623	2,3	694	89,0	0,25	3,8	1,4	1,5	20,2	132	150
560007	142	20,1	0,351	0,7	741	91,9	0,09	3,1	5,7	14,8	6,0	86	108
570049	67	21,3	0,148	0,1	723	94,5	0,24	2,3	0,5	11,3	4,1	132	156
570058	752	68,2	0,162	1,1	772	94,6	0,07	3,2	6,9	15,6	5,3	52	55
580021	19	9,3	0,217	3,2	768	95,0	0,37	4,3	6,0	24,7	10,2	55	58
590005	43	11,6	0,322	2,0	670	95,8	0,00	3,7	0,6	6,2	3,3	88	90
590006	129	23,4	0,235	2,0	782	99,0	0,27	3,4	1,5	22,4	5,5	125	140
650001	207	18,6	0,596	0,9	692	100,0	0,00	2,7	0,7	4,4	1,5	125	138
660014	42	7,6	0,723	9,7	694	100,0	0,92	2,7	1,1	9,6	14,4	281	385

## Bilag 4: Oversigt over metodens GIS operationer

Grid 1: DTM

8.2	8.1	7.5	7.3	7	7.4	7.5	7.7	8
8.2	8.1	7.5	7.3	7	7.2	7.3	7.5	7.8
8	7.9	7.5	7.2	7	6.8	7.3	7.5	7.8
8.4	7.7	7.5	7	6.5	6.8	7.1	7.5	7.8
8.2	7.5	7.1	6.5	6.2	6.5	6.2	6.3	7.1
6	6.2	7.5	6.6	6.4	6.4	6.4	6.2	7.5
6	6.1	7.5	7.3	6.3	6.3	6.3	6.3	7.4
8.2	8.1	7.5	6.3	6.1	6	6.4	6.6	7.1
7.8	7.7	6.9	6	5.8	5.9	5.9	6	6.4

Grid 2: Interpoleret vandløbsgrid med vandstande

				7.8				
				7.6				
					7.5			
					7.1			
					6.9			
						6.7		
						6.6		
						6.5		
					6.2			

Grid 3: Vandstande bredt ud i terræn

7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.6	7.6	7.6
7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2

Grid 4: Vandstand over terræn (Grid3 - Grid1)

0.4	0.3	0.3	0.5	0.8	0.4	0.3	0.1	0.2
-0.6	-0.5	0.1	0.3	0.6	0.4	0.3	0.1	-0.2
-0.5	-0.4	0	0.3	0.5	0.7	0.2	0	-0.3
-1.3	-0.6	-0.4	0.1	0.6	0.3	0	-0.4	-0.7
-1.3	-0.6	-0.2	0.4	0.7	0.4	0.7	0.6	-0.2
0.7	0.5	-0.8	0.1	0.3	0.3	0.3	0.5	-0.8
0.6	0.5	-0.9	-0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	-0.8
-1.7	-1.6	-1	0.2	0.4	0.5	0.1	-0.1	-0.6
-1.6	-1.5	-0.7	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	-0.2

Grid 5: Oversvømmede områder

0.4	0.3	0.3	0.5	0.8	0.4	0.3	0.1	0.2
-0.6	-0.5	0.1	0.3	0.6	0.4	0.3	0.1	-0.2
-0.5	-0.4	0	0.3	0.5	0.7	0.2	0	-0.3
-1.3	-0.6	-0.4	0.1	0.6	0.3	0	-0.4	-0.7
-1.3	-0.6	-0.2	0.4	0.7	0.4	0.7	0.6	-0.2
0.7	0.5	-0.8	0.1	0.3	0.3	0.3	0.5	-0.8
0.6	0.5	-0.9	-0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	-0.8
-1.7	-1.6	-1	0.2	0.4	0.5	0.1	-0.1	-0.6
-1.6	-1.5	-0.7	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	-0.2

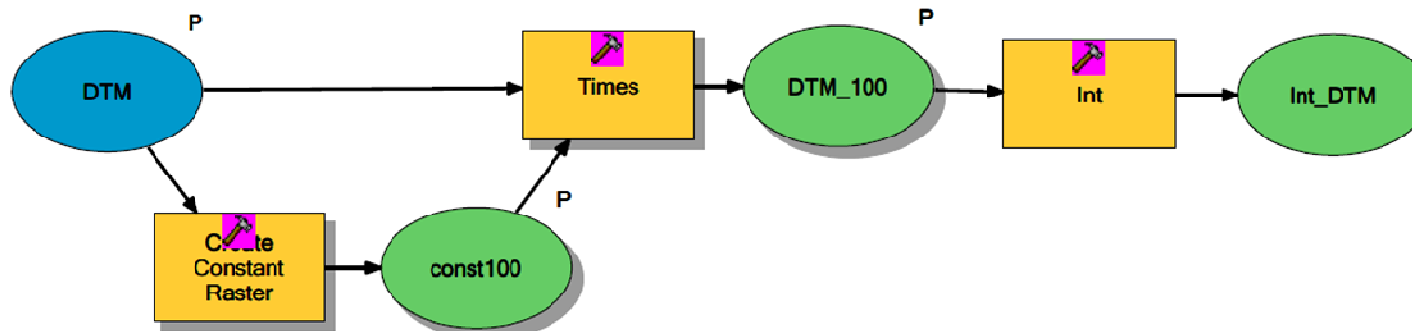
Grid 6: Kategoriserede oversvømmede områder


## Bilag 5: Detaljeret beskrivelse af metodens GIS operationer

Forud for beregningerne skal celle størrelse og analyse extent sættes i Analysis Environment generelt. De sættes til det samme som DTM'en.

Step 1 - Konvertering af DTM til et integer grid

<b>Beskrivelse:</b>	a) Ganger et floating point grid med 100 og konverterer det til et integer grid
<b>Input:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DTM (floating point grid)</li> </ul>
<b>Output:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Int_DTM (Integer grid)</li> </ul>

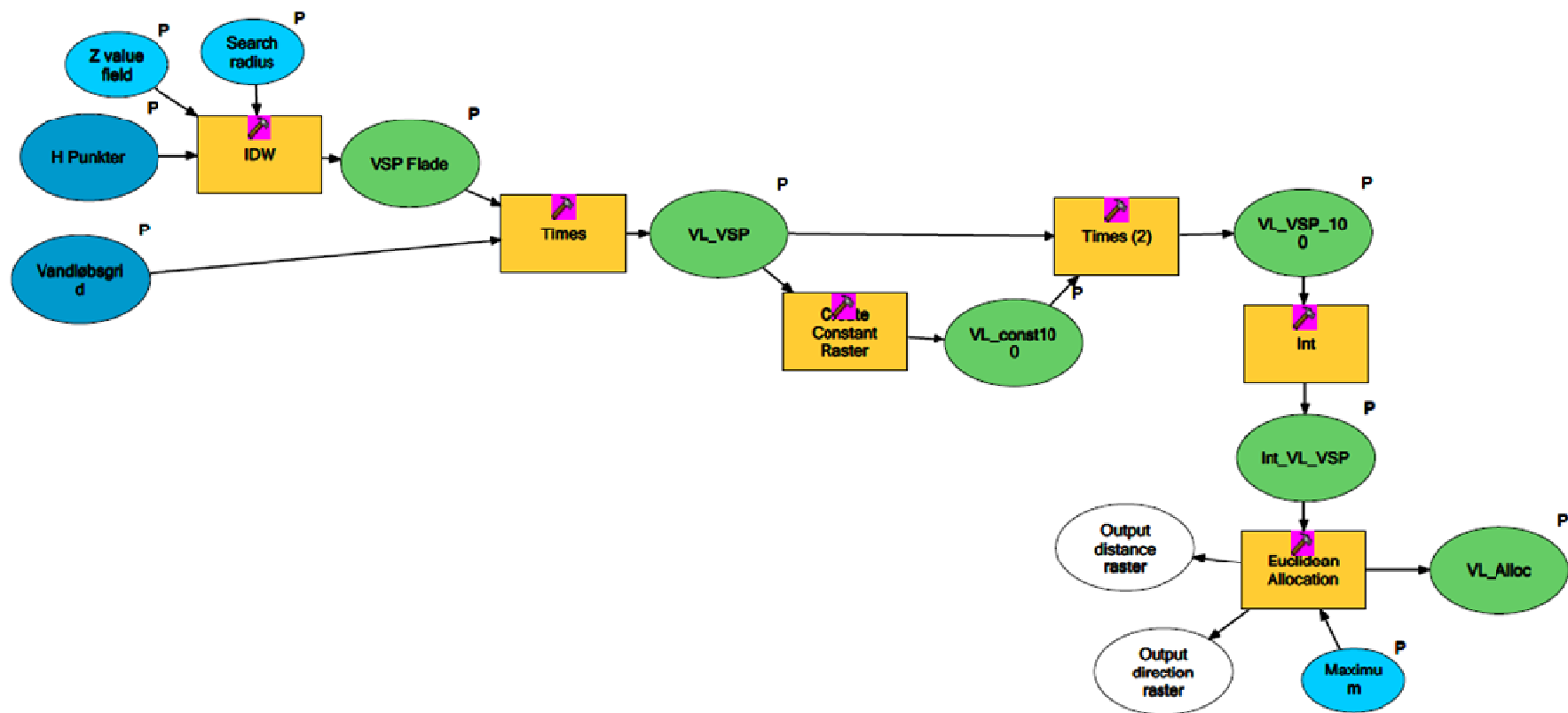


*Step 2 - H-punkter til vandspejls-grid*

<p><b>Beskrivelse:</b></p>	<p>1. Ekstrapolere vandspejlskoterne i H-punkterne ud i terrænet vha. funktionen <i>Euclidean Allocation</i>.</p> <p>Steps:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. H-punkterne interpoleres vha. <i>Inverse Distance Weighted</i> -metoden og værdierne der ligger inden for vandløbet trækkes ud, så man får et grid med vandspejlskoter angivet i hele vandløbets længde.</li> <li>2. Vandløbsgriddet ganges med 100 og konverteres til et integer grid.</li> <li>3. Værdierne i integer-griddet med vandspejlskoter ekstrapoleres ud i terræn vha. <i>Euclidean Allocation</i>.</li> </ol>
<p><b>Input:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grid med værdien 1 i alle celler i hele vandløbets længde.</li> <li>• H-punkter som feature class</li> <li>• Angivelse af kolonnenavn med H-værdier</li> <li>• Angivelse af søgeradius ved interpolation (min. maks. afstand mellem H-punkter)</li> <li>• Angivelse af maksimal afstand, som vandspejlsværdierne skal ekstrapoleres</li> </ul>
<p><b>Output:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integer-grid med vandspejlskoter som flade.</li> </ul>



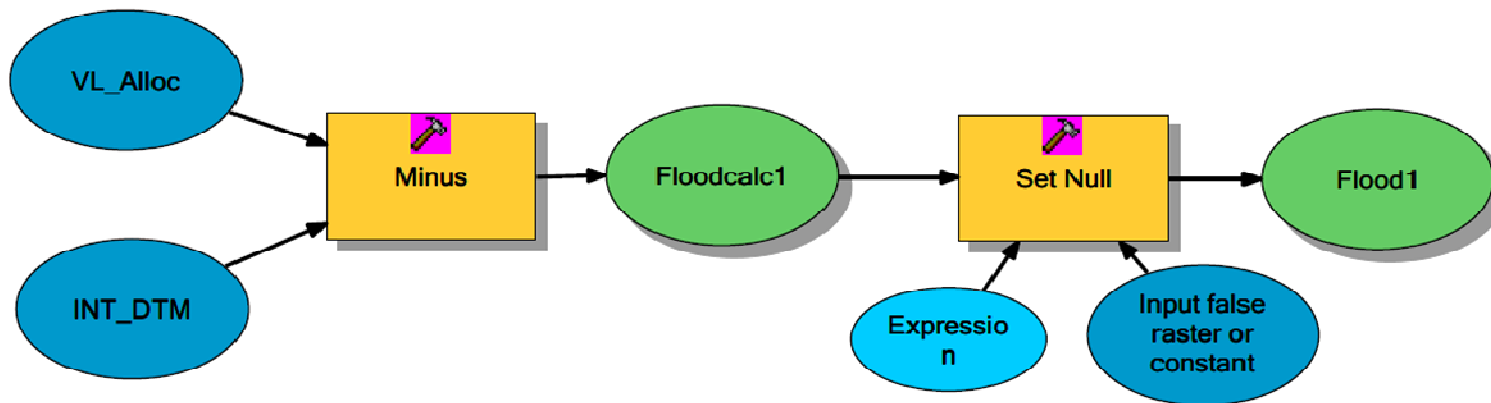
Effektiv metodik til screening af oversvømmelsesrisici i vandløb



Flow diagram for step 2

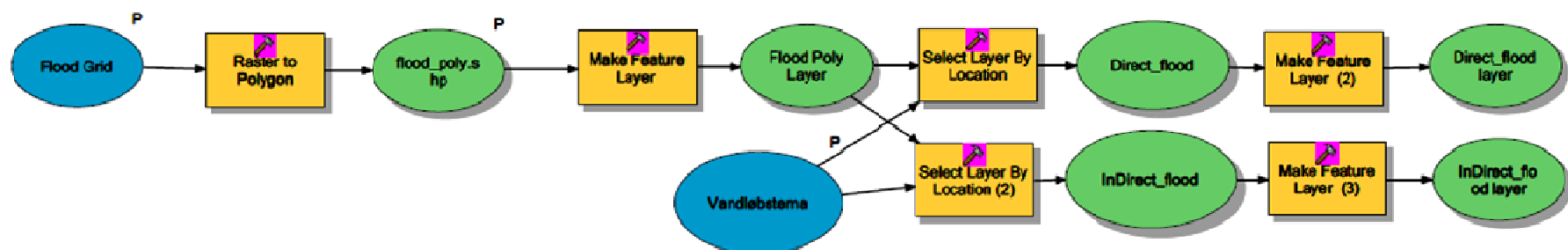
Step 3 - Oversvømmelsesberegning

<b>Beskrivelse:</b>	- Trækker integer DTM fra vandspejls-griddet og sætter alle værdier med værdier mindre end 0 til No Data.
<b>Input:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integer DTM (output fra step 1).</li> <li>• Vandspejls-griddet (output fra step 2)</li> </ul>
<b>Output:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integer grid med værdien 1 i alle områder, der ligger lavere end det modellerede vandspejl.</li> </ul>



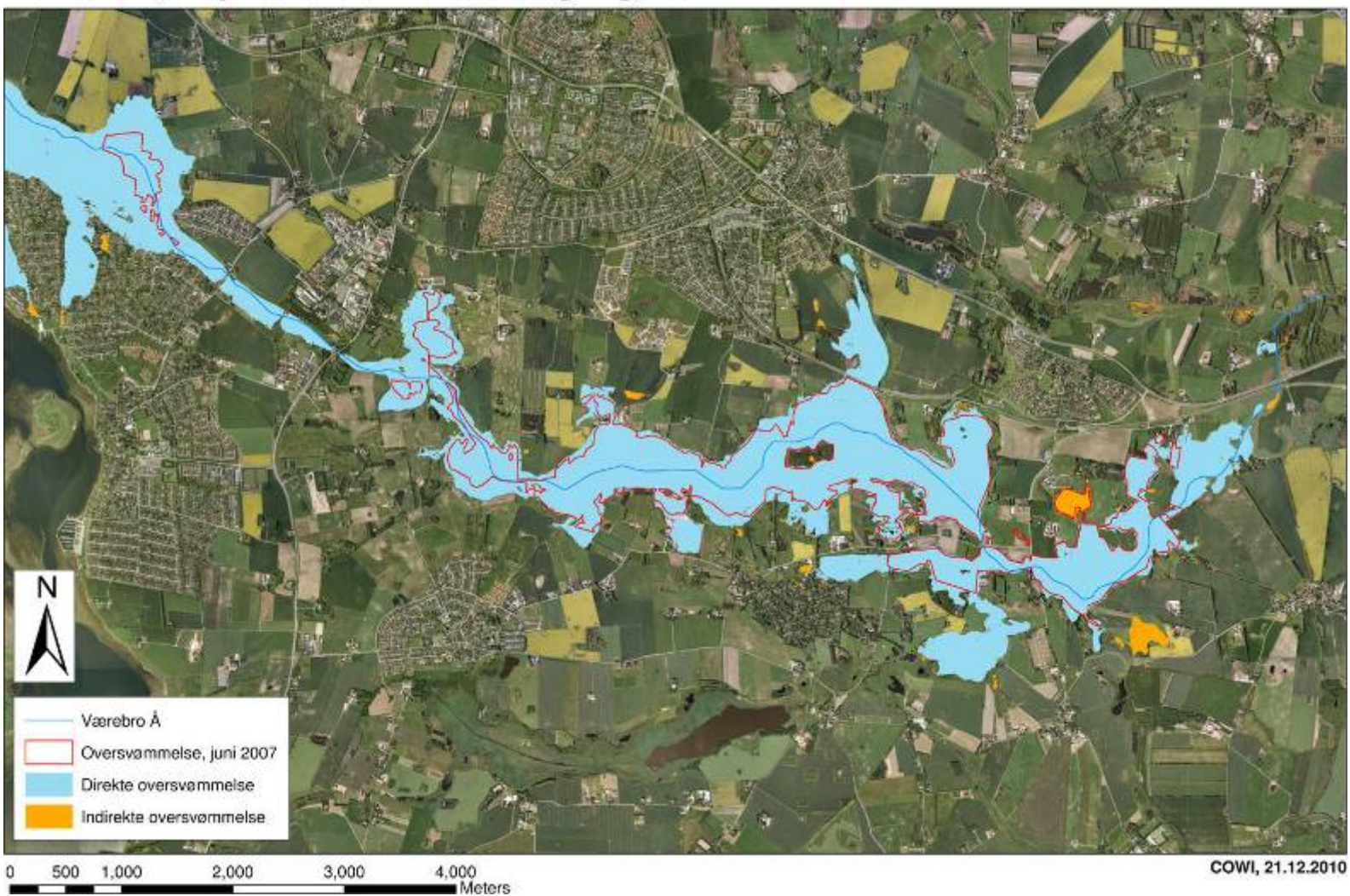
Step 4 - Konvertere integer grid til tematiseret polygon shape-fil

<b>Beskrivelse:</b>	i) Konvertere integer flood griddet til en polygon shape-fil og vælger alle polygoner, der ligger i direkte forbindelse med vandløbet og addere dem til kortvinduet som et layer. Det samme gøres for polygoner, der ikke er i direkte forbindelse med vandløbet.
<b>Input:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integer DTM (output fra step 1).</li> <li>Vandspejls-griddet (output fra step 2)</li> </ul>
<b>Output:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integer grid med værdien 1 i alle områder, der ligger lavere end det modellerede vandspejl.</li> </ul>



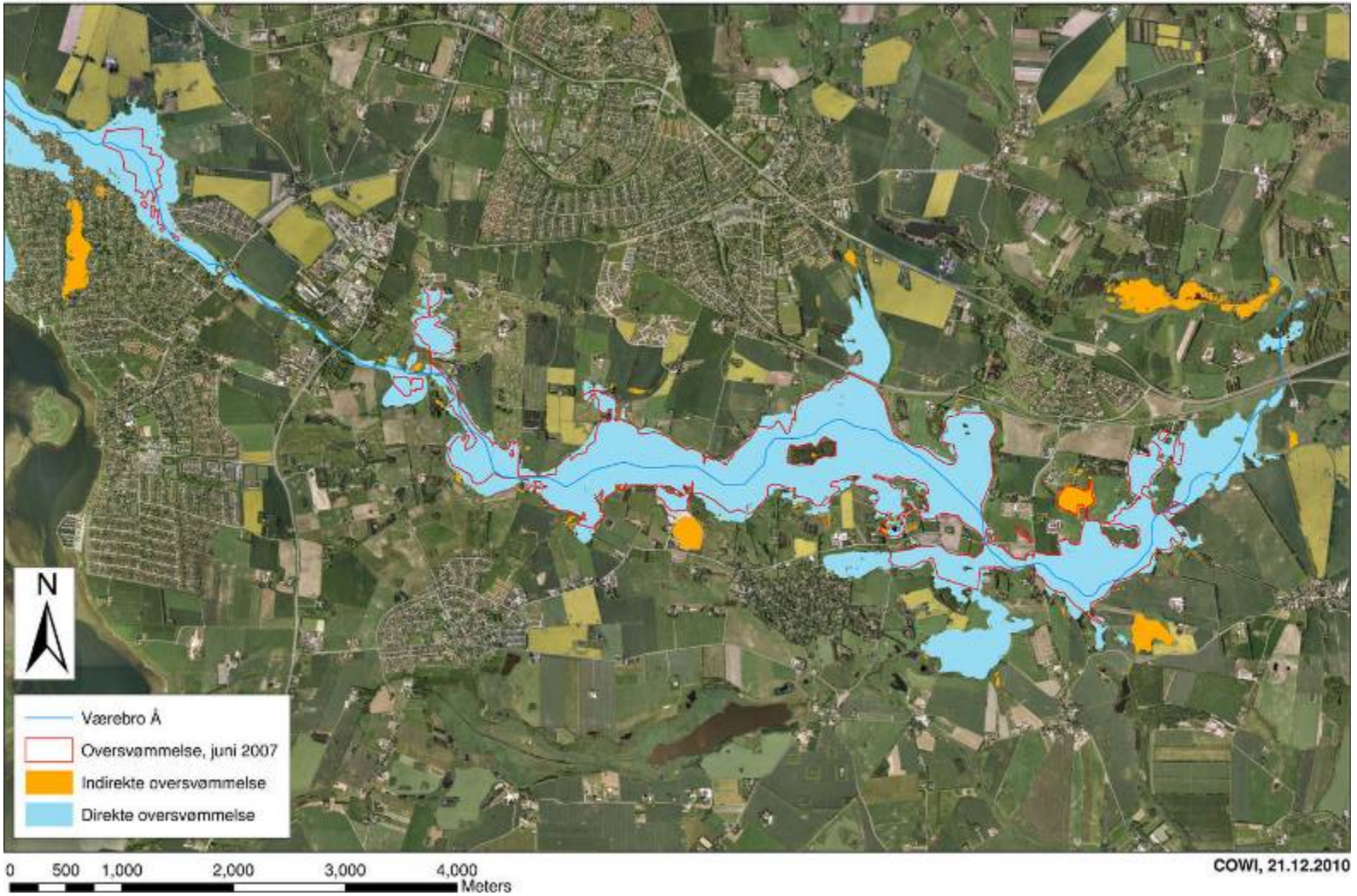
## Bilag 5: Oversvømmelseskort, Værebros Å

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 1



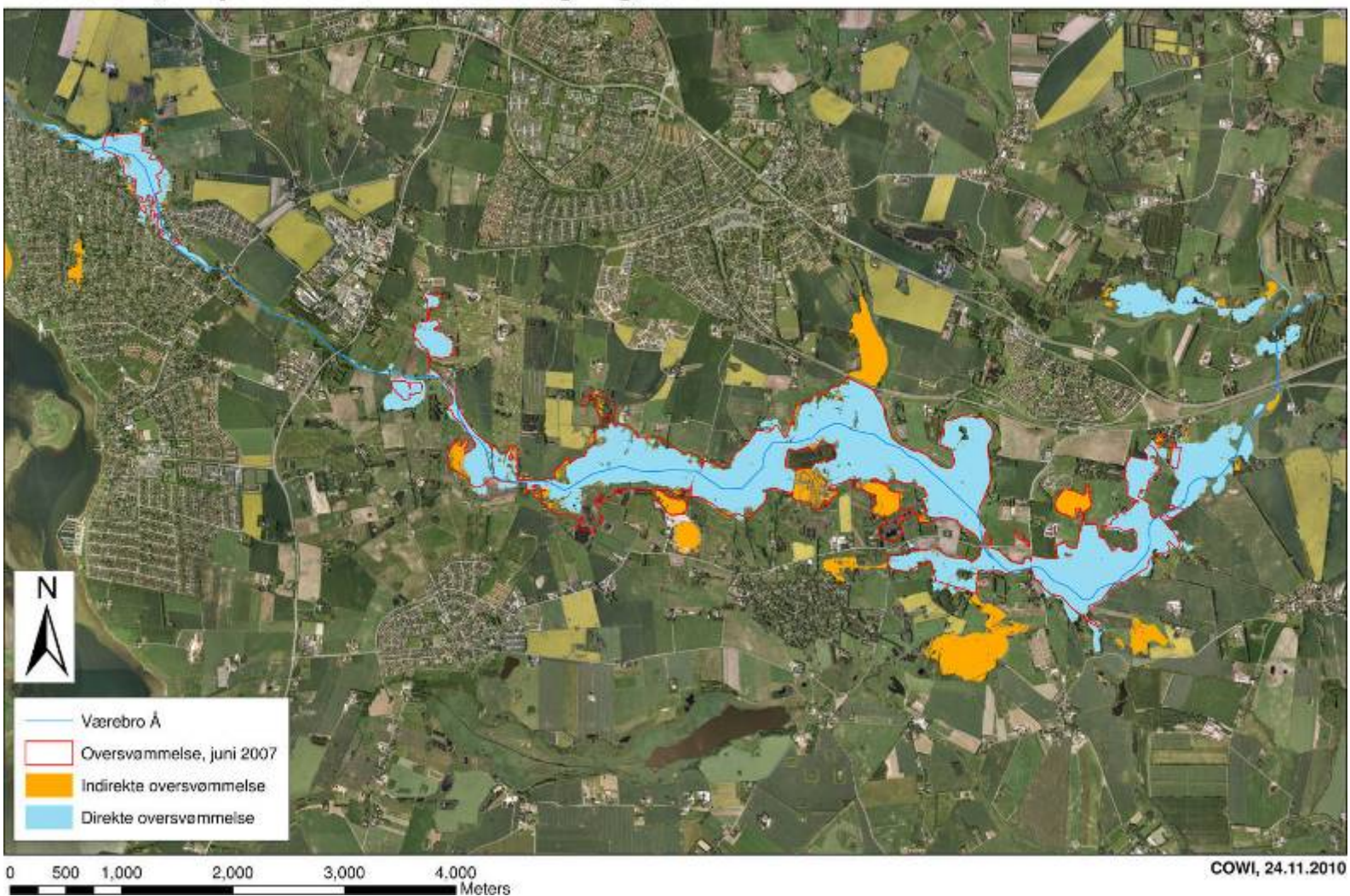
Figur 1 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 2



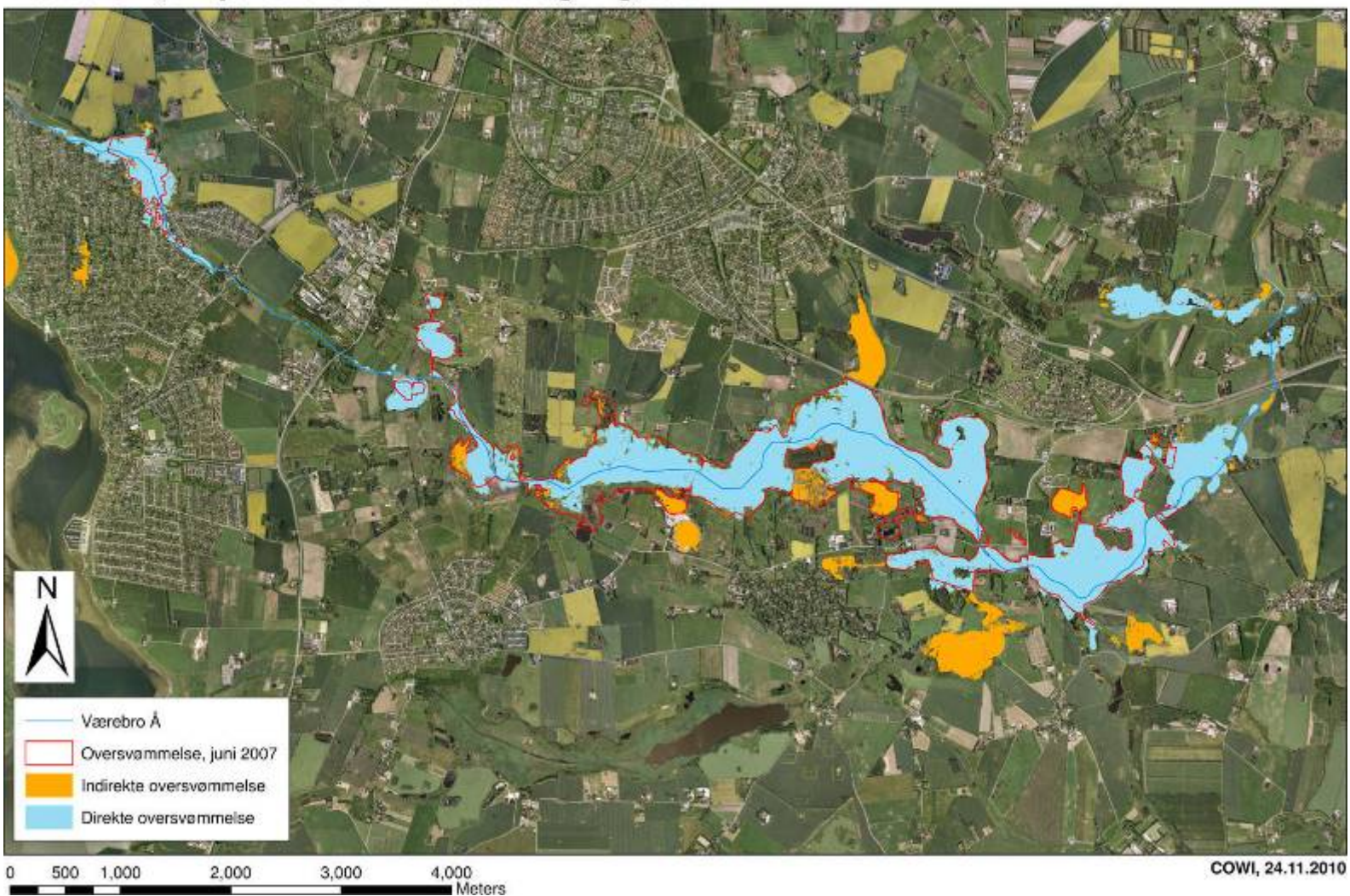
Figur 2 (Bilag 5)

### Værebro Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 3



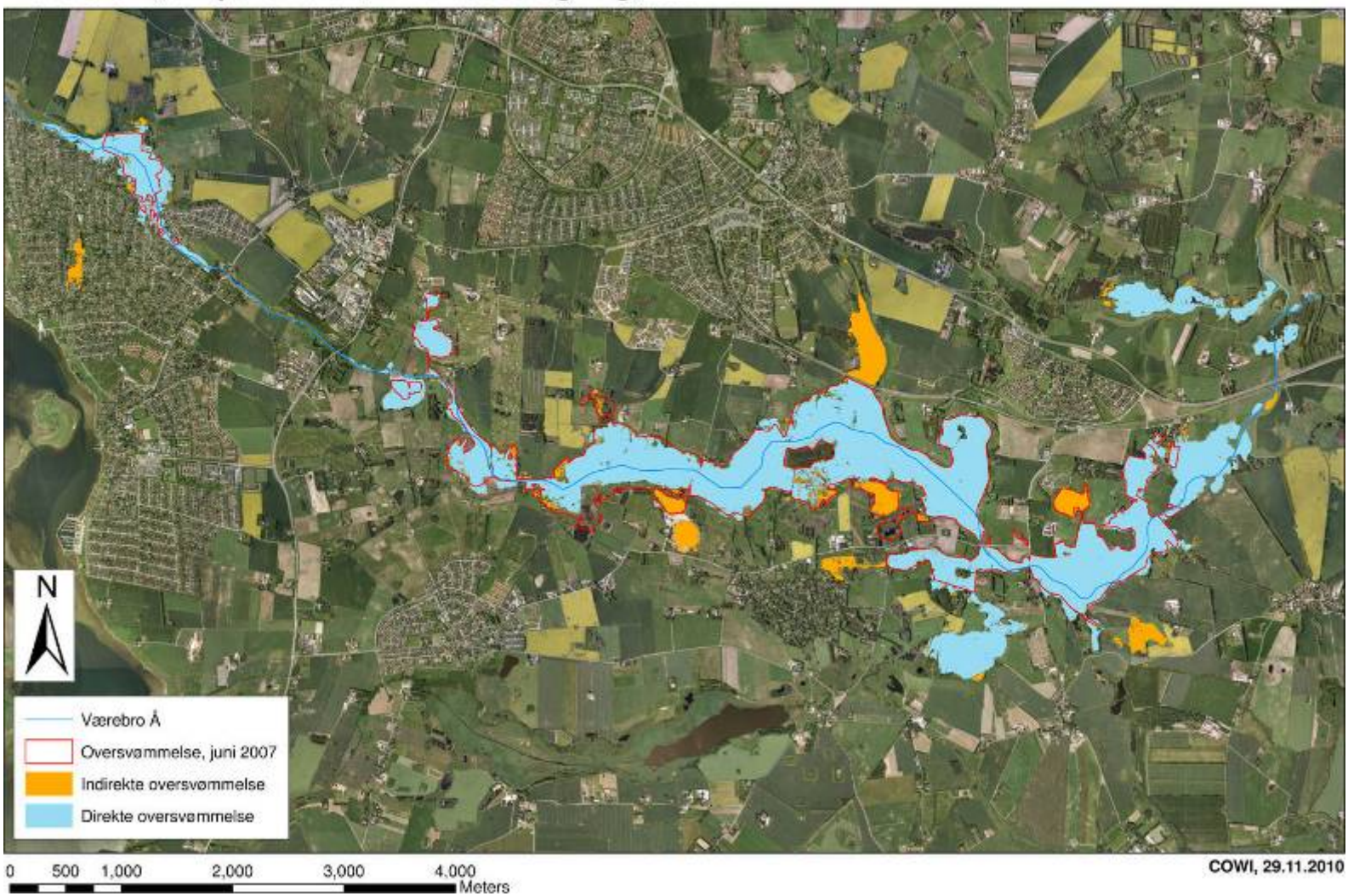
Figur 3 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 4



Figur 4 (Bilag 5)

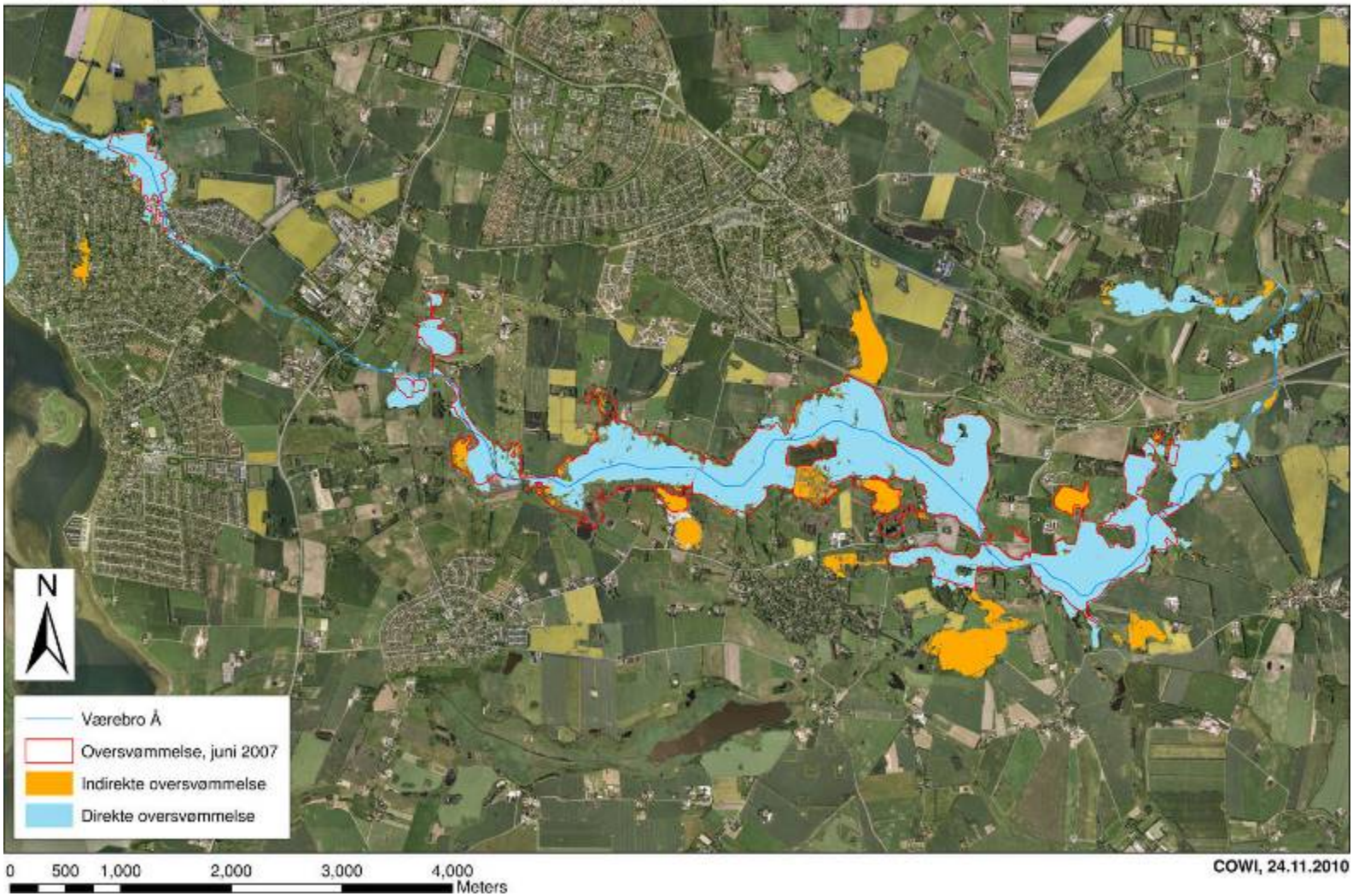
### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 5



Figur 5 (Bilag 5)

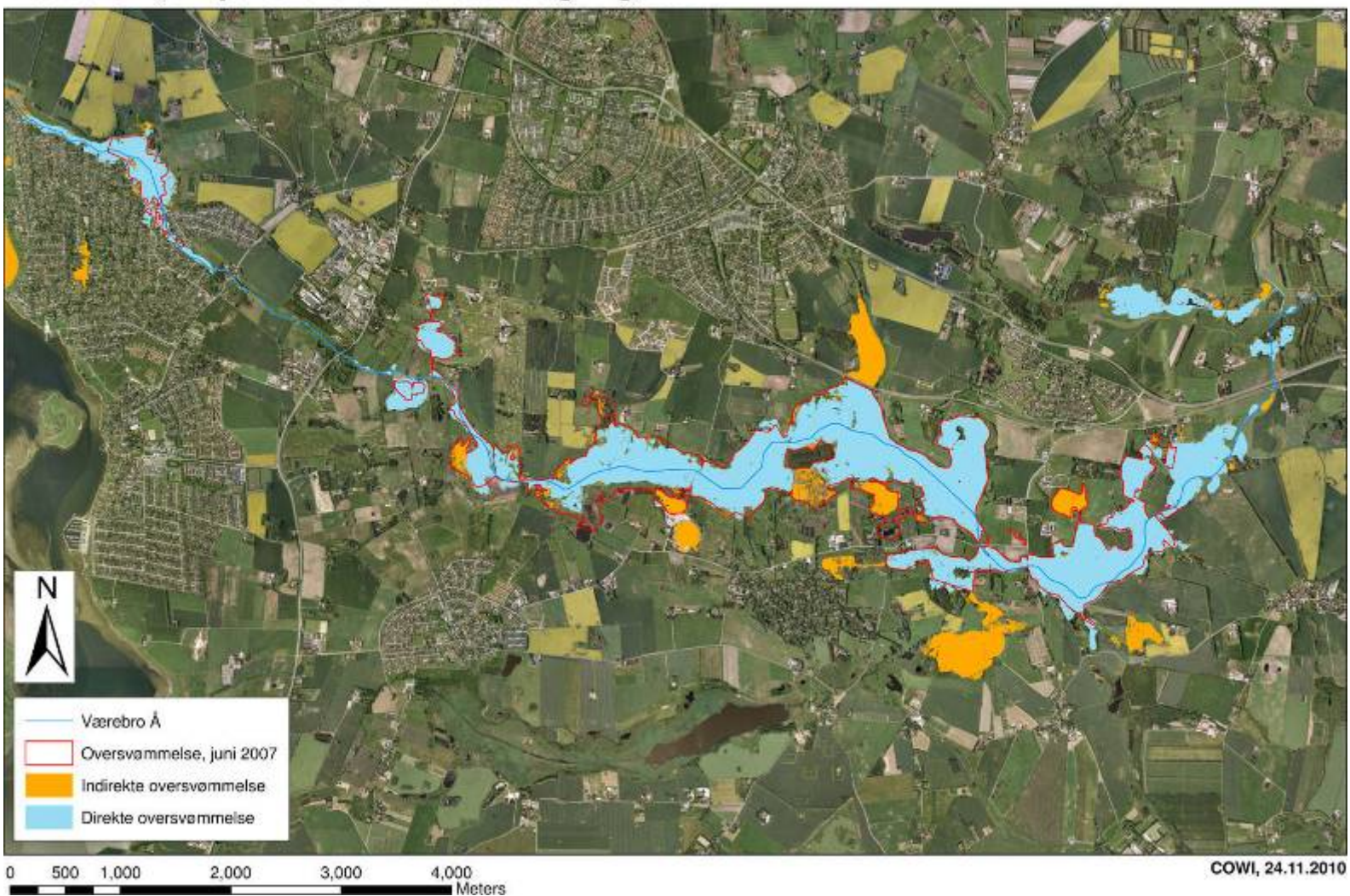


### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 6



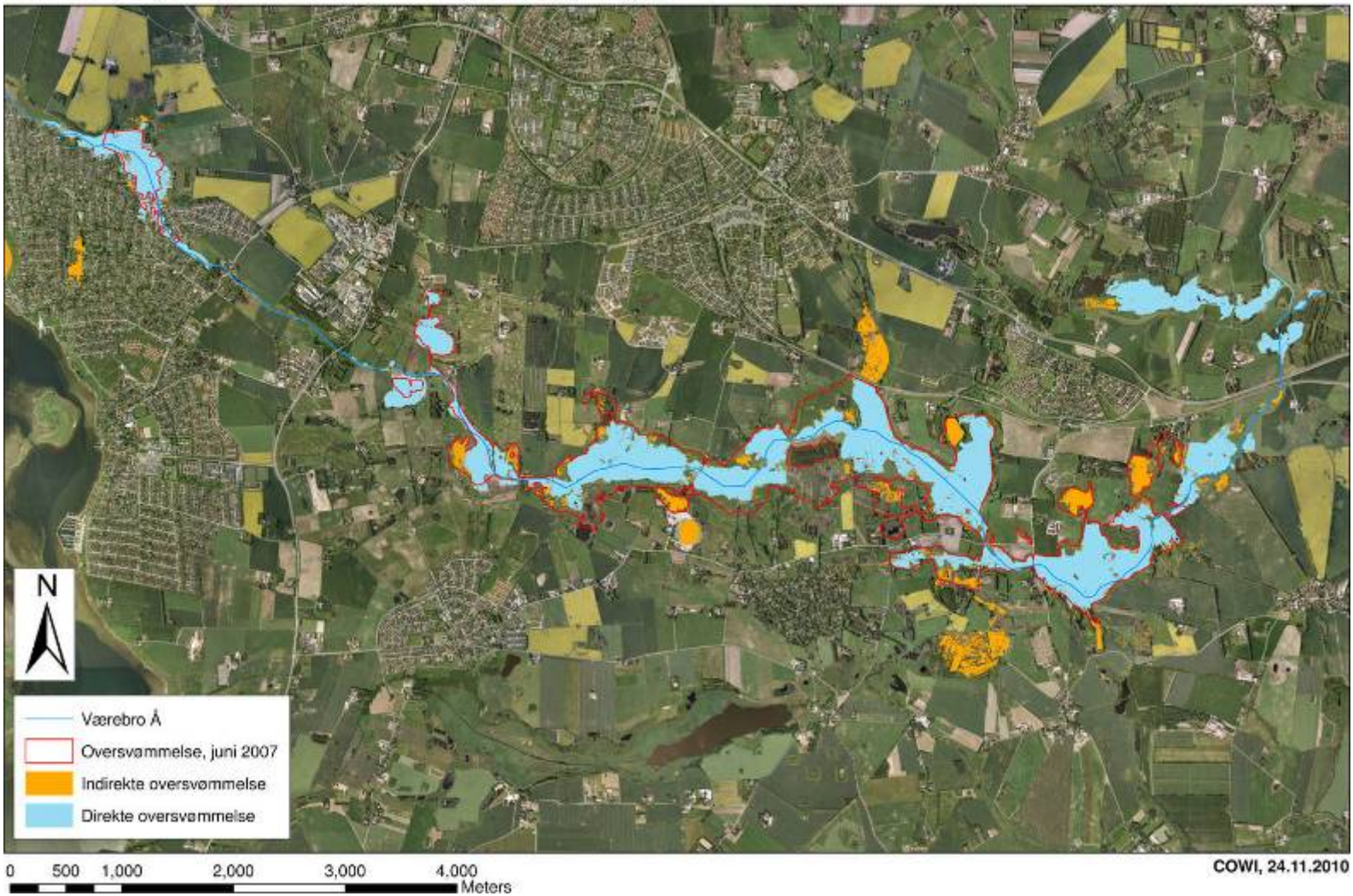
Figur 6 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 7



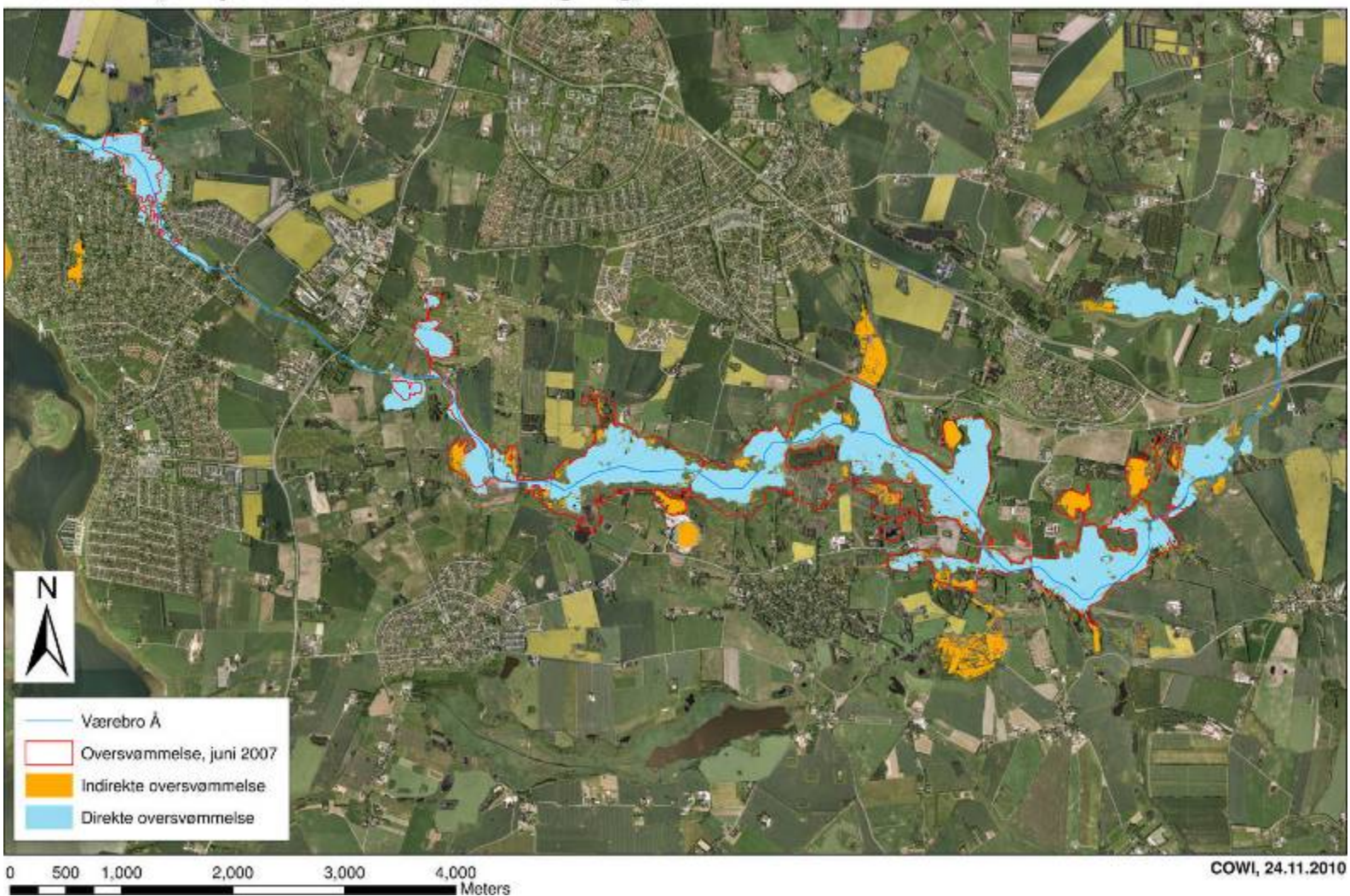
Figur 7 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 8



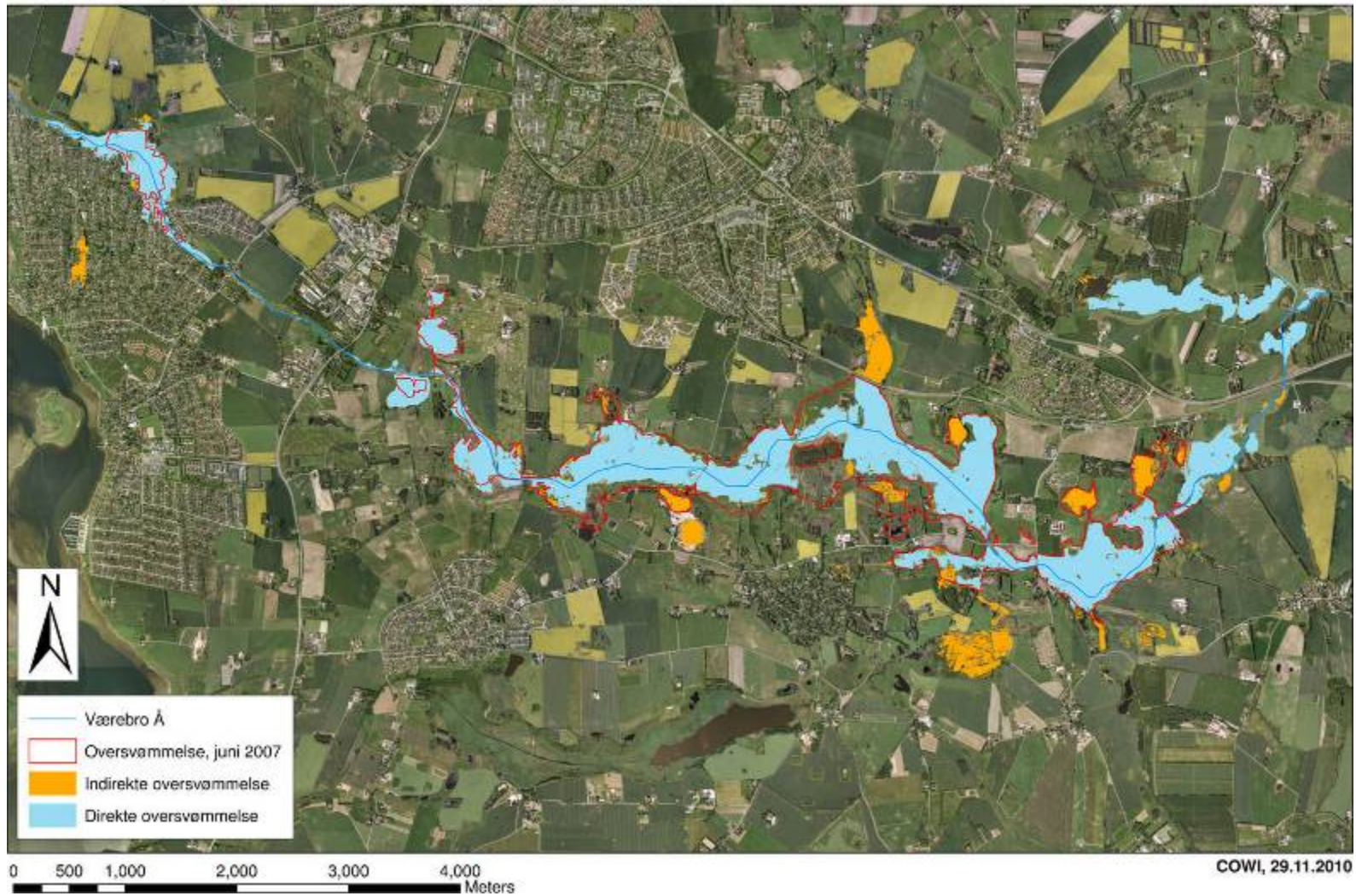
Figur 8 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 10



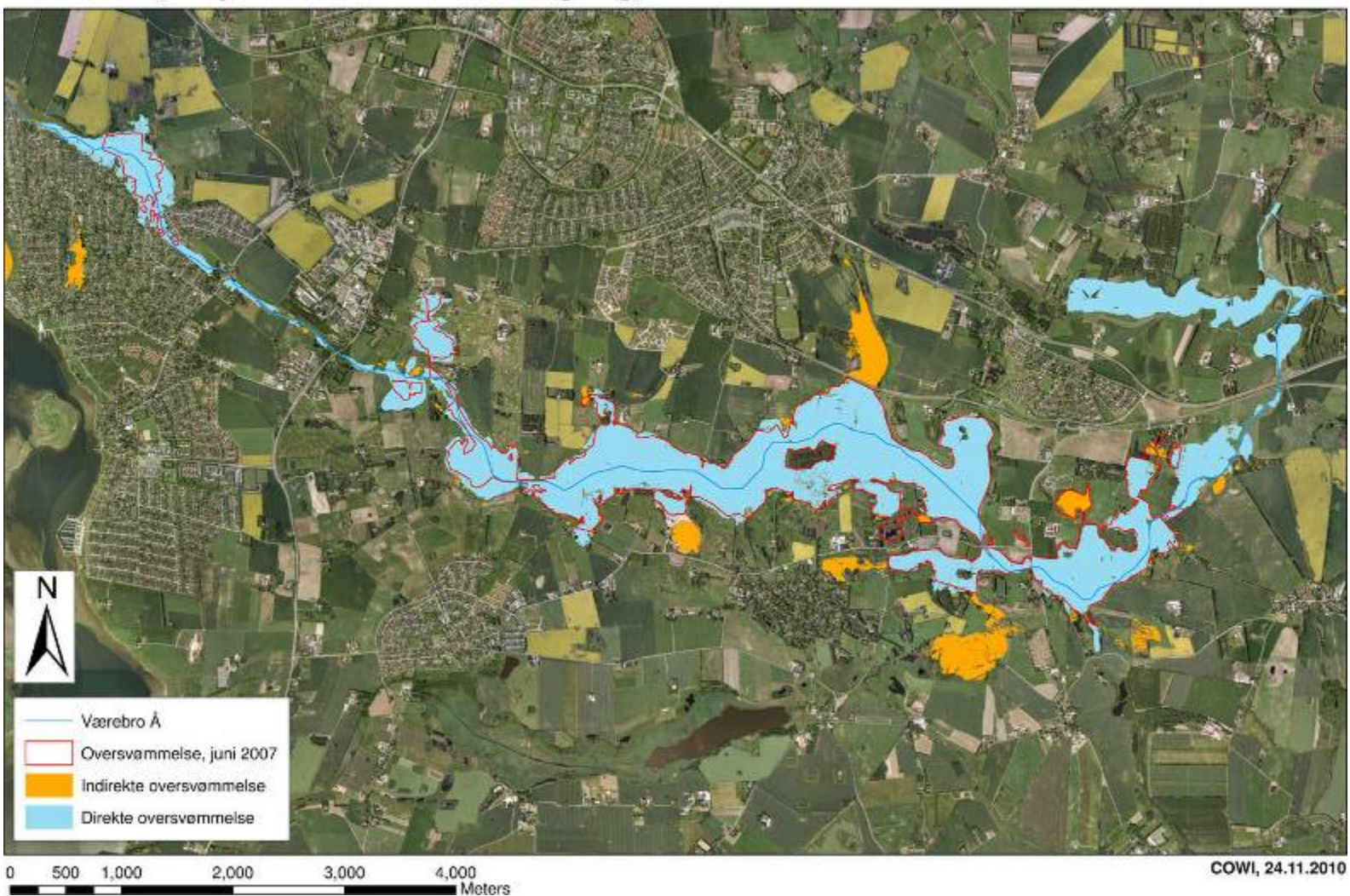
Figur 9 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 11



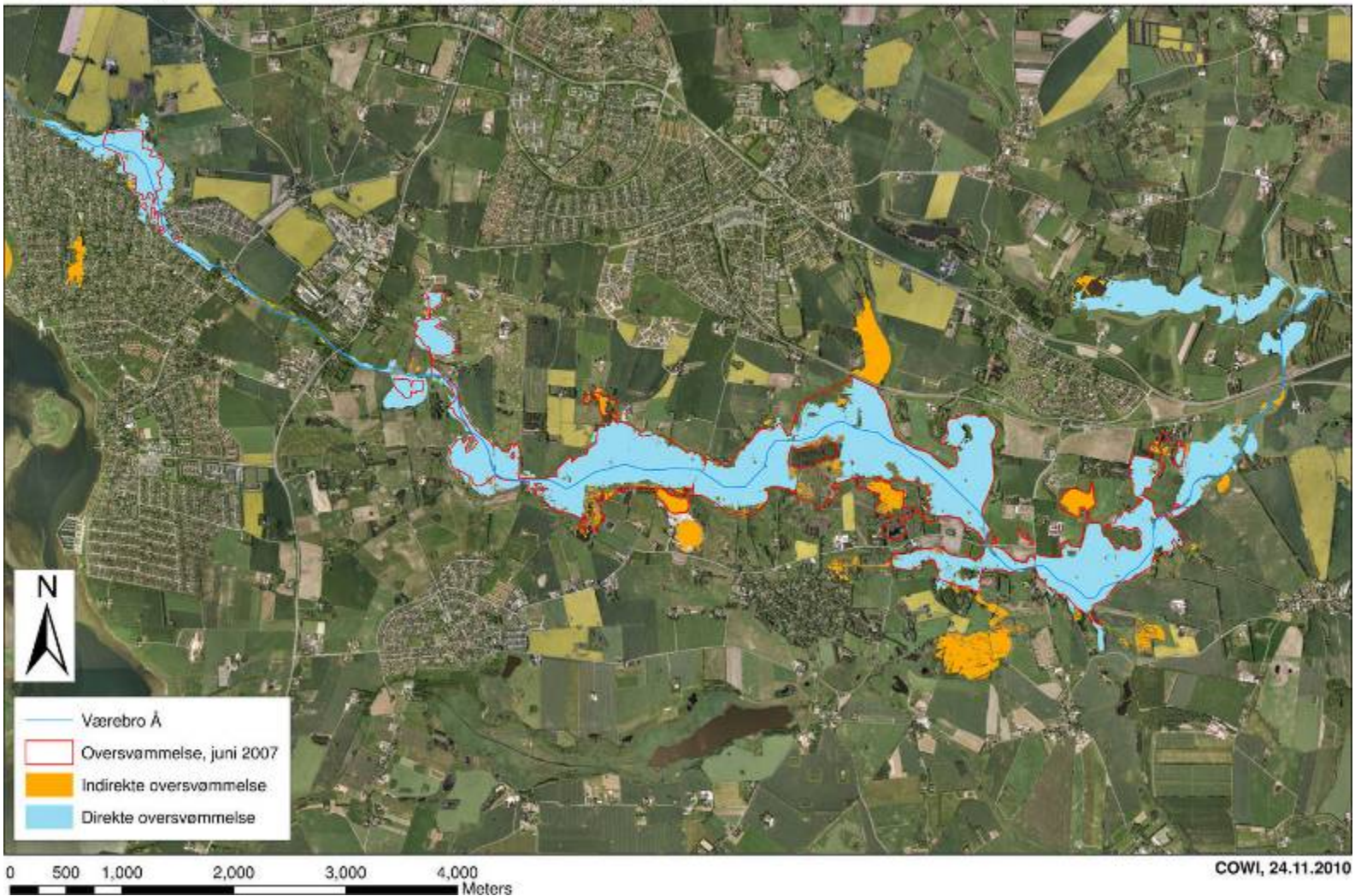
Figur 10 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 12



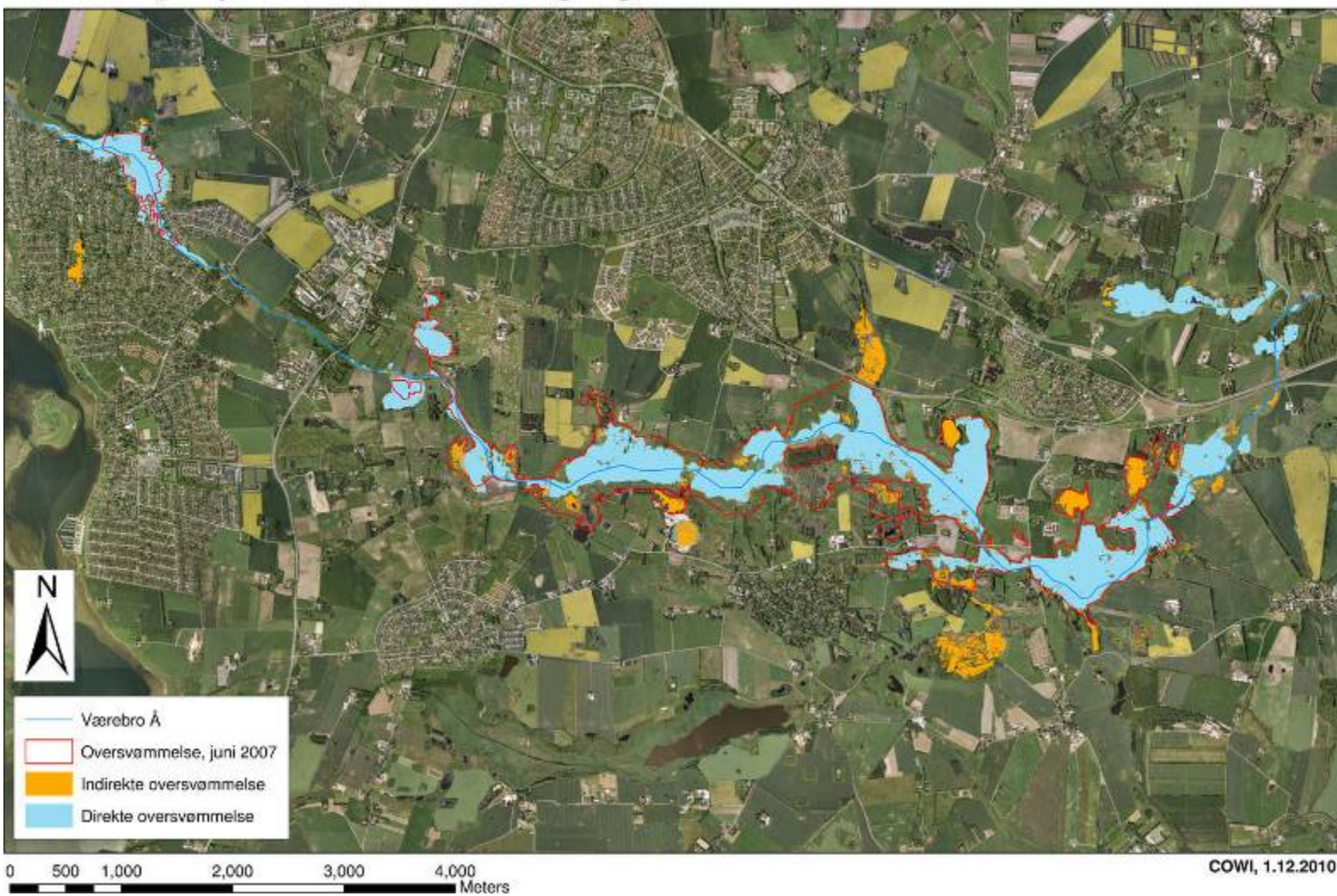
Figur 11 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 13



Figur 12 (Bilag 5)

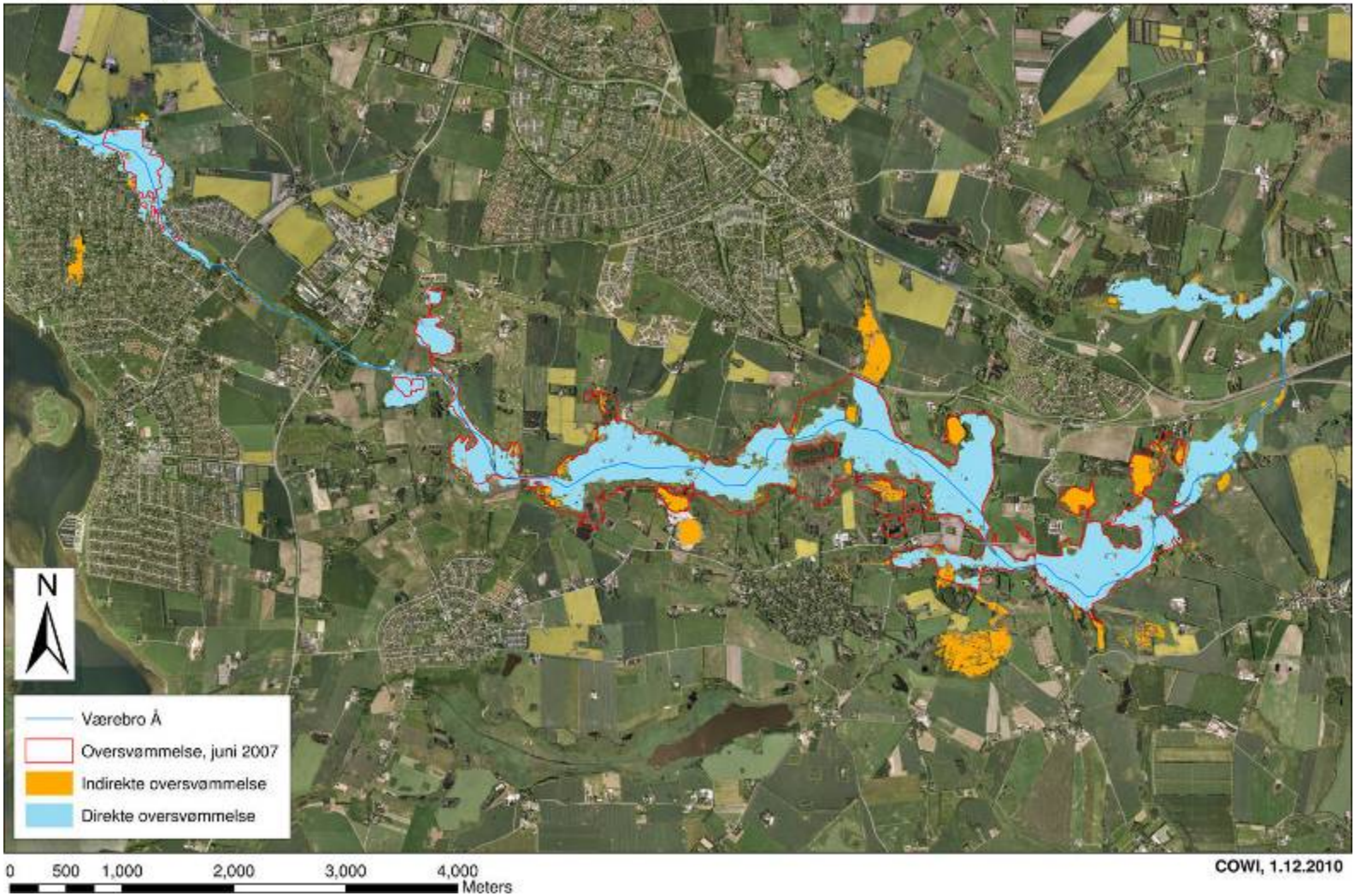
### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 14



Figur 13 (Bilag 5)

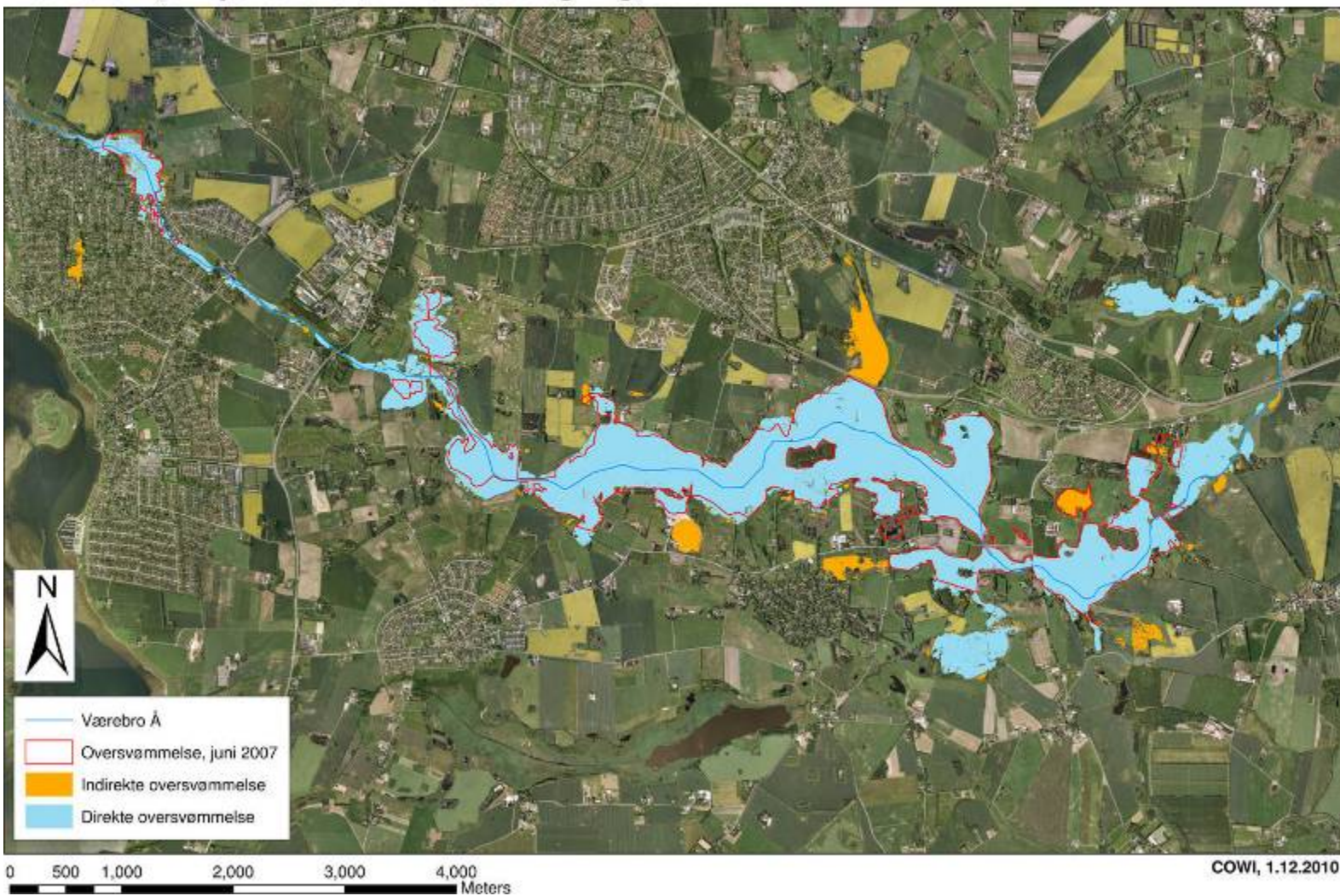


### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 15



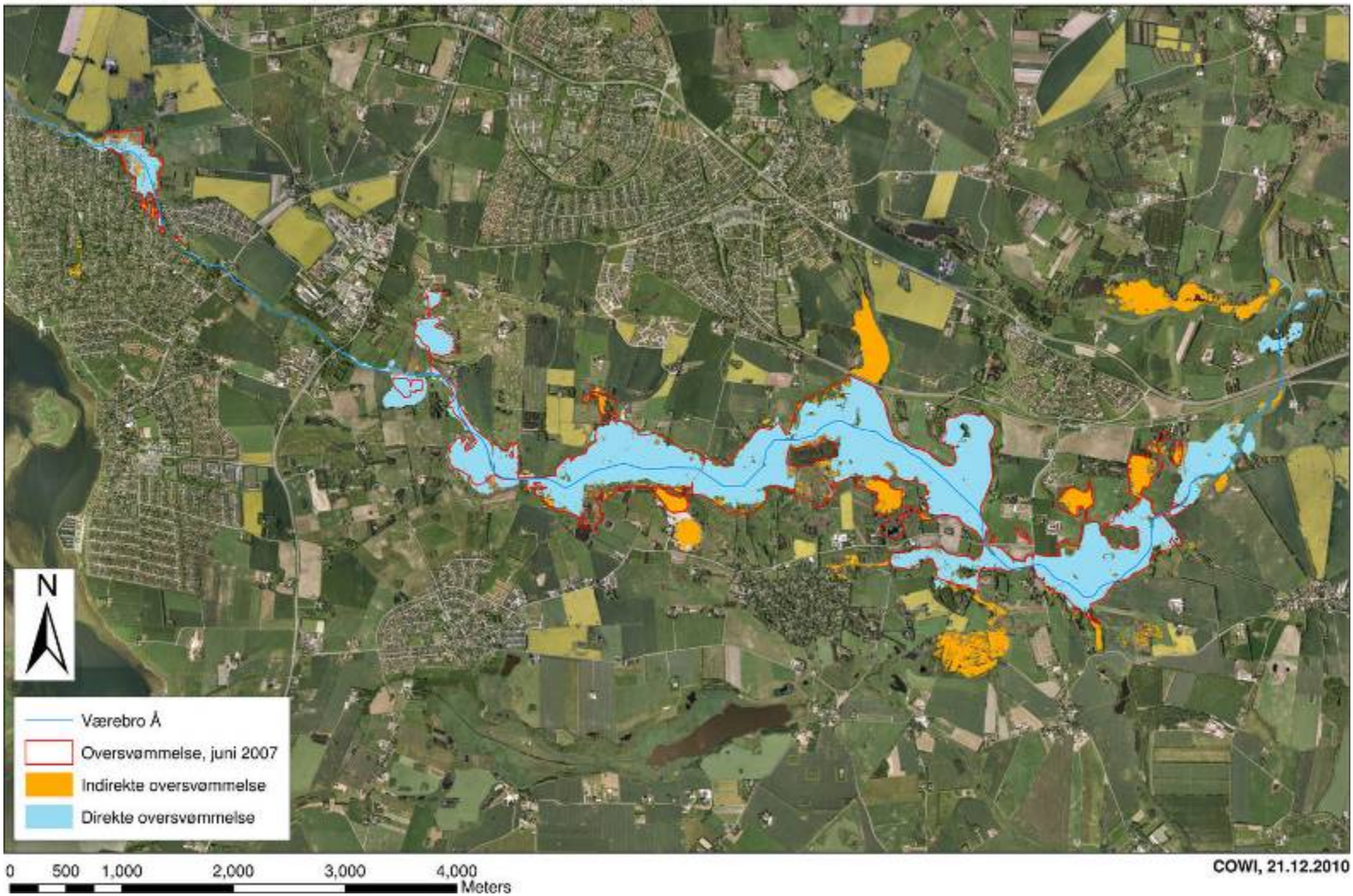
Figur 14 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 16



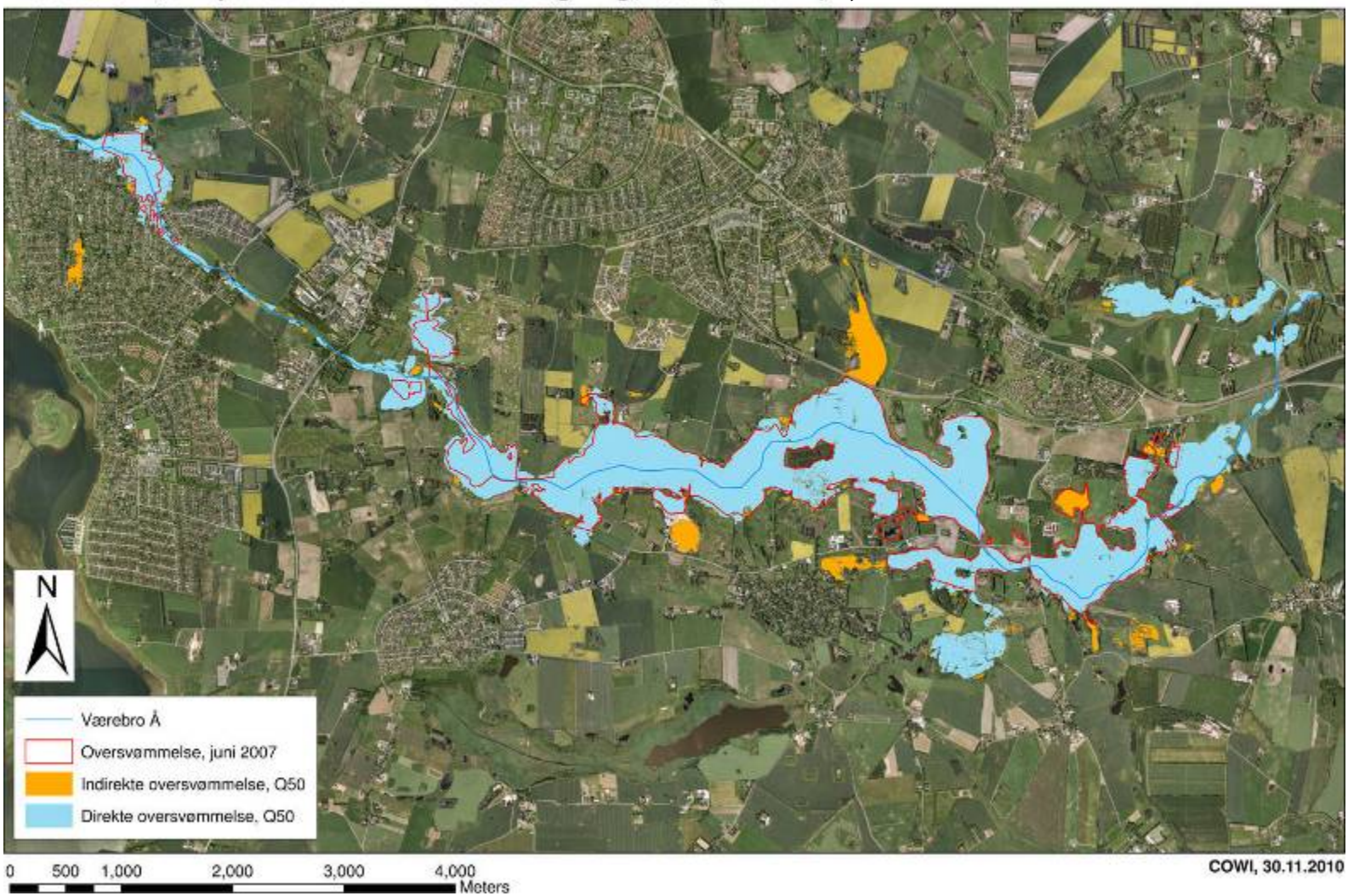
Figur 15 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 17



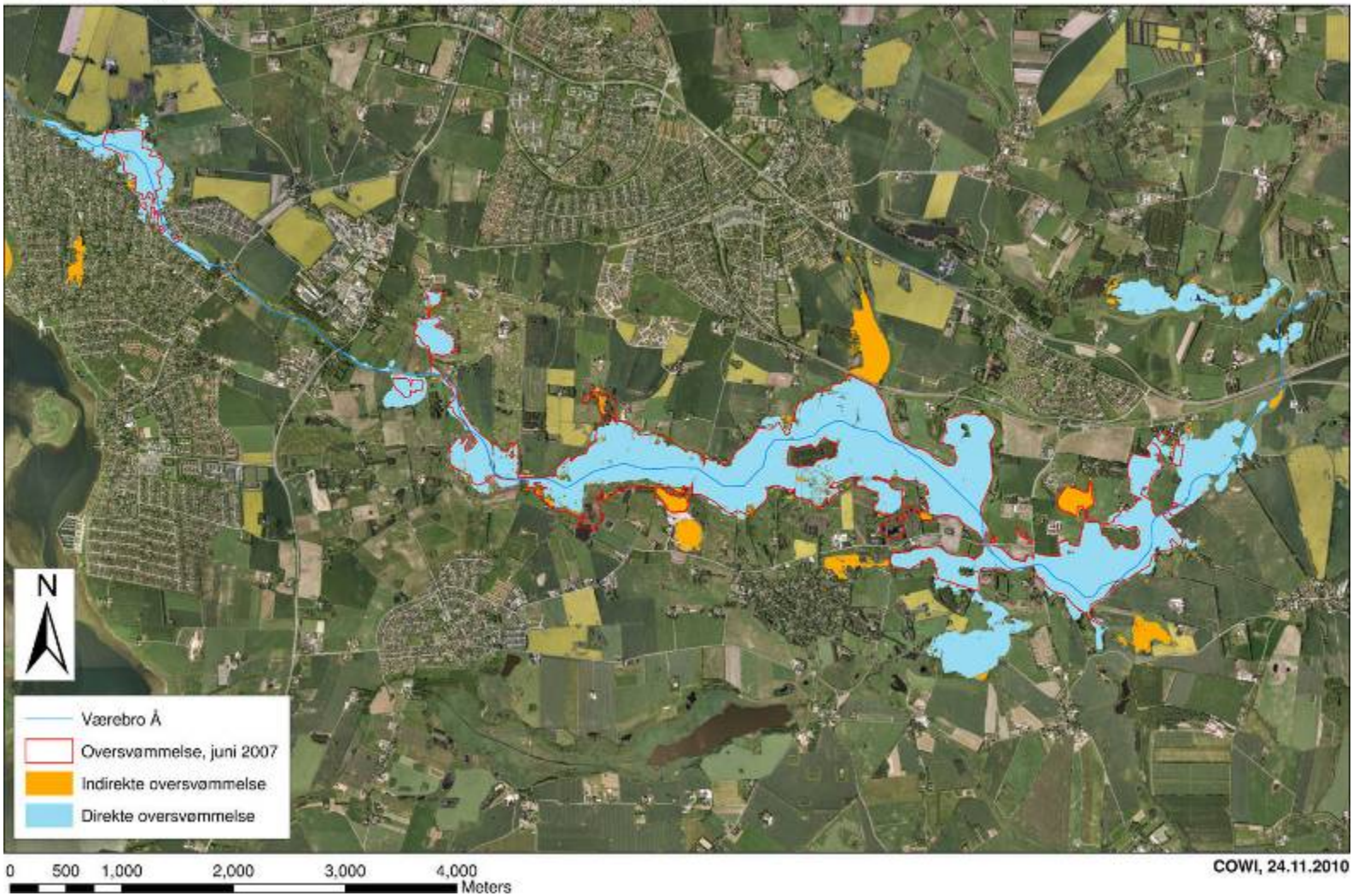
Figur 16 (Bilag 5)

Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, Q50 (Mike 11) , test 19



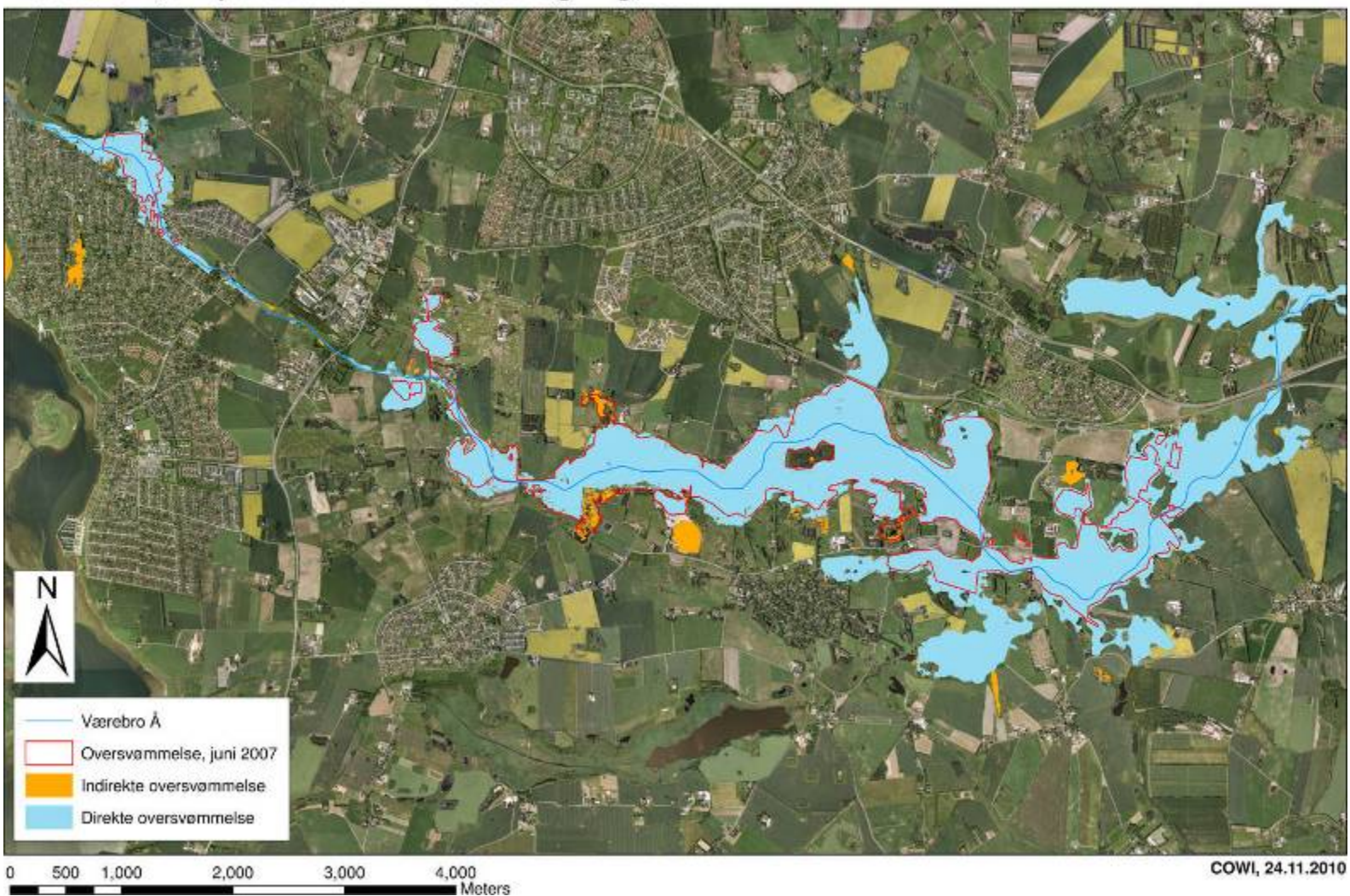
Figur 17 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 20



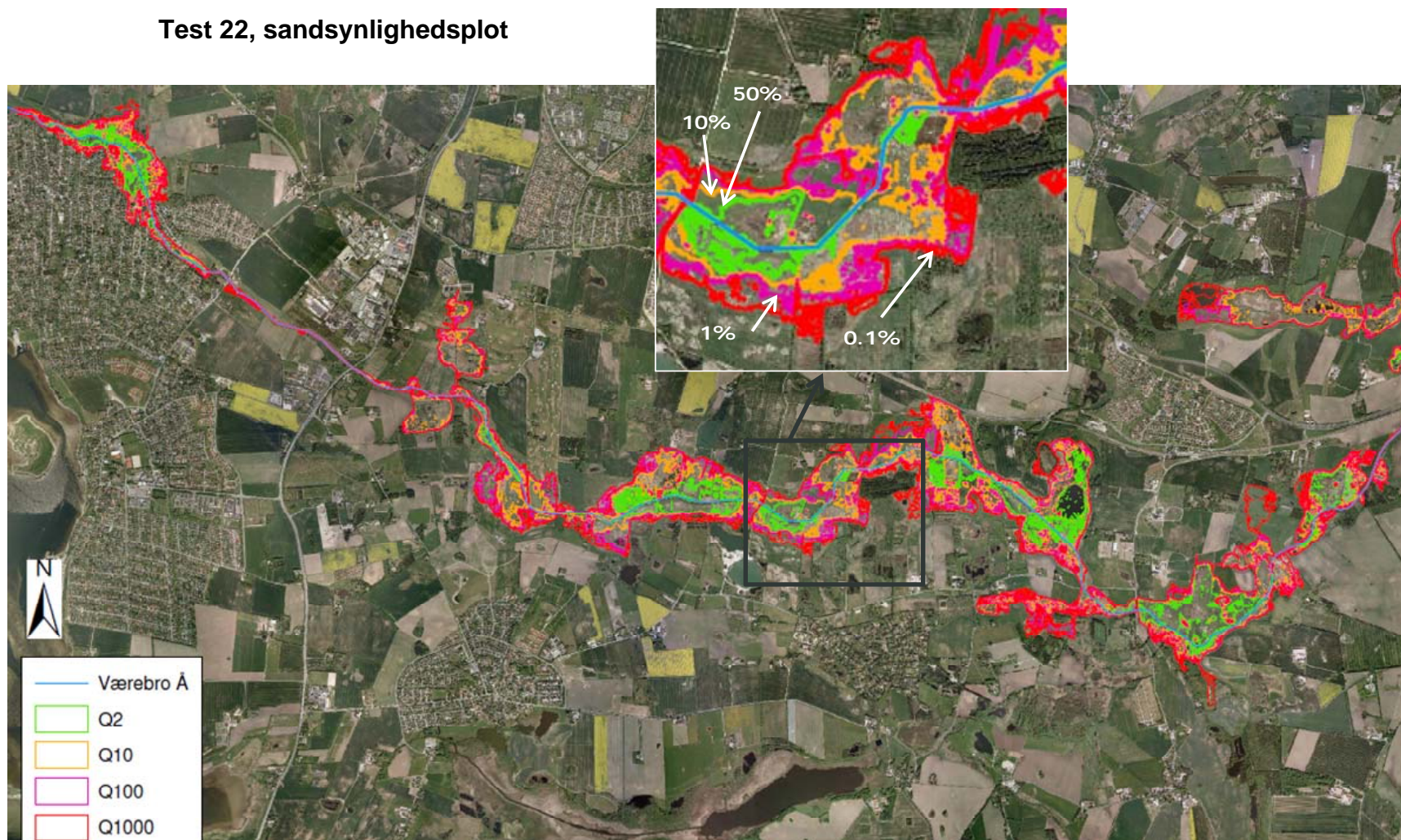
Figur 18 (Bilag 5)

### Værebros Å, simpel oversvømmelsesberegning, test 21



Figur 19 (Bilag 5)

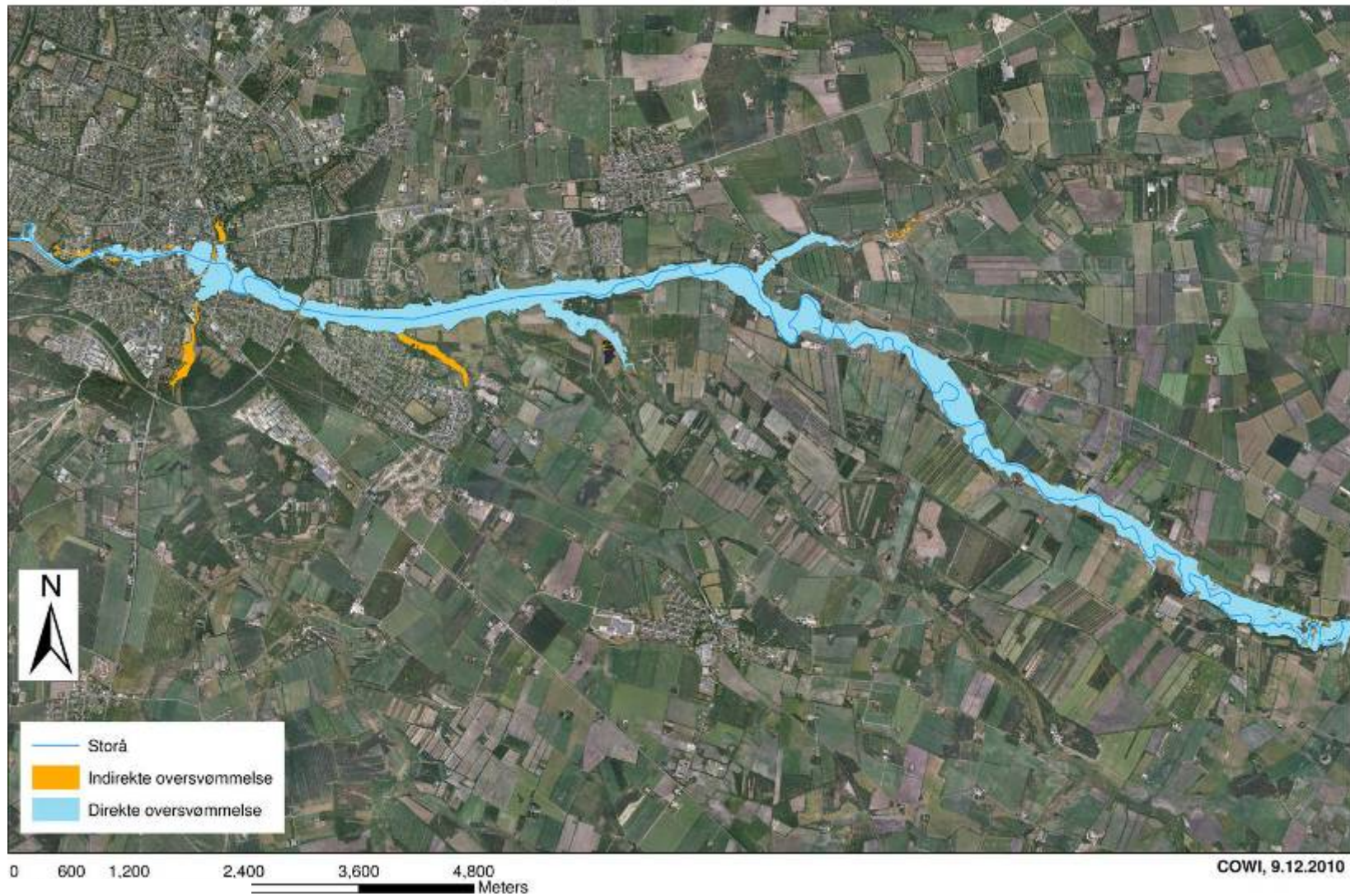
Test 22, sandsynlighedsplot



Figur 20 (Bilag 5)

## Bilag 6: Oversvømmelseskort, Storå

### Storå, simpel oversvømmelsesberegning test 1



Figur 1 (Bilag 6)

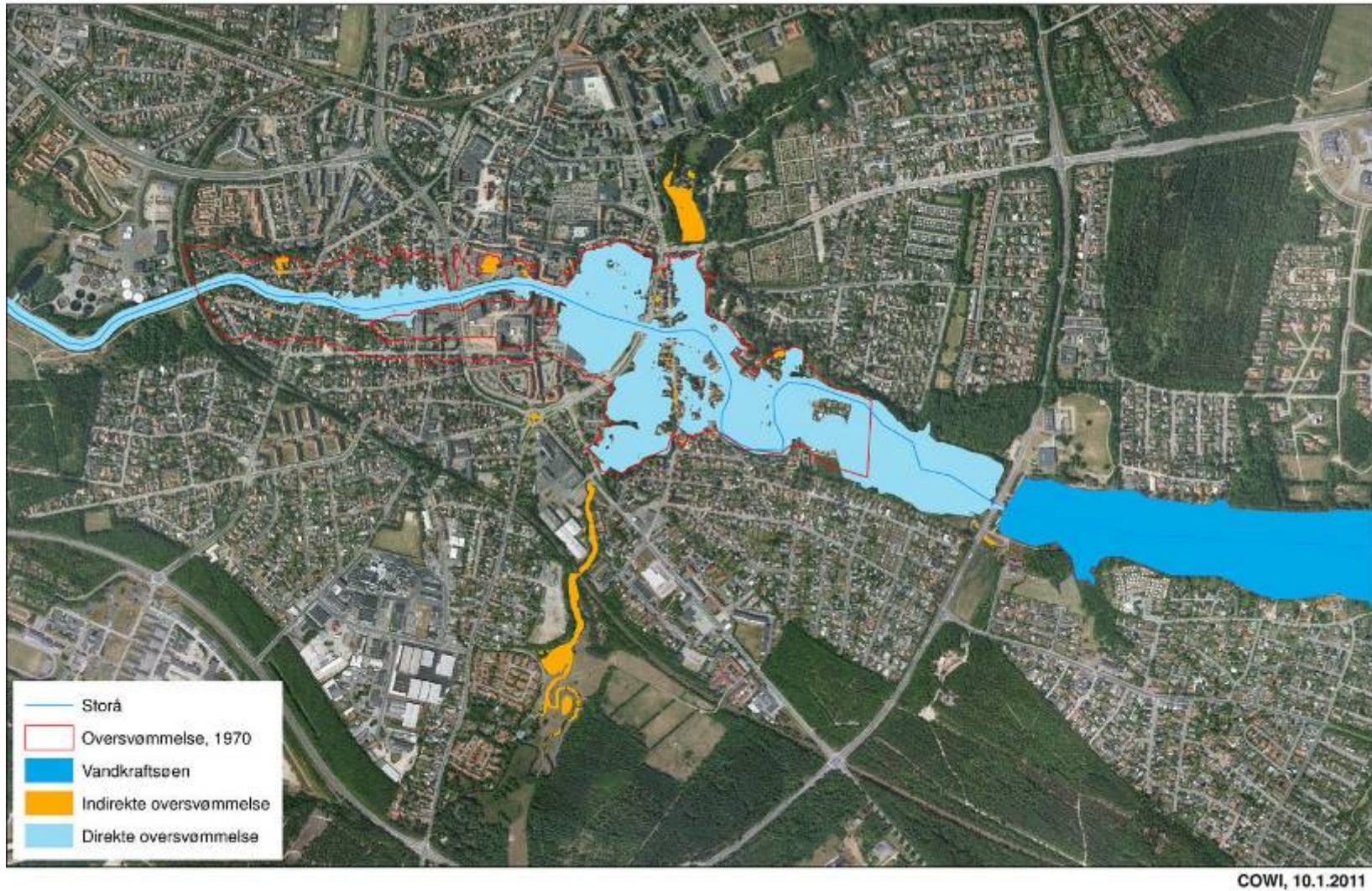


### Storå, simpel oversvømmelsesberegning, test 2



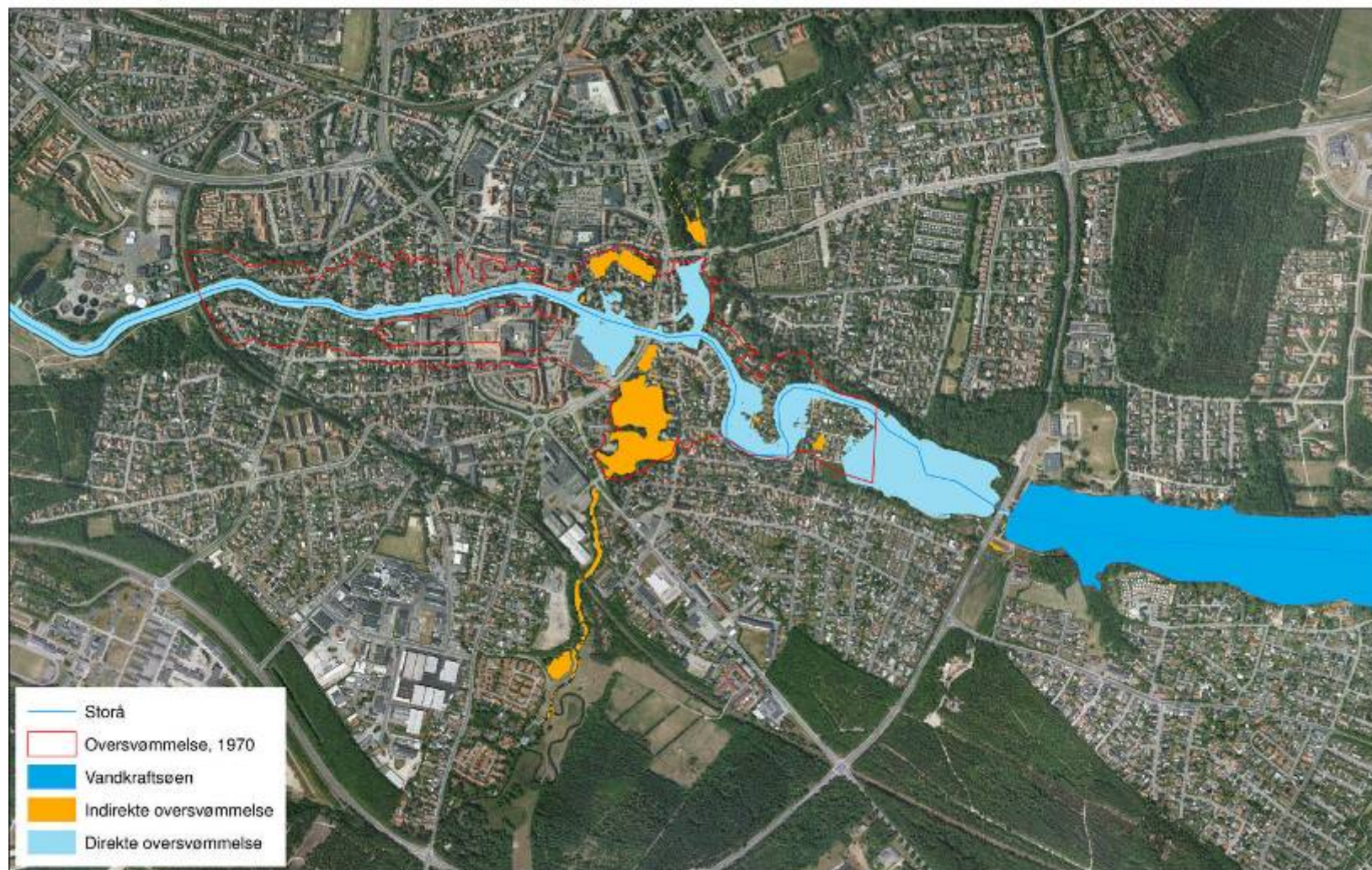
Figur 2 (Bilag 6)

### Storå, simpel oversvømmelsesberegning, test 3



Figur 3 (Bilag 6)

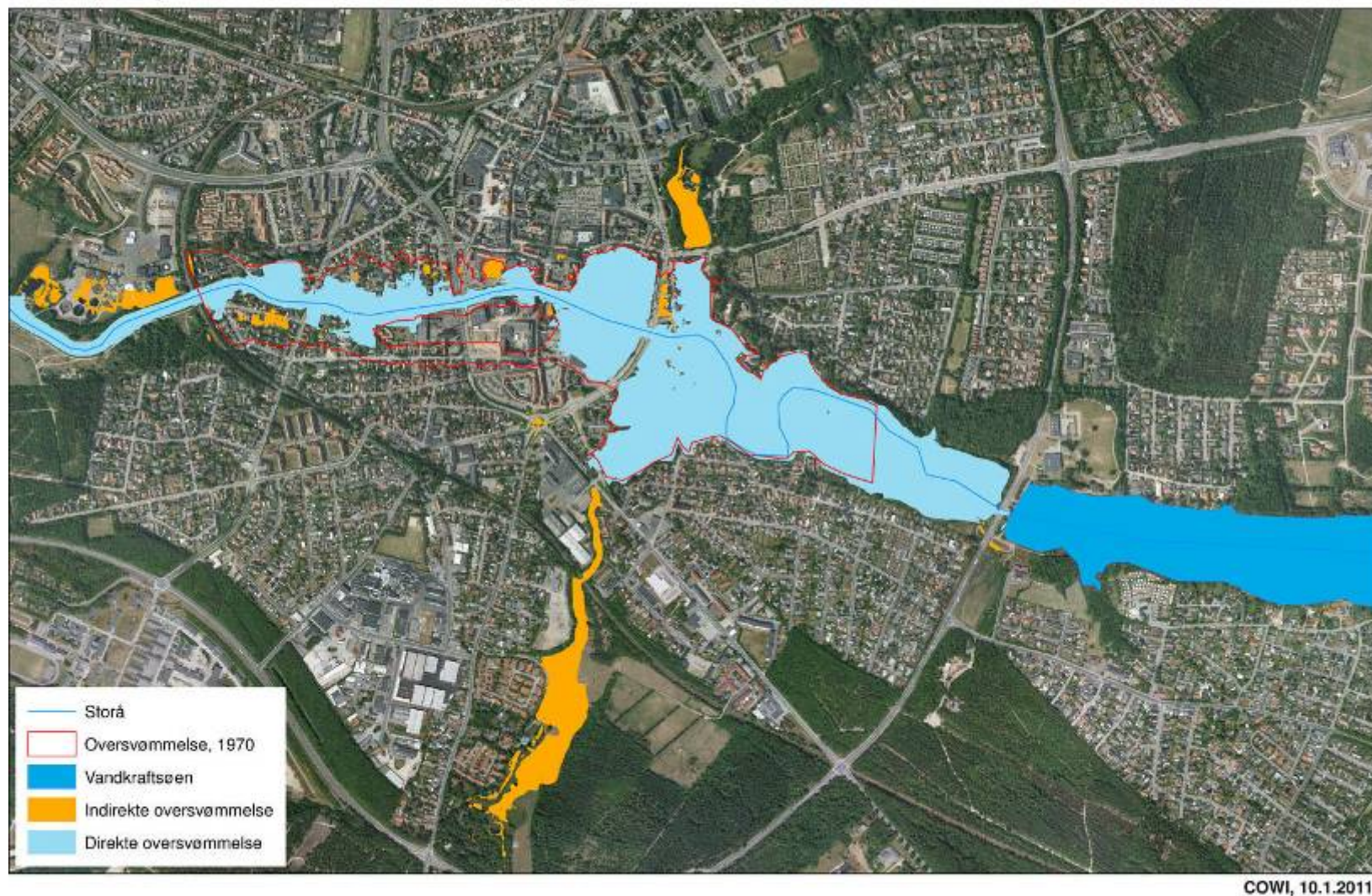
### Storå, simpel oversvømmelsesberegning, test 4



COWI, 13.1.2011

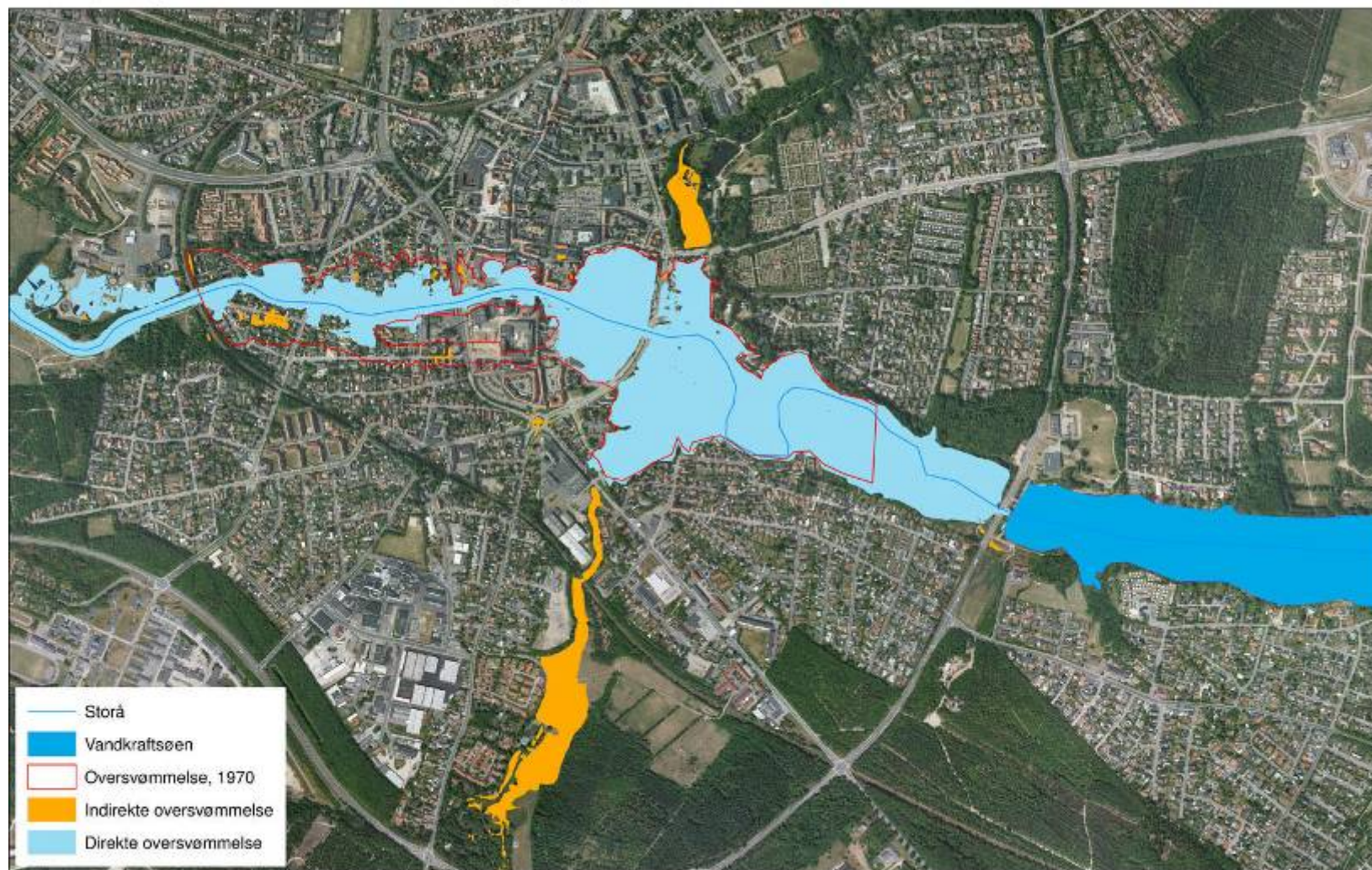
Figur 4 (Bilag 6)

### Storå, simpel oversvømmelsesberegning, test 5



Figur 5 (Bilag 6)

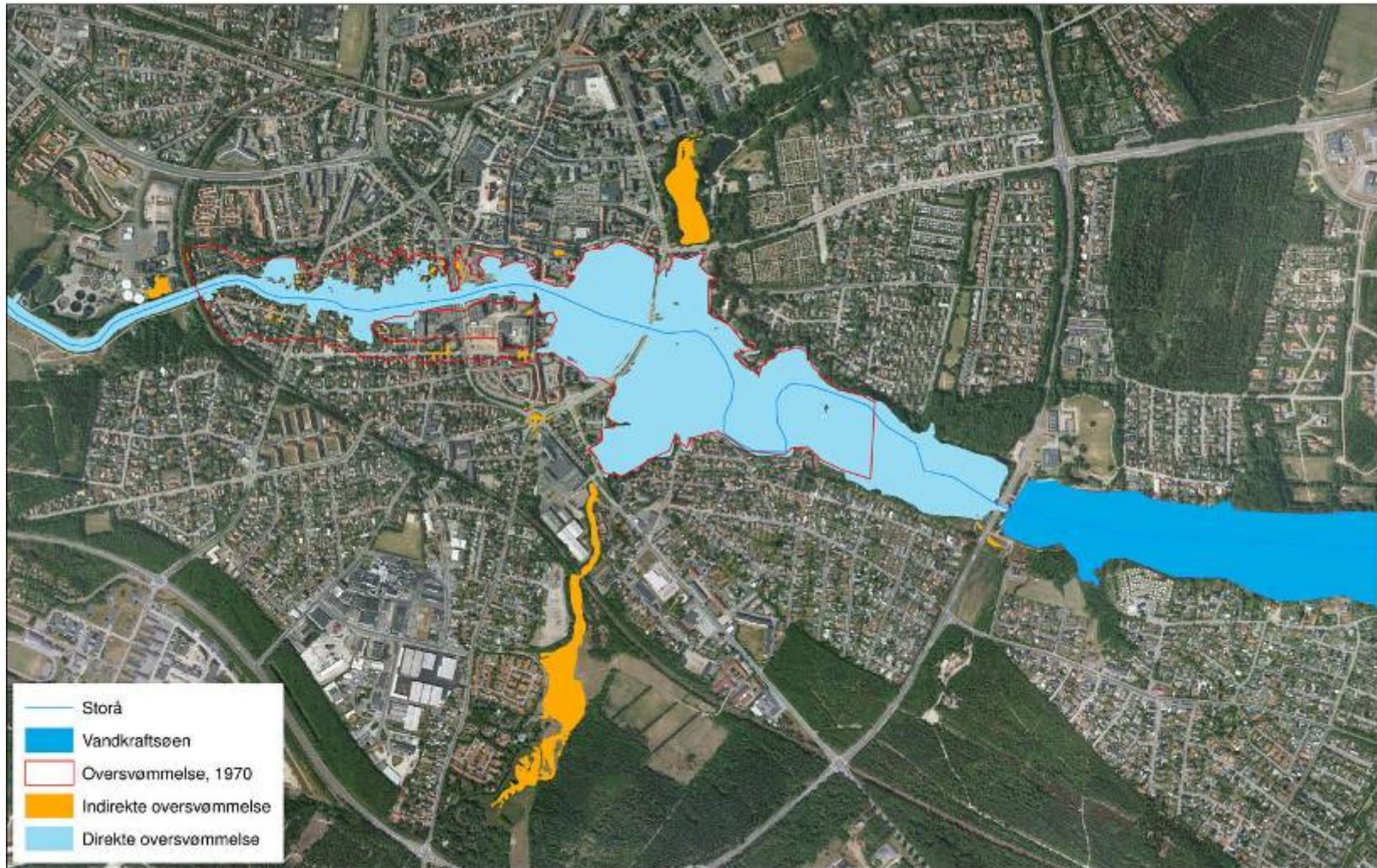
### Storå, simpel oversvømmelsesberegning, test 6



COWI, 9.12.2010

Figur 6 (Bilag 6)

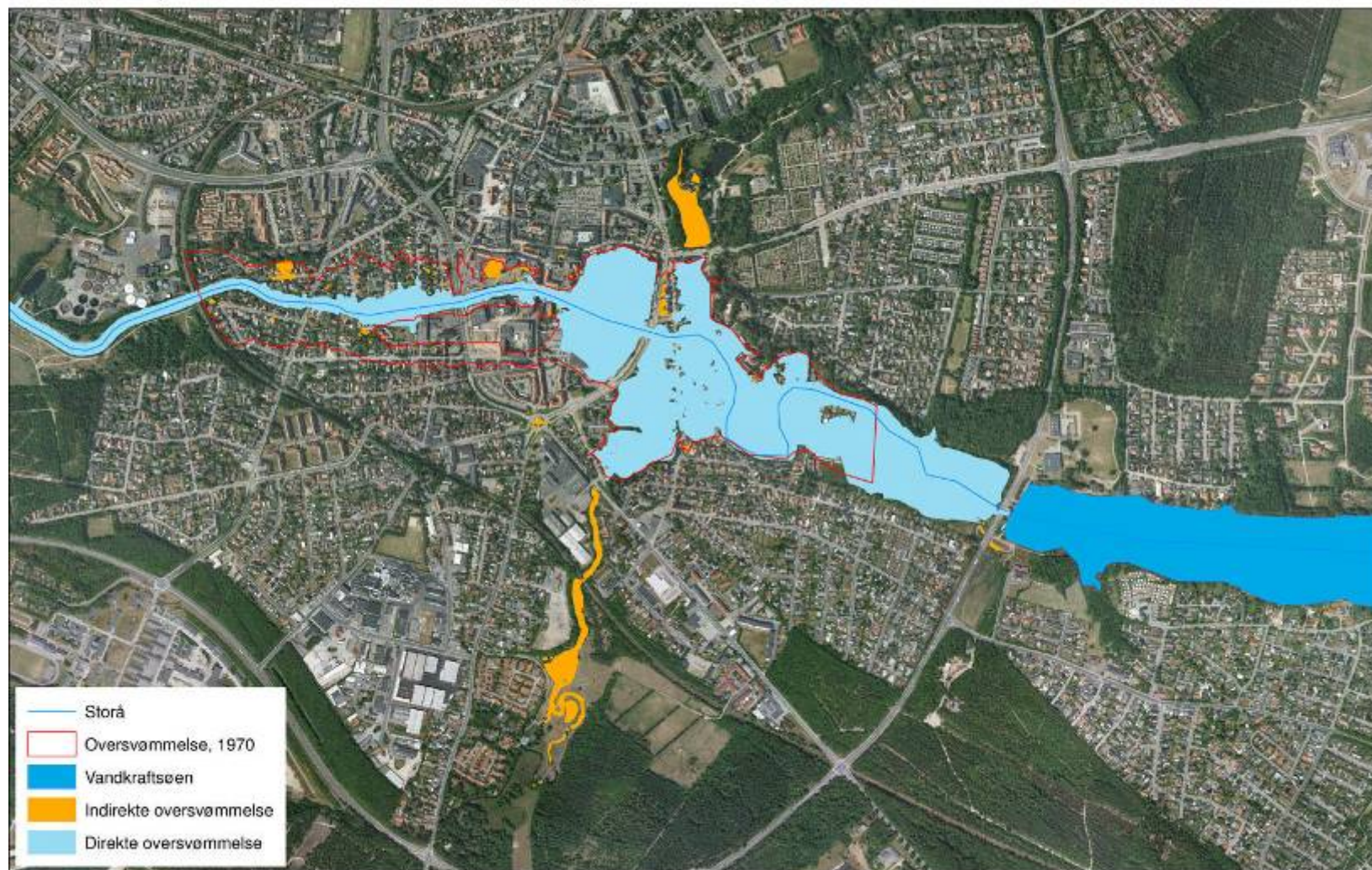
### Storå, simpel oversvømmelsesberegning, test 7



COWI, 9.12.2010

Figur 7 (Bilag 6)

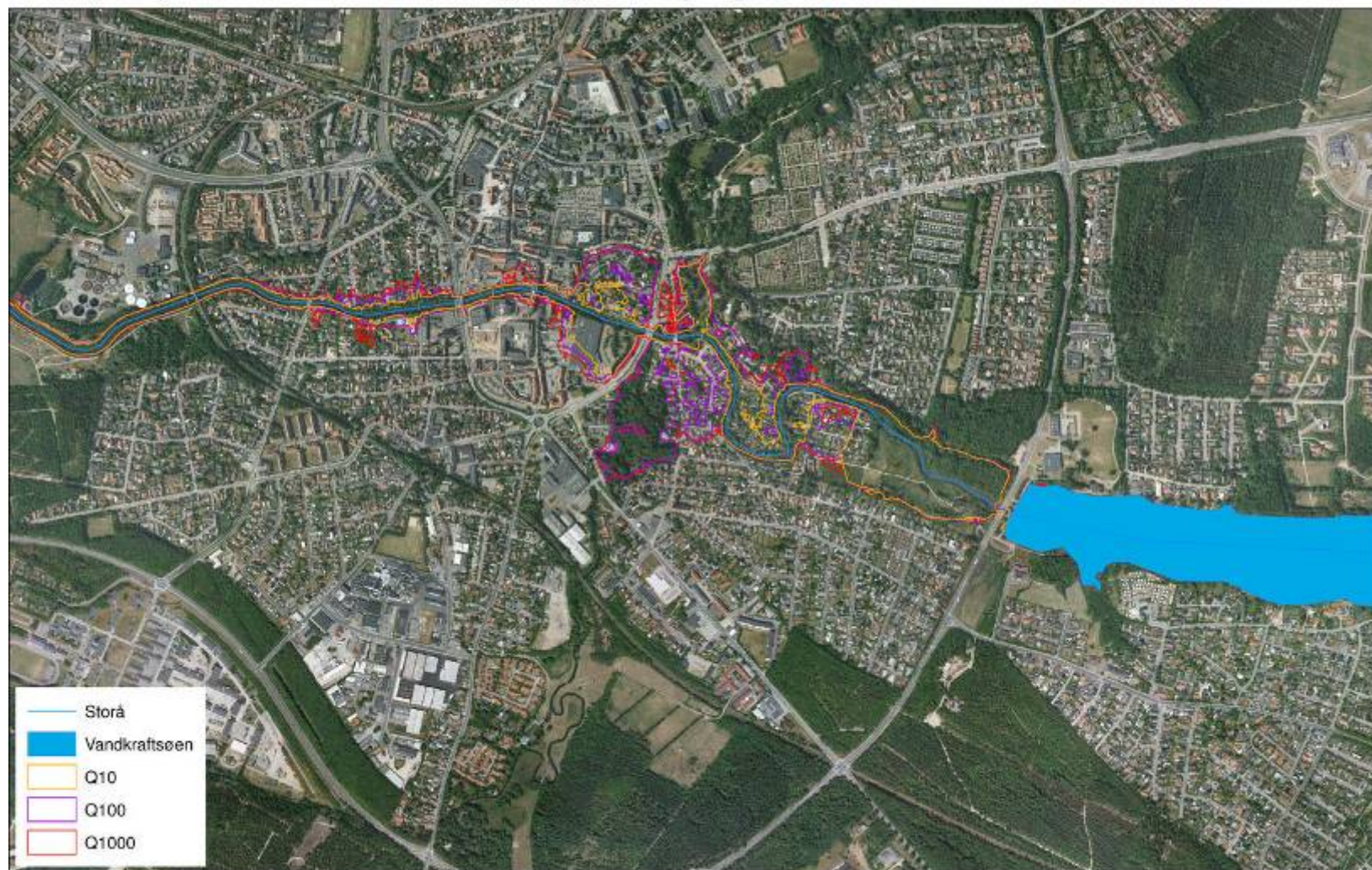
### Storå, simpel oversvømmelsesberegning, test 8



COWI, 13.1.2011

Figur 8 (Bilag 6)

**Storå, simpel oversvømmelsesberegning, sandsynlighedskort , test 9**



COWI, 13.1.2011

Figur 9 (Bilag 6)







Naturstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø  
[www.nst.dk](http://www.nst.dk)