

Undersøgelse LAR-løsninger under klimabetingede grundvandsstigninger i Koldingområdet

Per Rasmussen, Torben O. Sonnenborg & Jacob Kidmose

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND,
ENERGI-, FORSYNINGS- OG KLIMAMINISTERIET



GEUS

Undersøgelse af LAR-løsninger under klimabetingede grundvandsstigninger i Koldingområdet

Projektet er gennemført i samarbejde mellem GEUS, Kolding Kommune og Region Syd med bidrag fra BlueKolding og TREFOR

Per Rasmussen, Torben O. Sonnenborg & Jacob Kidmose

Indhold

1.	Indledning	5
2.	Modelområde og datagrundlag	7
2.1	Modelområde	7
2.2	Hydrologiske observationer.....	8
2.3	Dræning	9
2.4	Kloakering.....	10
2.5	Befæstelse.....	11
3.	Metode	13
3.1	Hydrologisk model	13
3.2	Geologisk model	13
3.3	Vandløb	15
3.4	Dræning og kloakering.....	16
3.4.1	Detaljeret af drændybder.....	16
3.4.2	Indstrømningsforhold til dræn og kloak	17
3.5	Befæstelse.....	22
3.5.1	Implementering af LAR i den hydrologiske model	24
3.6	Kalibrering af model	25
3.7	Fremskrivning af klima	26
3.8	Klima LAR-scenarier	28
3.9	Valgfrie LAR-scenarier	29
3.10	Dataanalyse og præsentation	32
3.10.1	Risikokort	32
3.10.2	Ekstremværdianalyse.....	32
3.10.3	Præsentation af scenarieresultater	32
4.	Resultater	35
4.1	Kalibreringsresultat	35
4.2	Model-parametre.....	38
4.3	Grundvandsstand under nutidigt klima.....	38
4.4	Grundvandsstand under fremtidigt klima	44
4.5	Valgfrie scenarier	66
5.	Konklusion	95
6.	Referencer	97

[tom side]

1. Indledning

Den stigende hyppighed af kraftige regnskyl har betydet et stigende behov for at finde nye løsninger til afledning af regnvand ikke mindst i byområder. En af disse løsninger er lokal afledning af regnvand, de såkaldte LAR-løsninger.

Formålet med nærværende opgave har været at opstille en hydrogeologisk model, som er i stand til at belyse konsekvenserne af LAR-løsninger under nuværende og fremtidige klimaforhold, og på den baggrund at udpege områder, hvor det ikke kan anbefales at anvende LAR løsninger.

I 2012 opstillede GEUS en hydrologisk model for Koldingområdet til undersøgelse af klimabetingede grundvandsstigninger (Sonnenborg og Kidmose 2012). Der er taget udgangspunkt i denne modelopsætning og foretaget ændringer med hensyn til dræningsforholdene i byområder, primært i Kolding by. Relevante afsnit fra 2012 rapporten er med få ændringer gengivet i denne rapport således at denne rapport giver en sammenhængende beskrivelse af modelområdet, datagrundlaget og de anvendte metoder.

I nærværende model, 2017-LAR-modellen, er der foretaget en deltajering af drændybder, dræneffektivitet og befæstelsesgrader i byområder. Desuden er der fokus på dybden til grundvandsspejlet under forskellene nedbørshændelser, fx for en 10-års-hændelse.

I det følgende beskrives opstillingen af den reviderede hydrologiske klimatilpasningsmodel for området omkring Kolding. Formålet med den reviderede model er at kunne give en troværdig og nuanceret beskrivelse af vandkredsløbet i Kolding-området, herunder den urbane hydrologi. Ønsket med modellen er at kunne kvantificere effekten af LAR-løsninger på grundvandsstandens rumlige og tidlige variation for både nuværende og fremtidigt klima. Fokus er rettet mod at beskrive dybden til det terrænære grundvand som funktion af sted, tid og forvaltning af vandressourcerne, for herved at identificere hvilke områder, der ikke er egnede til LAR løsninger.

Modellen anvendes til at kvantificere, hvordan grundvandsstanden påvirkes af LAR-løsninger og klimaændringer, enkeltvis eller i kombination. Det skal bemærkes, at modellen ikke vil kunne belyse, hvor det konkret vil være hensigtsmæssigt at etablere LAR-løsninger, da dette bl.a. afhænger af lokale permeabilitetsforhold på en given parcel. Til dette formål bør den geologiske model anvendes i kombination med lokale målinger af infiltrationsforholdene.

I nærværende rapport er betegnelserne LAR og LAR-løsninger brugt synonymt med nedsivning. Begrebet LAR dækker over mere end selve nedsivningen af regnvand i jorden, bl.a. også forsinkelse (midlertidig magasinering, opstuvning), fordampning, transport, og rensning af regnvand.

Projektet er gennemført i tæt samarbejde mellem GEUS, Kolding Kommune og Region Syd, med bidrag fra både BlueKolding og TREFOR. Arbejdet bygger videre på eksisterende viden på nationalt niveau, bl.a. den nationale vandressource model DK-modellen. Herudover er

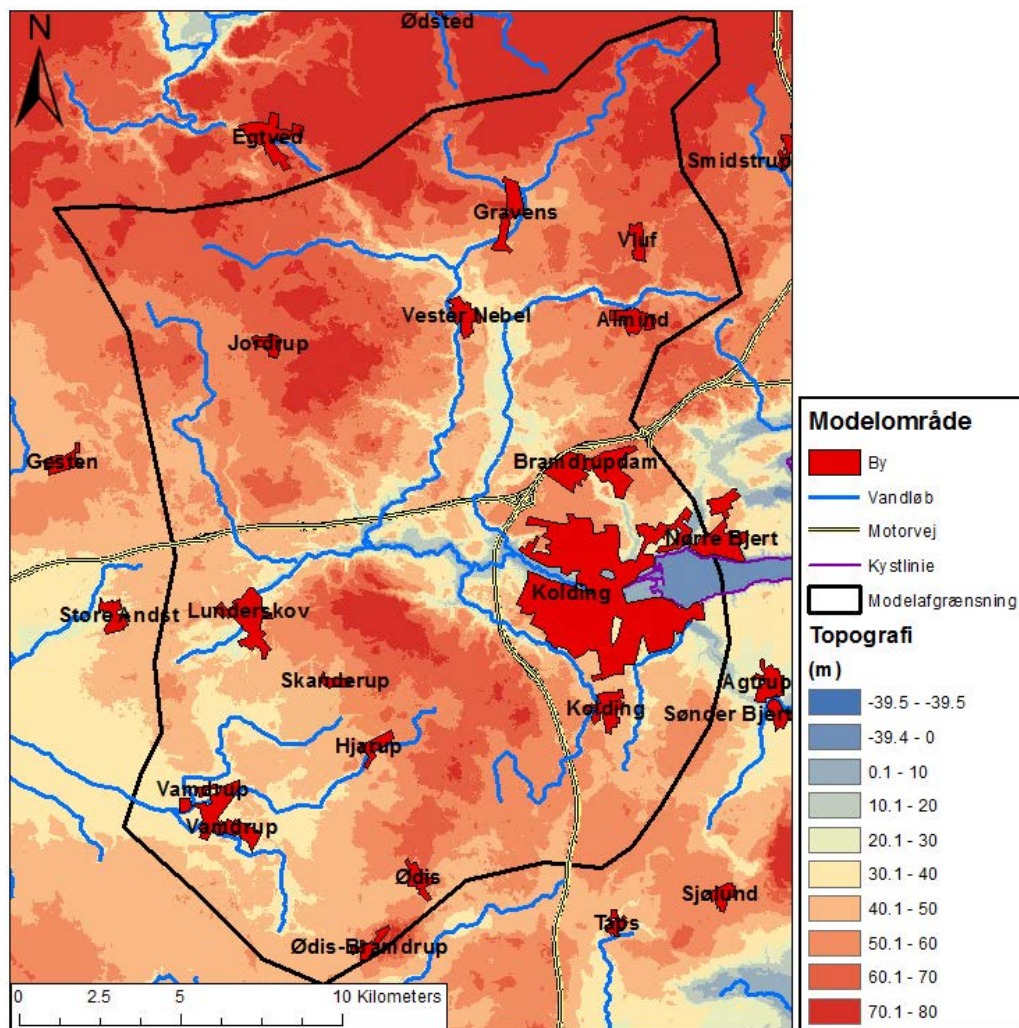
Region Syddanmarks store datamængde fra den terrænnære geologi og hydrologi, samt data fra Kolding Kommune, BlueKolding og TREFOR anvendt i projektet.

Den hydrologiske model er et initiativ i den Regionale Udviklingsplan for Region Syddanmark med det konkrete formål at understøtte dispositioner og investeringer i forhold til klimatilpasning. Tidlige erfaringer med klimaløsninger kan desuden indebære erhvervsmæssige fordele.

2. Modelområde og datagrundlag

2.1 Modelområde

Den hydrologiske model er opstillet for det topografiske opland til Kolding Å samt oplandet til vandføringsstation 36.07 i Kongeåen vest for Vamdrup (Figur 2-1). Modelområdet, som er afgrænset på baggrund af grundvandets strømningsretning, har et areal på i alt 378 km². Området er karakteriseret som et typisk østdansk morænelandskab, med et kuperet terræn domineret af moræneler i de overfladenære lag. Arealanvendelse udgøres primært af landbrug mens by, skov og vådområder mm kun udgør en mindre del af området (Sonnenborg og Kidmose 2012).

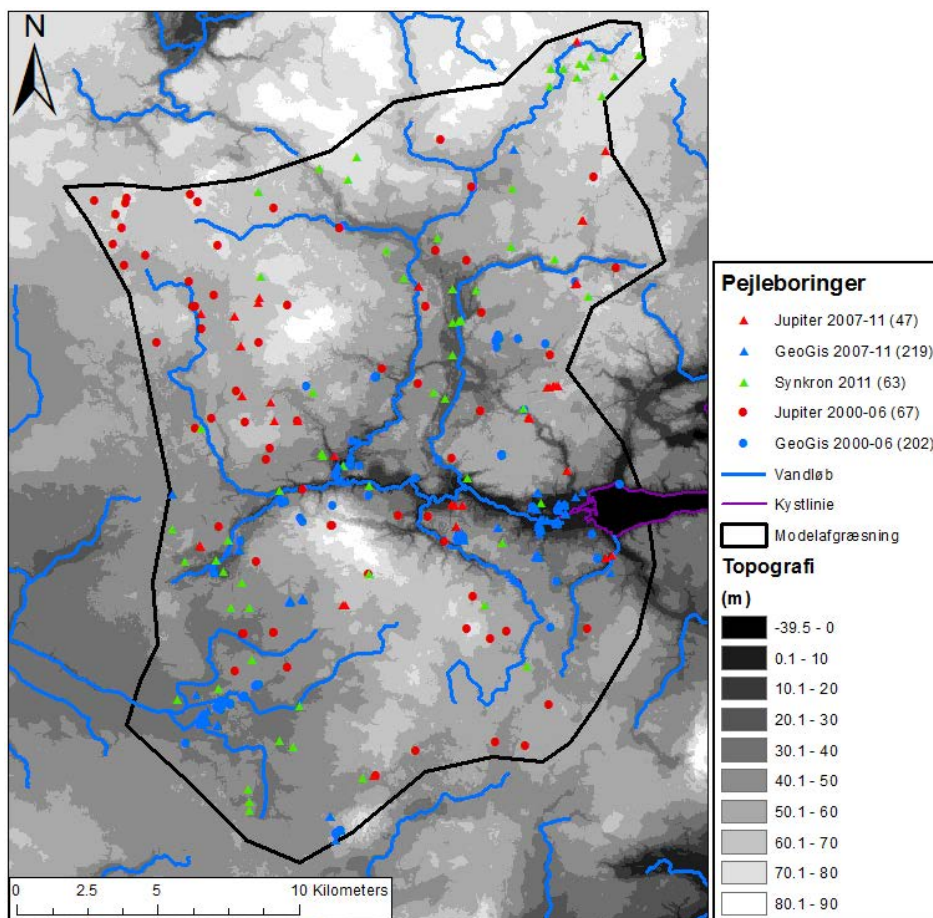


Figur 2-1. Afgrænsning af modelområdet for Kolding-modellen.

2.2 Hydrologiske observationer

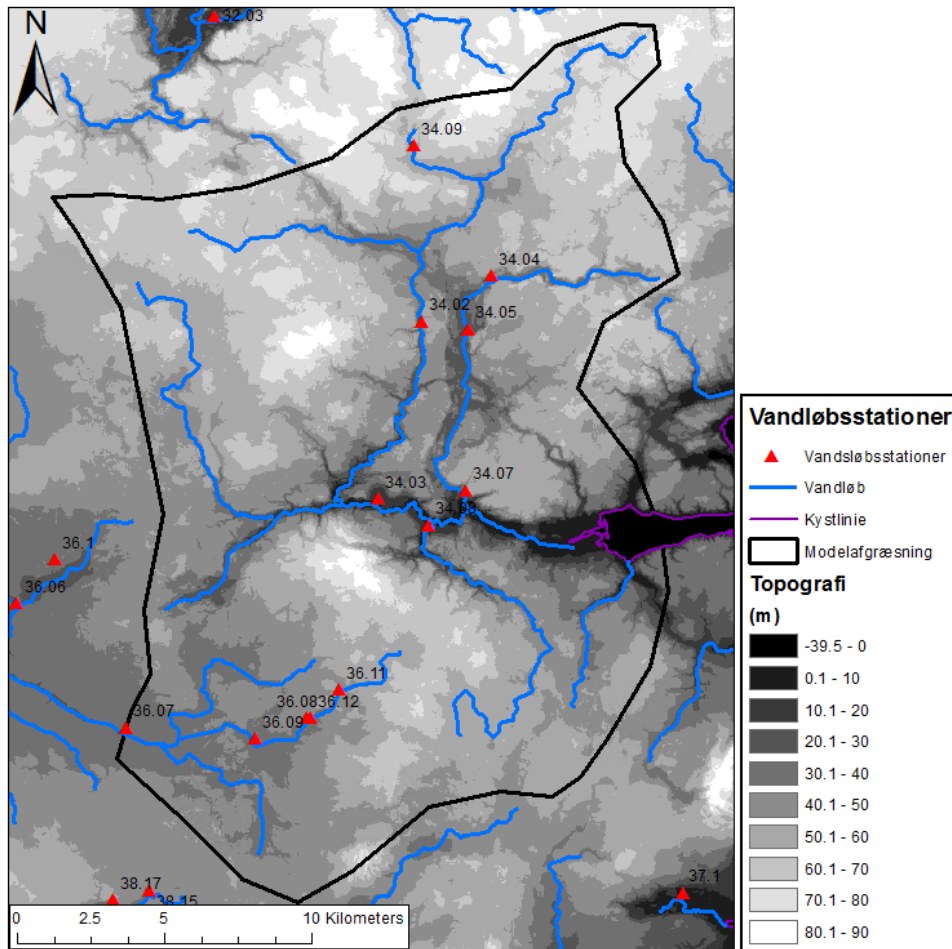
Til kalibrering af den opstillede hydrologiske model er der anvendt data for grundvandsstand og vandløbsafstrømning. Det anvendte datagrundlag for den her beskrevne model er det samme datagrundlag som blev anvendt ved modelkalibreringen af 2012-modellen.

Der er anvendt tre typer datasæt for grundvandsstand. Det første datasæt udgøres af observationer, som er tilgængelige i den nationale database Jupiter. Disse data anvendes også i opstillingen af den nationale vandressourcemodel (DK modellen). Det andet datasæt er fra Region Syddanmarks GeoGis database, som indeholder pejlinger af grundvandsstanden i boreriger udført i forbindelse med regionens forureningsundersøgelser. Disse vandstandsdata er ikke tilgængelige i Jupiter. Datasæt nummer tre er indsamlet i forbindelse med projektet i 2012, hvor primært terrænnære boreriger og brønde blev lokaliseret og pejlet under en synkronpejlerunde. Jupiter data og GeoGis data er opdelt i to tidsperioder, 2000-06 og 2007-11, hvor den første periode ligger udenfor kalibreringsperioden og den sidste periode ligger indenfor kalibreringsperioden. I Figur 2-2 ses den rumlige fordeling af data for grundvand i oplandet, hvor også antallet af pejlinger i hvert datasæt er angivet. Udnyttelse af data fra GeoGis og synkronpejlingerne foretaget i 2011 giver en betydeligt bedre beskrivelse af grundvandsstandens rumlige variation i oplandet, end data udelukkende fra Jupiter gør. Anvendelse af disse data i kalibreringen forventes at forbedre modellen betydeligt.



Figur 2-2. Geografisk placering af boreriger, hvor der er gennemført pejlinger af grundvandsstanden. Antallet af grundvandspejlinger for hver datatype er angivet i parentes.

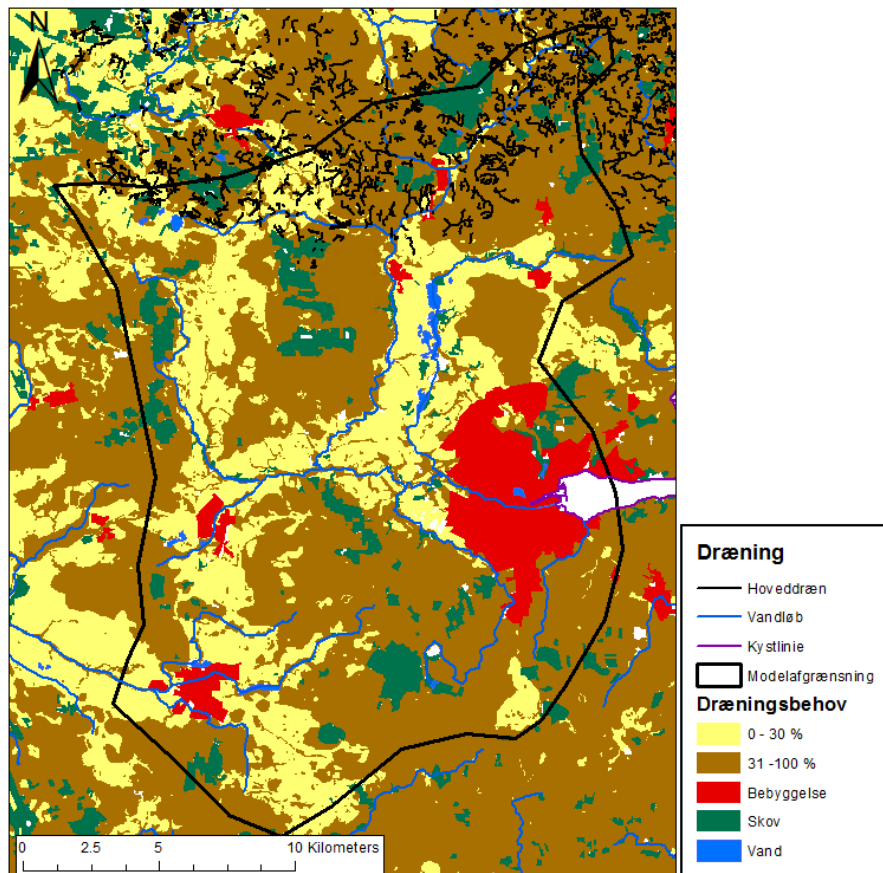
Vandløbsafstrømning fra tilgængelige vandløbsmålestationer er inddraget. Der er data til rådhedighed fra 7 stationer, se Figur 2-3.



Figur 2-3. Placering af vandløbsstationer i oplandet til Kolding.

2.3 Dræning

Over 50% af landbrugsarealet i Danmark er estimeret til at være drænet (Olesen, 2009). Drænene forventes at have stor betydning for, hvor højt grundvandsspejlet kan stige. Drænene er typisk installeret i en dybde på 0,5-1,0 m under terræn. Hvis grundvandsspejlet stiger op til drænniveau, vil grundvandet strømme til drænene og grundvandsstanden vil derfor ligge dybere, end hvis der ikke var installeret dræn. Identifikation af, hvor der er installeret dræn, er derfor vigtigt i nærværende forbindelse, hvor fokus netop er på at udpege arealer, som er sårbare overfor stigninger i grundvandsspejlet. Desværre findes der ikke landsdækkende digitale kort, hvoraf placeringen af dræn fremgår. Orbicon er i besiddelse af et drænarkiv, som indeholder drænprojekter, der er projekteret af Hedeselskabet/Orbicon. Dette arkiv er desværre kun tilgængeligt på papirformat, og det har ikke været muligt at digitalisere data for modelområdet indenfor rammerne af nærværende projekt. Digitaliserede drændata er til gengæld tilgængelig for Vejle Kommune, som dækker den nordlige del af modelområdet, se Figur 2-4.



Figur 2-4. Digitaliserede hoveddræn i Vejle Kommune baseret på Orbicons drænarkiv. Desuden ses estimater for potentielt dræningsbehov opdelt på hhv. lavt (0-30%) og højt (31-100%) dræningsbehov (Olesen, 2009).

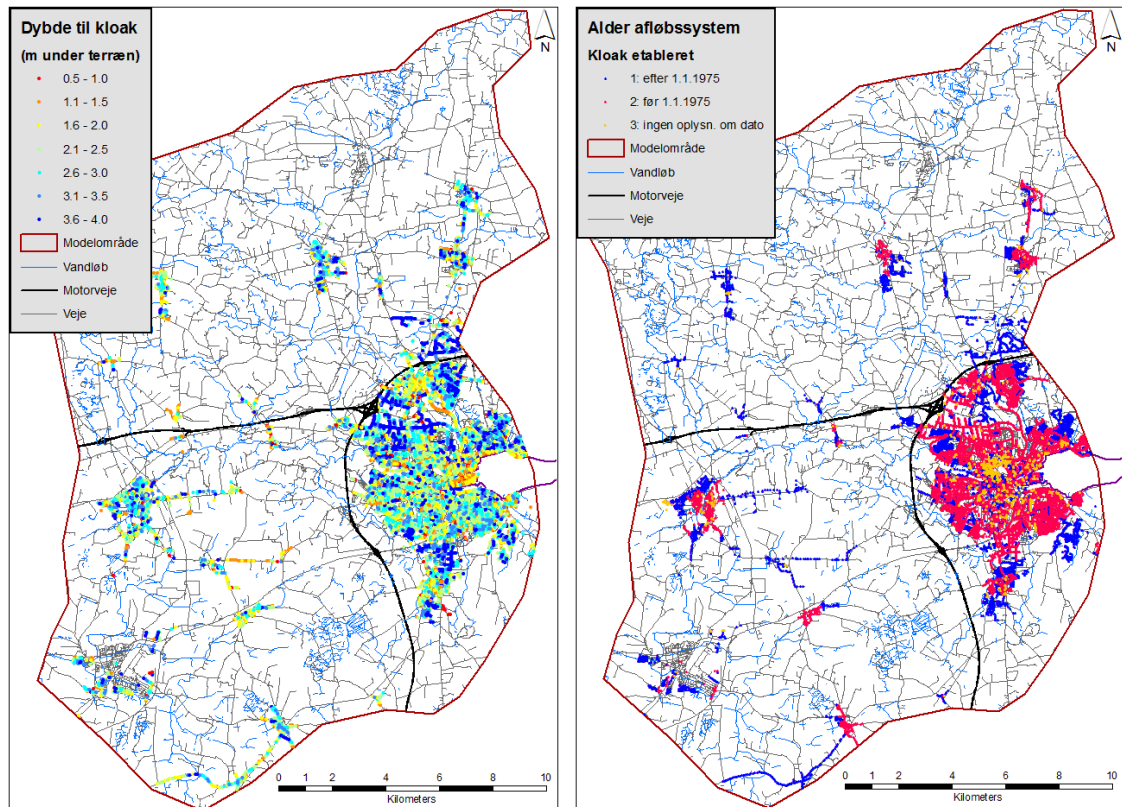
I Olesen (2009) findes et landsdækkende kort over det potentielle dræningsbehov i Danmark. I Figur 2-4 ses dræningsbehovet for oplandet til Kolding opdelt i 2 klasser på henholdsvis over og under 30%. I områder med moræneler findes typisk et højt dræningsbehov, mens der på sandede jorde findes et lavt dræningsbehov.

2.4 Kloakering

I 2012-modellen var der foretaget en opdeling af modelområdet i arealer med henholdsvis høj og lav dræneffektivitet, som primært beskrev markdræn. I 2017-LAR-modellen for Kolding foretages der i byområder en yderligere opdeling af drænsystemet med to drænklasser baseret på kloakledningernes tæthed. I byområder, hvor der er oplysninger om kloakledningernes alder, renovering og dybde under terræn, erstattes den tidligere opdeling i drænzoner med to nye drænzoner. Det vil sige at i byområder er den eneste dræning i den hydrologiske model, den dræning der sker via kloakker.

BlueKontrol har foretaget databaseudtræk medio januar og primo februar 2017, som har givet oplysninger om 32.375 kloakledninger med tilhørende opstrøms og nedstrøms knudepunkter i Koldingområdet. Inden for modelområdet indeholder datasættet oplysninger om i

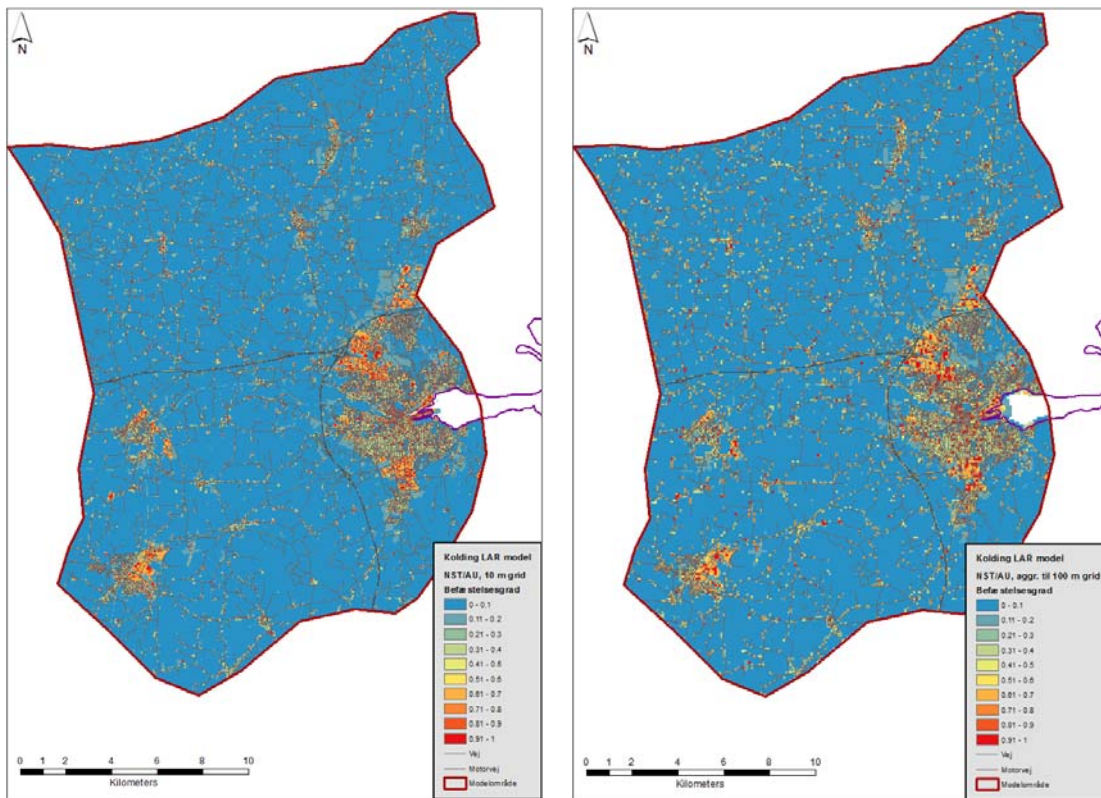
alt 18.075 kloakledninger, hvor der er data for både terrænkote og bundkote samt oplysninger om etableringstidspunkt og tidspunkt for eventuel renovering (Figur 2-5).



Figur 2-5. Kortet til venstre viser kloakledningernes dybde under terræn i modelområdet. Kortet til højre viser kloakledningernes alder grupperet efter etableringstidspunkt før eller efter 1.1.1975.

2.5 Befæstelse

Befæstelsesgraden i 2017-LAR-modellen er forbedret i forhold til 2012-modellen ved at benytte data fra korttemaet 'Befæstelsesgrad' udarbejdet af Naturstyrelsen og Aarhus Universitet (2012). Dette korttema kaldes ofte for 'Basemap'. Korttemaet viser befæstelsesgraden i et landsdækkende 10 m grid. Data er hentet fra hjemmesiden www.kortforsyningen.dk, og der er på grundlag af dette 10 m grid beregnet en gennemsnitlig befæstelsesgrad for hvert af modellens 100 m grid (Figur 2-6). I 2012-modellen var fordelingen af befæstelsesgrader baseret på data fra et 500 m grid.



Figur 2-6. Befæstelsesgrad for modelområde. Datagrundlaget 10 m grid (Basemap), venstre figur. Beregnet gennemsnitlig befæstelsesgrad for hvert af modellens 100 m grid, højre figur. Datakilde: Naturstyrelsen og Aarhus Universitet (2012), se: www.kortforsyningen.dk.

3. Metode

3.1 Hydrologisk model

Opstillingen af en klima-hydrologisk LAR-model for Kolding primo 2017 bygger videre på den grundvandsmodel, som blev udviklet i projektet "Undersøgelse af klimabetingede grundvandsstigninger i pilotområde Kolding" (Sonnenborg og Kidmose, 2012).

Modellen, som er opstillet for Kolding, er baseret på DK-modellen (Højberg et al., 2010). I Kolding-modellen er den horisontale opløsning øget fra en cellestørrelser på 500 m til 100 m, og der opnås dermed en bedre beskrivelse af topografien og grundvandsstandens rumlige variation. Modellen beskriver på baggrund af data for nedbør, temperatur og potentiel fordampning hele det landbaserede hydrologiske kredsløb, herunder grundvandsstrømning, vandløbsafstrømning, overfladisk afstrømning og aktuel fordampning.

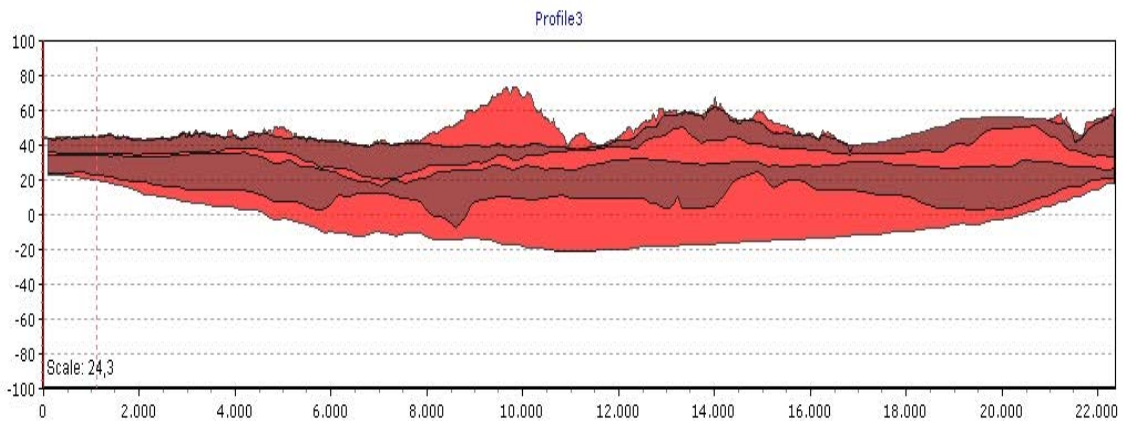
Udover en højere rumlig opløsning sammenlignet med DK-modellen, blev 2012-Kolding-modellen forbedret på følgende punkter: (1) Der er opstillet en ny geologisk model for de overfladenære lag, svarende til den kvartære lagserie; (2) vandløbssystemet er udbygget og justeret; (3) den rumlige fordeling af dræn er detaljeret; og (4) modellen er kalibreret mod et forbedret grundvandsdatasæt. Nedenfor beskrives de ændringer, som der yderligere er foretaget i 2017-LAR-modellen.

I forhold til 2012-modellen er der foretaget ændringer med hensyn til dræning og befæstelse i 2017-LAR-modellen. Grundvandsmodellens drænsystem er gjort mere detaljeret både med hensyn til drænenes dybde og drænenes effektivitet i byområder. Desuden er den geografiske fordeling af befæstede områder og befæstelsesgrader gjort mere detaljeret.

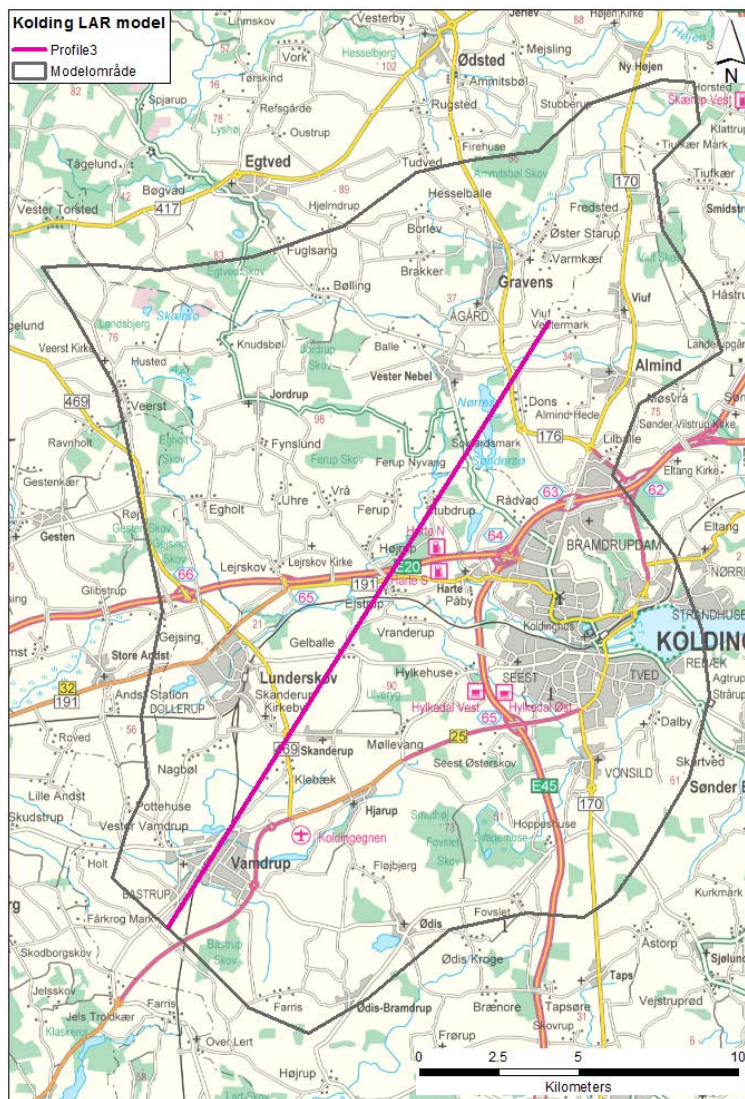
3.2 Geologisk model

Den geologiske model, som er opstillet for Kolding området bygger på den Nationale Vandressource Model (DK-modellen 2009, Højberg et al., 2010). Modellen er dog opdateret i forhold til den terrænnære geologi, for at opnå en mere detaljeret beskrivelse af de øverste lag. De gennemførte opdateringer af modellen har resulteret i, at de øverste 3 lag i DK-modellen er erstattet med 5 nye lag. De nye lag består af 3 sandlag, som er adskilt af 2 lerenheder. De nye lag er alle en del af den kvartære lagserie, og lagenes mægtigheder og rumlige udbredelse er beskrevet ved hjælp af det geologiske modelværktøj GeoScene (Figur 3-1a og Figur 3-1b). Den gennemførte opdatering har resulteret i, at modellen er mere præcis i sin beskrivelse af den terrænnære geologi.

Datagrundlaget for den gennemførte opdatering har været udtræk fra PC-Jupiter og Gerda databaserne august 2011. Herudover er der anvendt data fra Region Syddanmarks GeoGis database, hvilket har betydet, at modellen har fået tilført 1456 nye borer, som ikke findes i PC-Jupiter-databasen. Yderligere er jordartskortet anvendt til afgrænsning af det øverste sandlag.



Figur 3-1a. Tværsnit fra sydvest mod nordøst gennem modelområdet (Figur 3-1b). Tværsnittet viser udbredelsen af de 5 øverste geologiske enheder.

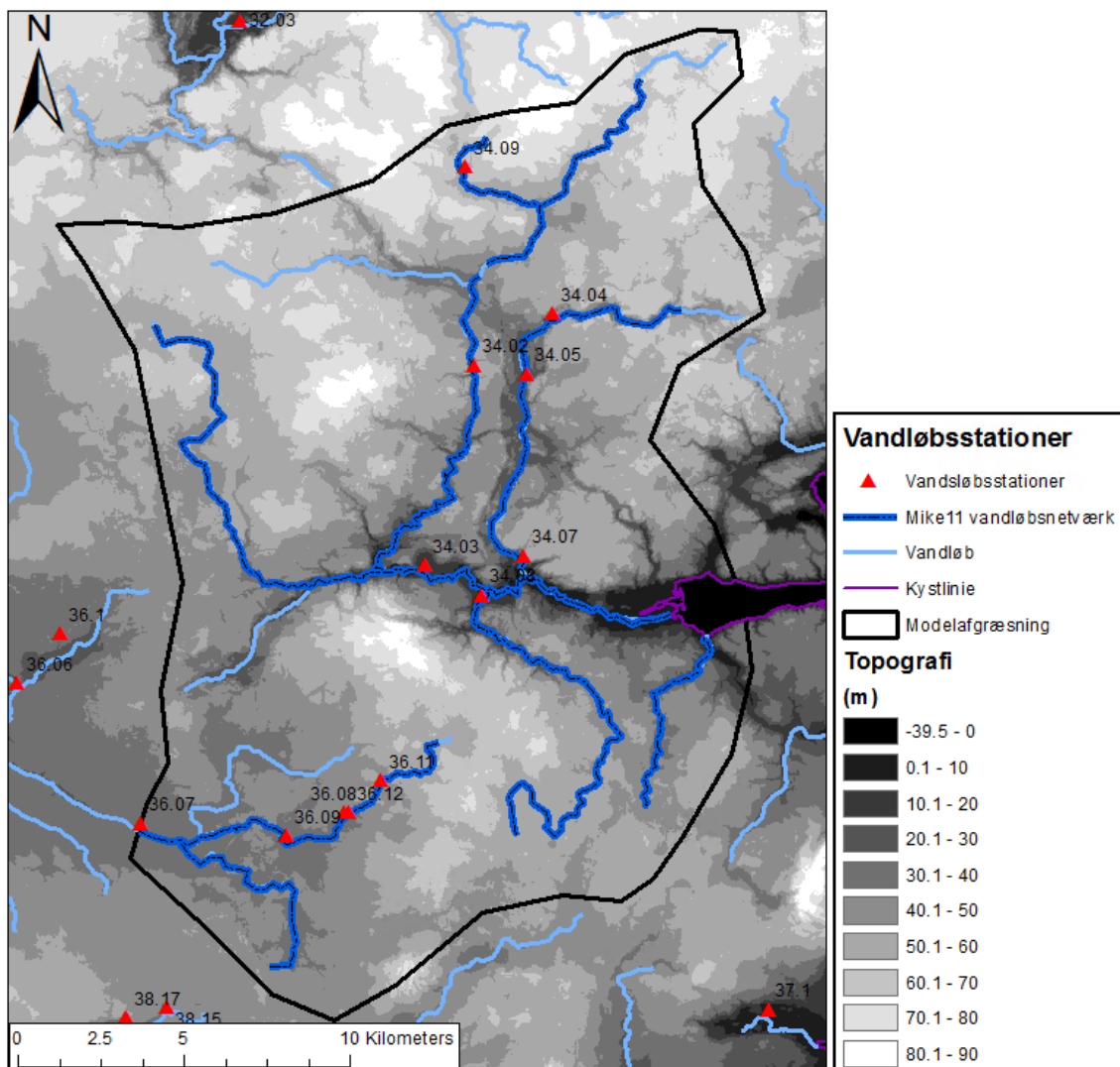


Figur 3-1b. Placering af geologisk tværsnit (Figur 3-1a).

3.3 Vandløb

Vandløbsopsætningen er i Kolding-modellen modificeret således, at flere mindre vandløb beskrives i sammenligning med den nationale vandressourcemodel. Desuden er der foretaget ændringer i forløbet af Vester Nebel Å, således at effekterne af naturgenopretningen foretaget i 2007, der ændrer forløbet af åen, er beskrevet korrekt.

I Figur 3-2 ses de vandløb, som er inkluderet i Koldingmodellen (MIKE 11 vandløbsnetværk). Tidligere var Vester Nebel Å forbundet til Almind Å via Harte Kanal (umiddelbart syd for vandføringsstation 34.02, Figur 3-2), men efter naturgenopretningen i 2007 blev det oprindelige forløb af Vester Nebel Å genetableret, så den munder ud i Kolding Å lidt opstrøms for station 34.03. Modellen kan ikke beskrive en ændring af vandløbenes forløb under en beregning, og det er derfor valgt at anvende vandløbsopsætningen efter naturgenopretningen, da den må forventes at repræsentere de fremtidige forhold bedst.



Figur 3-2. Illustration af de vandløb som er inkluderet i MIKE 11 modelbeskrivelsen.

3.4 Dræning og kloakering

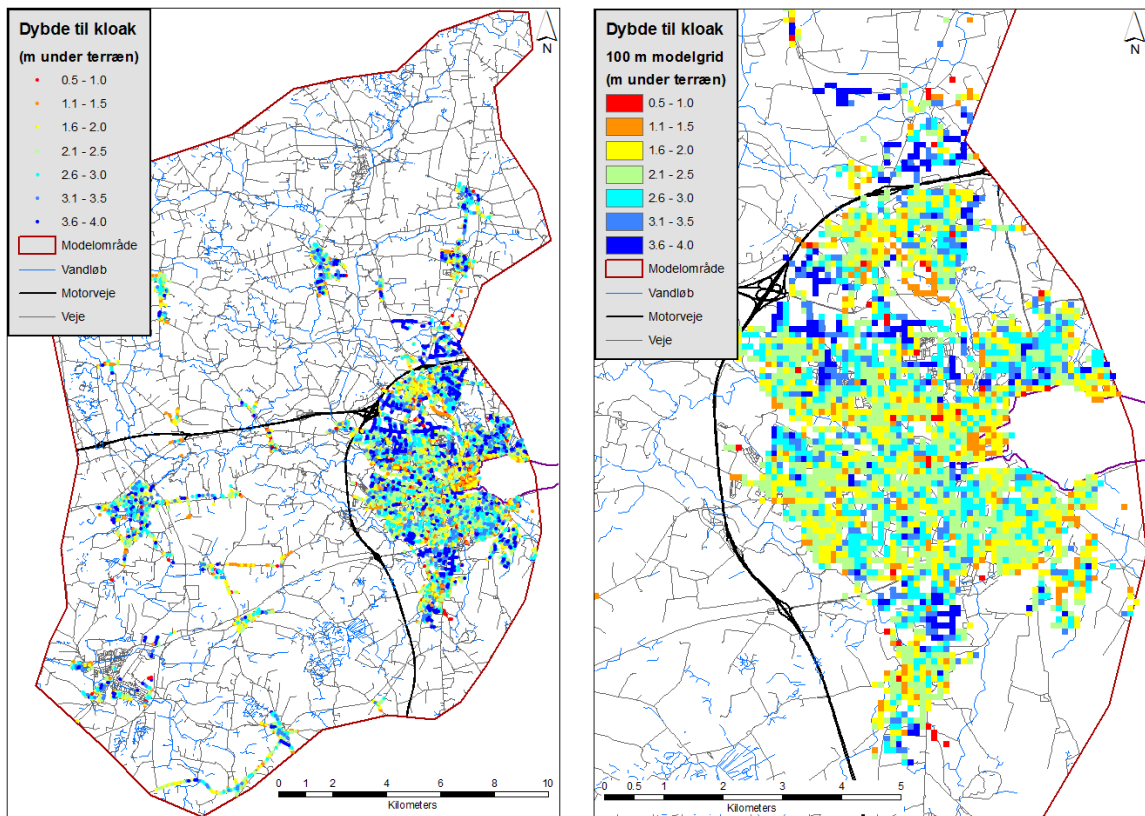
3.4.1 Detaljering af drændybder

I 2012-modellen blev der anvendt en konstant drændybde på 1 m under terræn.

BlueKolding har foretaget databaseudtræk medio januar og primo februar 2017 som har givet oplysninger om 32.375 kloakledninger med tilhørende opstrøms og nedstrøms knudepunkter i Koldingområdet. For 21.073 af de opstrøms knudepunkter er der oplysninger om både terrænkote og bundkote. Det er valgt at benytte de opstrøms knudepunkter til fastlæggelse af kloakkernes dybde i grundvandsmodellen. Inden for modelområdet indeholder datasættet oplysninger om 24.461 opstrøms knudepunkter.

For de i alt 18.075 opstrøms ledningsknudepunkter indenfor modelområdet, hvor der er data for både terrænkote og bundkote, er der beregnet en dybde under terræn for det pågældende ledningsknudepunkt. Enkelte urealistiske værdier er frasorteret, fx ledningsdybder på mere end 10 m under terræn. For ledningsknudepunkter med en dybde på mindre end 0,5 m under terræn er dybden sat til 0,5 m og for ledningsknudepunkter med den dybde på mere end 4 m, er dybden sat til 4 m. Det vurderes at et interval på 0,5 m til 4 m er det mest repræsentative for kloakledningernes dybde under terræn (Figur 3-3, venstre kort).

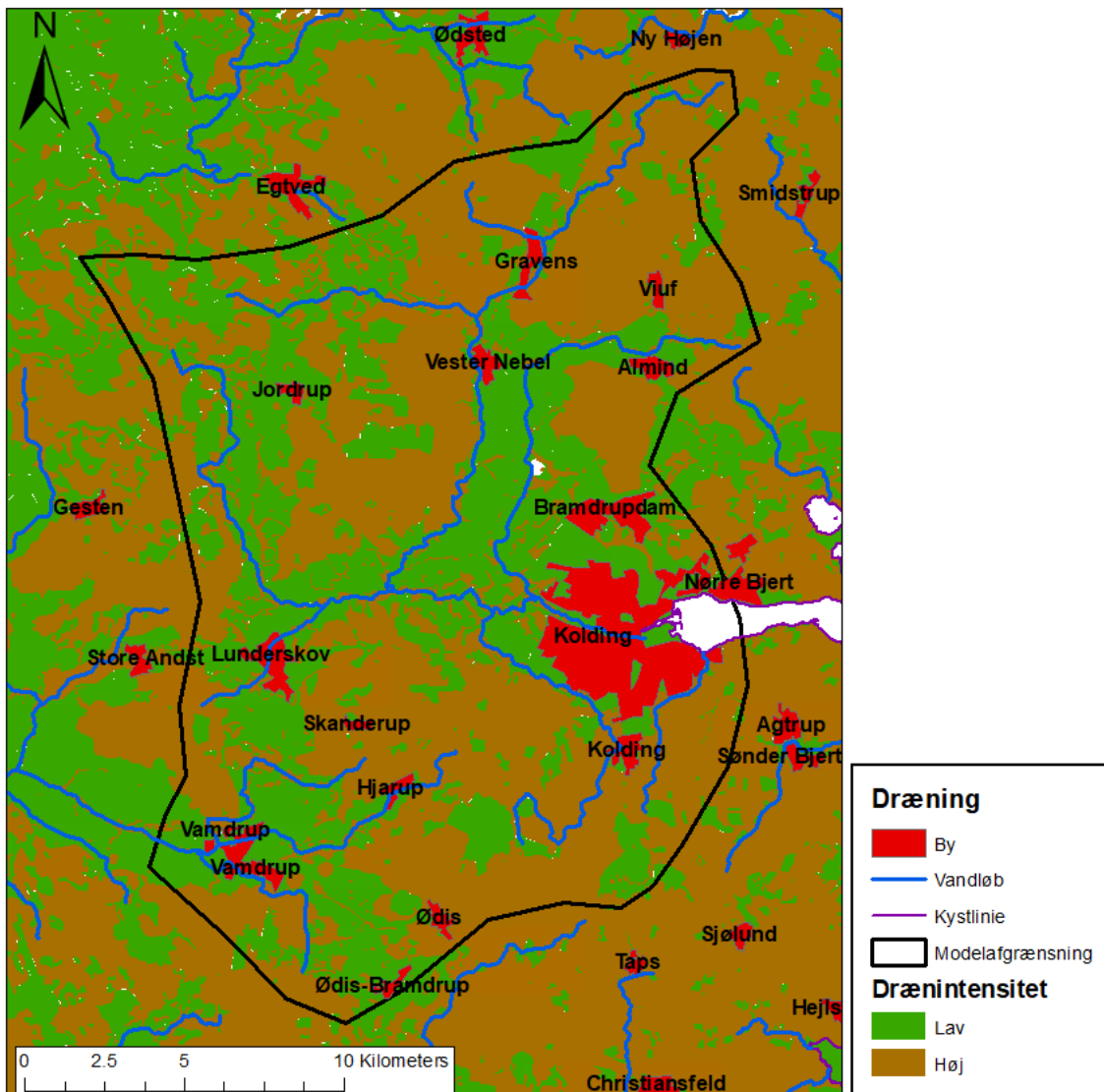
For hvert gridcelle i modellen, som indeholder oplysninger om dybden for mindst en kloakledning, er der beregnet en gennemsnitlig ledningsdybde for den pågældende celle (Figur 3-3, højre kort, zoomet ind på Kolding by). Denne dybde af kloakledningerne anvendes i modellen som drændybden i de på gældende celler. I de resterende celler i modellen anvendes en drændybde på 1 m under terræn, som er den drændybde der blev anvendt i hele 2012-modellen.



Figur 3-3. Kortet til venstre viser kloakledningernes dybde under terræn i modelområdet. Højre kort viser den beregnede gennemsnitlige kloakdybde for modellens 100 m gridceller, på figuren er der zoomet ind på Kolding by.

3.4.2 Indstrømningsforhold til dræn og kloak

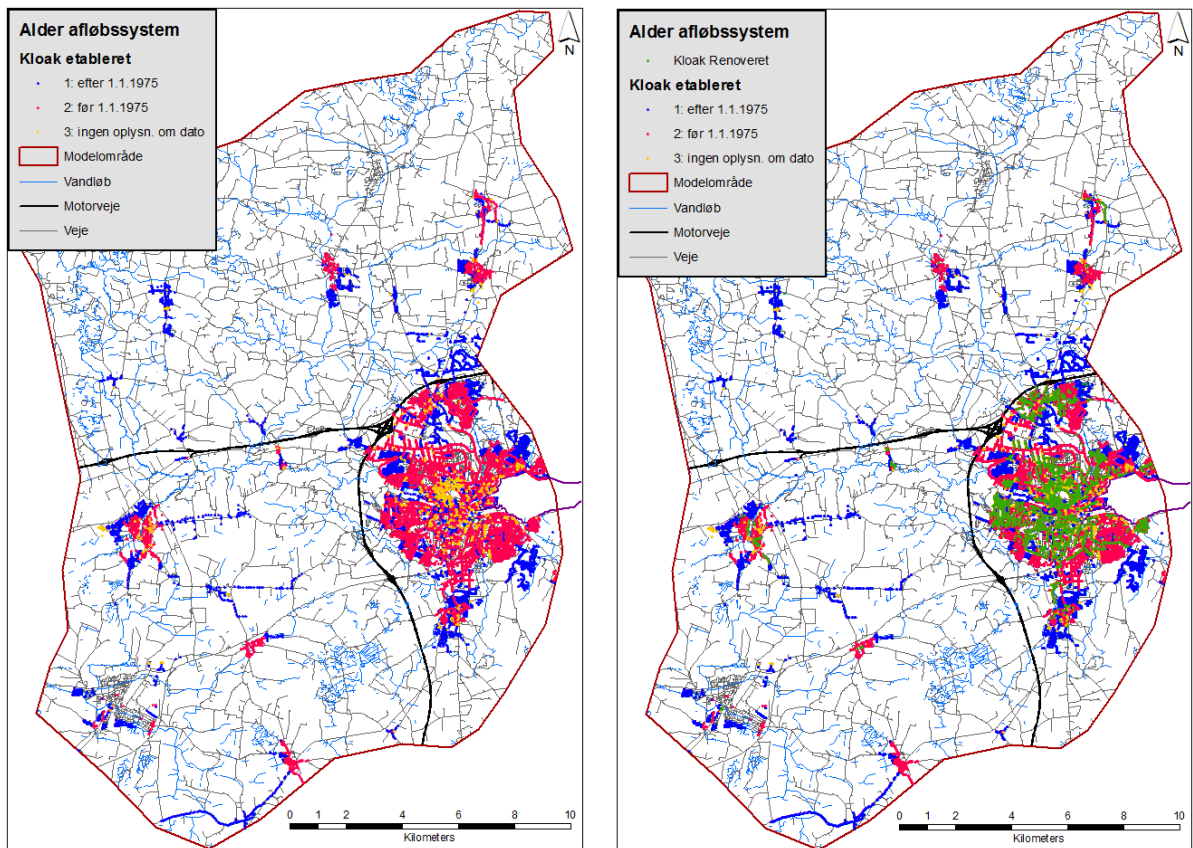
I 2012-modellen blev der foretaget en opdeling af modelområdet i arealer med henholdsvis høj og lav dræneffektivitet, som primært beskrev markdræn. Kategoriseringen af drænings-effektivitet er baseret på en sammenligning af det potentielle dræningskort fra Olesen (2009) og Orbicons drænarkiv (digitaliseret version) for Vejle Kommune, som overlapper med den nordlige del af Kolding-modellen (Figur 2-4). Der blev fundet en god overensstemmelse mellem de to datasæt, hvis områder med potentielt drænbehov på større end eller lig med 30% blev kategoriseret som høj dræningsgrad, mens potentielle drænbehov på mindre end 30% blev kategoriseret som lav dræningsgrad. Figur 3-4 viser den resulterende fordeling af dræneffektivitet i oplandet i 2012-modellen.



Figur 3-4. Opdeling af arealer med lav og høj dræning i 2012-modellen.

I 2017-LAR-modellen foretages der i byområder en yderligere opdeling af drænsystemet med to drænklasser baseret på kloakledningernes tæthed. I byområder, hvor der er oplysninger om kloakledningernes alder, reovering og dybde under terræn, erstattes den tidligere opdeling i drænzoner med to nye drænzoner. I byområder, hvor der ikke er oplysninger om kloakledninger, bibeholdes drænzonerne fra 2012-modellen.

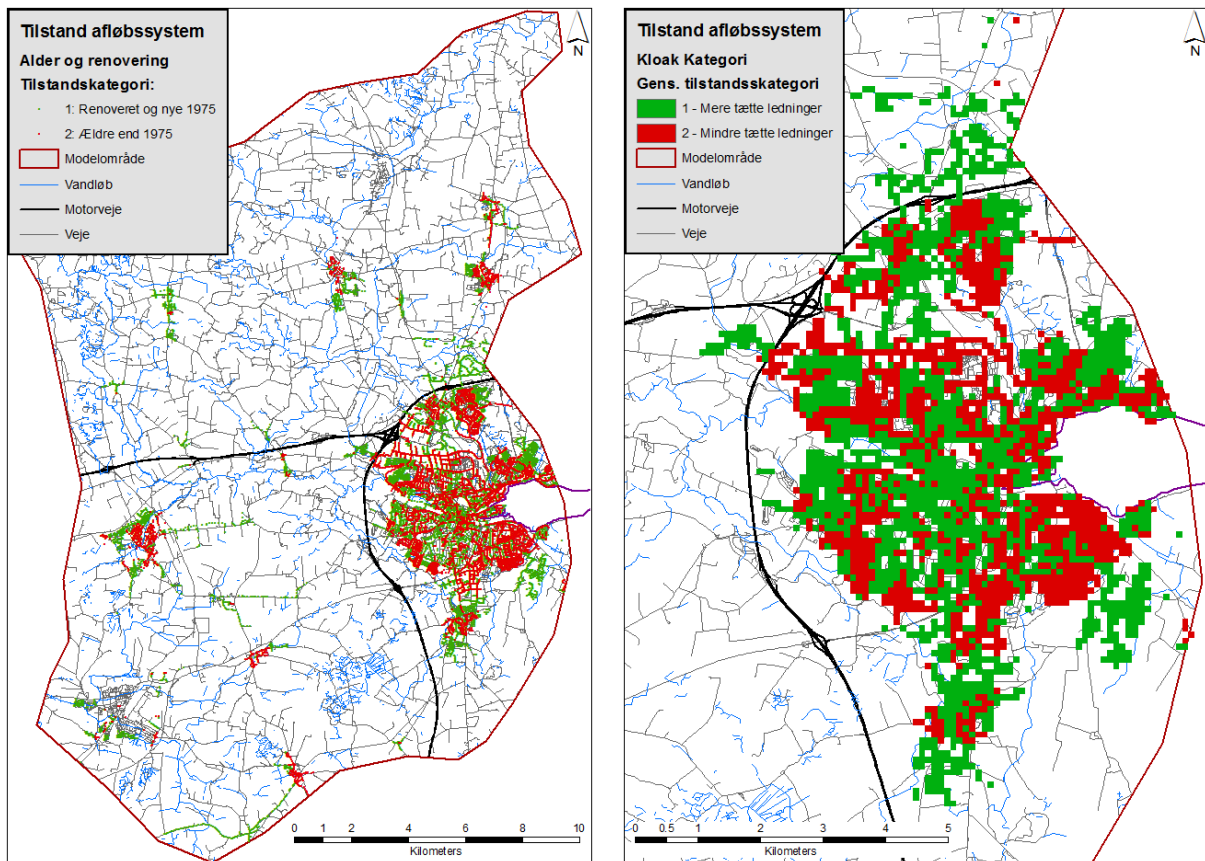
Det er valgt at foretage opdelingen af kloakledninger på grundlag af etableringsåret. Kloakledninger etableret før 1.1.1975 vurderes som mere utætte end kloakledninger etableret efter 1.1.1975. På grundlag af databaseudtrækket fra BlueKolding er det opgjort, at der før 1975 er etableret 9.203 kloakledninger indenfor modelområdet, mens der efter 1.1.1975 er installeret 7.898 ledninger. For 974 ledninger kendes alderen ikke. I perioden fra 1984 til januar 2017 er der reoveret 2415 ledninger indenfor modelområdet, kun 202 af disse er etableret efter 1.1.1975 (Figur 3-5).



Figur 3-5. Kortet til venstre viser kloakledningernes alder grupperet efter etableringstidspunkt før eller efter 1.1.1975. Højre kort inkluderer placeringen af de ledninger som er renoveret efter 1.1.1984.

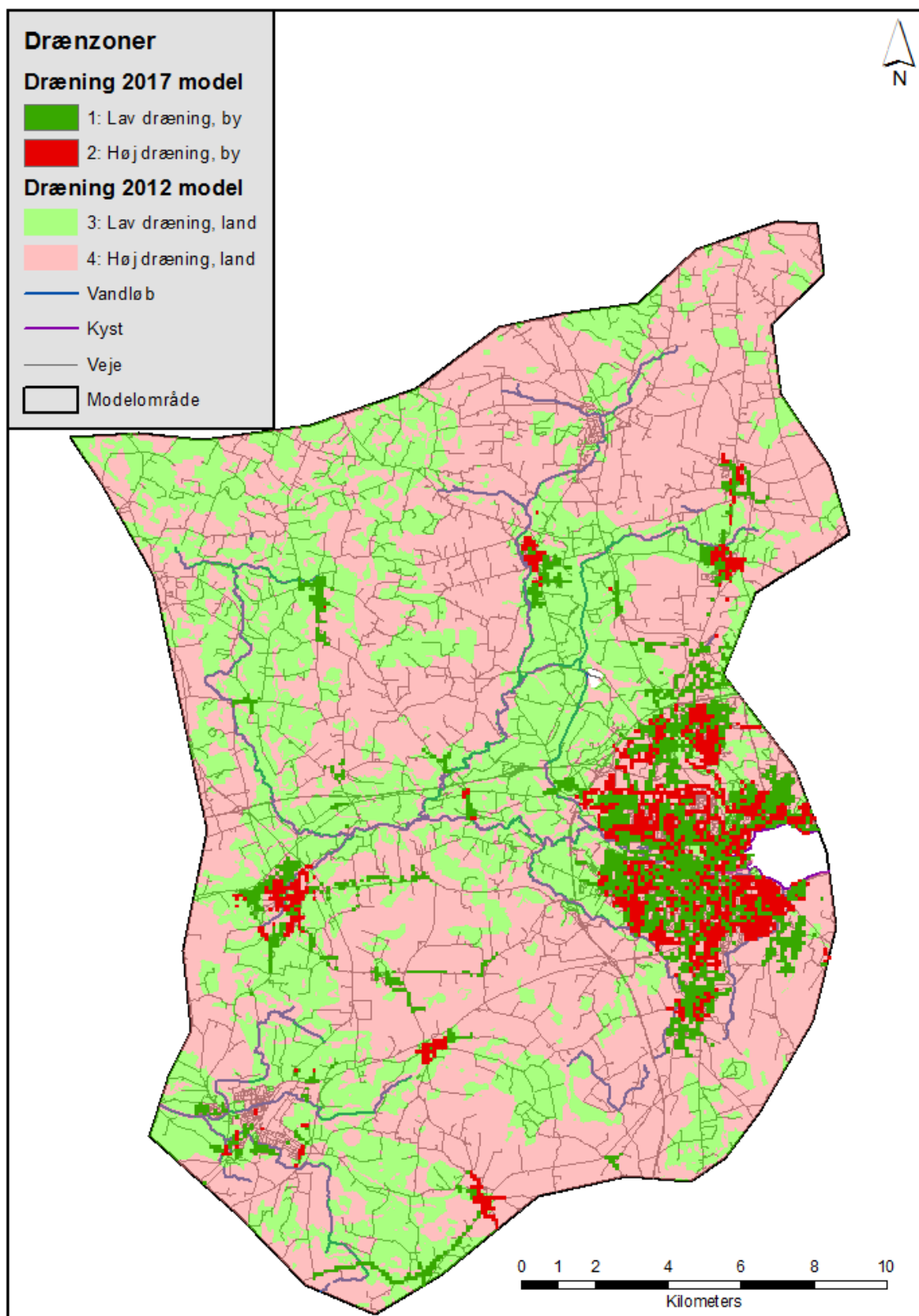
Kloakledningerne opdeles i to kategorier, hvor kloakledninger i kategori 1 vurderes at være mere tætte end ledninger i kategori 2. Kategori 1 omfatter alle renoverede ledninger og alle ledninger etableret efter 1.1.1975. Kategori 2 omfatter kloakledninger etableret før 1.1.1975 og ledninger hvis etableringstidspunkt er ukendt (Figur 3-6).

For hvert modelgrid, som indeholder oplysninger om tilstandskategorien 1 eller 2 for mindst en kloakledning, er der beregnet et gennemsnit for ledningernes tilstandskategori i den pågældende gridcelle. Hvis det beregnede gennemsnit er mindre end eller lig med 1,5, vurderes det at gridcellen overvejende indeholder forholdsvis tætte ledninger og den pågældende celle klassificeres derfor som kategori 1 (mindre lækage). Tilsvarende, hvis det beregnede gennemsnit er større end 1,5, vurderes det at gridcellen overvejende indeholder forholdsvis utætte ledninger og den pågældende celle klassificeres som kategori 2 (større lækage) (Figur 3-6).



Figur 3-6. Kortet til venstre viser fordeling af kloakledningerne grupperet efter etablering efter 1.1.1975 og renoveret (1: grøn) og etableret før 1.1.1975 og ikke renoveret (2: rød). Højre kort viser den beregnede gennemsnitlige tilstandskategori for hver gridcelle, på figuren er der zoomet ind på Kolding by.

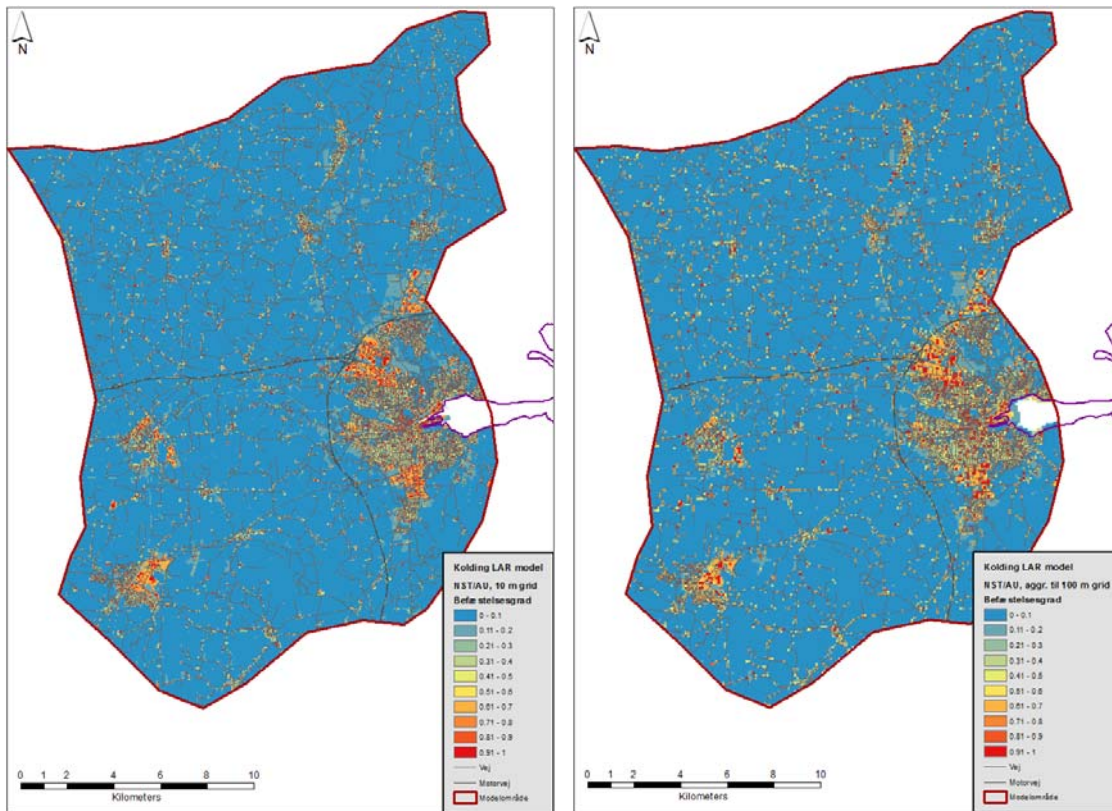
Denne kategorisering af kloakledningerne anvendes i 2017-LAR-modellen til opdeling af de drænedede arealer i en drænzonen 1 og 2. Modstanden (en lækage-faktor) for indstrømning til drænzonerne indgår som kalibreringsparametre i modellen. For øvrige områder (primært landbrugsarealer) opretholdes opdelingen i de to drænzoner (3 og 4) som blev benyttet i 2012-modellen. For drænzonen 3 og 4 vil der blive anvendt de drænp-parametre, som blev bestemt i 2012-modellen (Figur 3-7). Det vil sige at drænzonen 1, byområder med ældre kloakledninger, og drænzonen 3, landområder med jorde domineret af moræneler, forventes en høj dræninintensitet og –effektivitet. Hvorimod i drænzonen 2, byområder med nyere kloakledninger, og drænzonen 4, landområder med sandede jorde, forventes en lav dræninintensitet og –effektivitet.



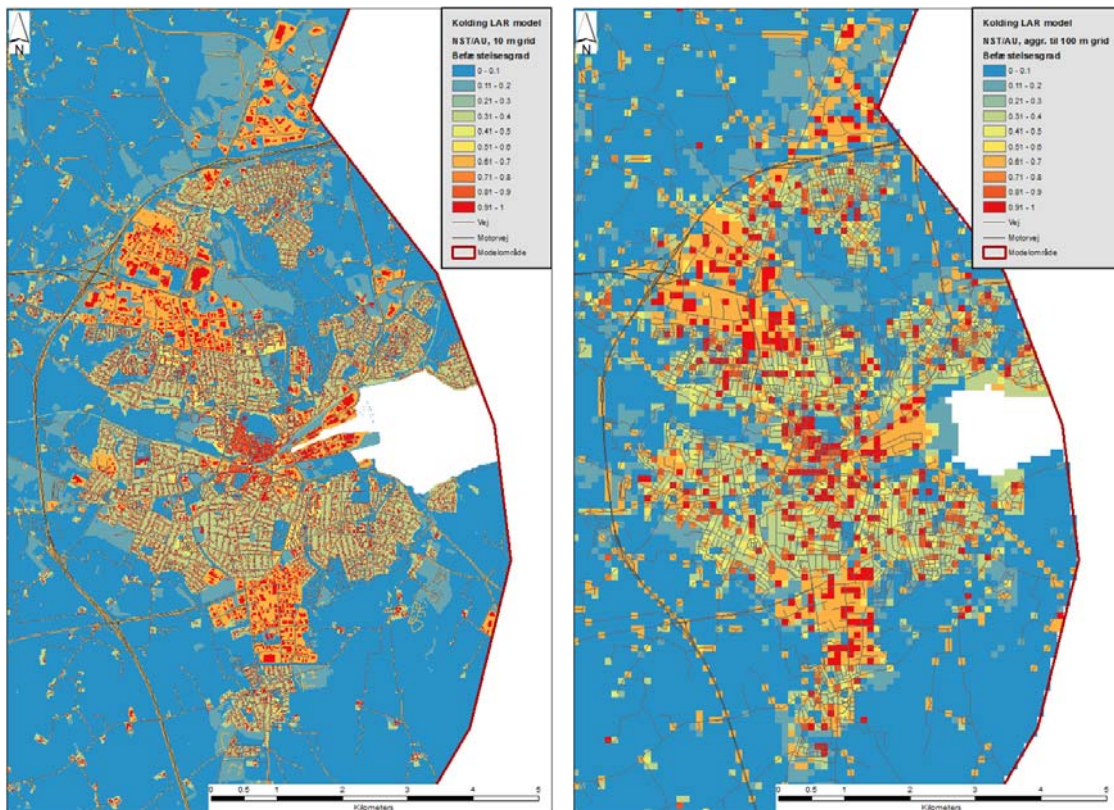
Figur 3-7. Opdeling af drænzoner i 2017-LAR-modellen. Drænzoner 1 og 2 er byområder med henholdsvis lav og høj dræningens intensitet som følge af kloaknettes alder og tilstand. Drænzoner 3 og 4 er områder på landet med henholdsvis lav og høj dræningens intensitet som følge af udbredelsen af landbrugsdræning.

3.5 Befæstelse

Befæstelsesgraden i 2017-LAR-modellen er forbedret ved at benytte data fra korttemaet 'Befæstelsesgrad' (Basemap) udarbejdet af Naturstyrelsen og Aarhus Universitet (2012). Korttemaet viser befæstelsesgraden i et landsdækkende 10 m grid. Data er hentet fra hjemmesiden www.kortforsyningen.dk, og der er på grundlag af dette 10 m grid beregnet en gennemsnitlig befæstelsesgrad for hvert af modellens 100 m grid (Figur 3-8 og Figur 3-9). I 2012-modellen var fordelingen af befæstelsesgrader baseret på data fra et 500 m grid.



Figur 3-8. Befæstelsesgrad for modelområdet. Datagrundlaget 10 m grid (Basemap), venstre figur. Beregnet gennemsnitlig befæstelsesgrad for hvert af modellens 100 m grid, højre figur. Datakilde: Naturstyrelsen og Aarhus Universitet (2012), se: www.kortforsyningen.dk.



Figur 3-9. Befæstelsesgrad zoomet ind på Kolding-området, samme data som Figur 3-8. 10 m grid, venstre figur. Beregnet gennemsnitlig befæstelsesgrad for hvert af modellens 100 m grid, højre figur. Datagrundlag: Naturstyrelsen og Aarhus Universitet (2012), se: www.kortforsyningen.dk.

Et tal for den samlede totale befæstelse i modelområdet kan fås ved at multiplicere den gennemsnitlige befæstelse pr modelgrid med arealet af et modelgrid og med det samlede antal modelgrid. Hermed fås en samlet befæstelse i modelområdet på 37,1 km² med ovenstående datagrundlag, Basemap.

Tilsvarende var det samlede befæstelsesareal for 2012-modellen på 11,3 km².

En anden kilde til data for befæstede arealer er EU's Copernicus program, der bl.a. har produceret et kort over befæstelsesgrader ('imperviousness' eller uigennemtrængelighed) i en opløselighed på 20 m. Dette kort er baseret på satellitdata og den seneste version fra 2012 kan hentes fra hjemmesiden:

<http://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/view>

En sammenligning af det befæstede areal for 2012-modellen og Copernicus 20 m grid viser, at den samlede befæstelse er højere med Copernicus 20 m grid, nemlig 24,0 km².

I Tabel 3-1 ses en oversigt over det samlede befæstede areal og antal model grid med en befæstelsesgrad større end nul, samt det samlede areal af modelgrid med en befæstelsesgrad større end nul opgjort for de tre datakilder 2012-modellen (baseret på Corine Land Cover data), Naturstyrelsen og Aarhus Universitet (Basemap) og Copernicus.

Tabel 3-1. *Befæstet areal i modelområde med 100 m grid, data fra tre kilder.*

Datakilde:	Befæstet areal i alt (km ²)	Model grid med befæstelse > 0 (antal)	Model grid med befæstelse > 0 (km ²)
2012 model	11,3	5284	52,8
NST/AU	37,1	9665	96,7
Copernicus	24,0	4398	44,0

En væsentlig årsag til, at det samlede befæstede areal er større både for Basemap og for Copernicus kortet i forhold til 2012-modellen, er, at de to førstnævnte kort medtager langt flere befæstede område udenfor de større byer, fx langs veje og ved spredte bebyggelser på landet.

3.5.1 Implementering af LAR i den hydrologiske model

Som udgangspunkt ledes alt det nedbør, der falder på et befæstet areal i den hydrologiske model, til vandløb eller dræn. Det vil sige, at i et modelgrid med en befæstelsesgrad på fx 0,25 ledes 25% af nedbøren direkte til vandløb eller dræn. I byområder er de oprindelig dræn i modellen erstattet med oplysninger kloakkenes dybde og tæthed, og kloakkerne fungerer her som dræn i modellen (Figur 3-7).

I det følgende beskrives den metode, der er benyttet til at få MIKE SHE til at infiltrere en andel (β) af den nedbør, som rammer de befæstede arealer i Kolding modellen. Det antages, at nedbøren infiltreres i den celle, som den falder på.

Lad α betegne andelen af nedbør, som fjernes og sendes til kloakker og vandløb. α betegnes også for befæstelsesgrad eller blot befæstelsen og ligger mellem 0 og 100% (svarende til impermeabel overflade).

Lad β betegne andelen af den nedbør, som rammer de befæstede arealer, som skal infiltreres. Eksempelvis betyder $\beta = 0.3$ således, at 30% af nedbøren, der lander på befæstede arealer, infiltreres. For at tage højde for lokal infiltration af den andel β af nedbøren, som rammer de befæstede arealer α , udregnes en ny befæstelsesgrad. Den ny befæstelsesgrad bestemmes som

$$\alpha_n = \alpha_{old} - \alpha_{old} * \beta = \alpha_{old}(1 - \beta)$$

I nedenstående Tabel 3-2 ses, hvordan befæstelsesgraden ændres som følge af lokal infiltration.

Tabel 3-2. *Eksempler på beregnet ny befæstelsesgrad, α_n .*

Befæstelsesgrad, α_{old}	Infiltrationsandel, β	Ny befæstelsesgrad, α_n
1.0	0.5	0.5
0.75	0.5	0.375
0.5	0.75	0.125
0.35	0.25	0.2625

Et eksempel jf. Tabel 3-2: Hvis en celle i modellen har en befæstelsesgrad på 0.75 vil en LAR-løsning med infiltration af 50% af den nedbør, der rammer de befæstede arealer, resultere i en ny befæstelsesgrad på 0.375.

Når befæstelsesgraden reduceres og den "tilgængelige" nedbør derfor stiger, vil vandindholdet i den umættede zone stige, hvilket kan resultere i en øget fordampning. Hvis infiltrationen af regnvand sker via faskiner, er det imidlertid tvivlsomt, om det reelt vil give anledning til en forøgelse af fordampningen, da nedbøren i den situation ikke vil medføre et øget vandindhold i den øvre del af den umættede zone. Der er derfor risiko for, at der med ovenstående modelmetodik opnås en forøgelse af grundvandsdannelsen i modellen, som er mindre end vil være i virkeligheden. For at undgå en forøgelse af den beregnede fordampning bør der ideelt set ske en reduktion af fordampningen i cellen, hvor der sker infiltration af regnvand. Det er imidlertid vanskeligt at forudsige, hvor stor denne reduktion skal være. Der er derfor gennemført et test, hvor modellen er kørt to gange, hhv. med den oprindelige befæstelsesgrad og den modificerede befæstelsesgrad. Herved blev det konstateret, at effekten på fordampningen er minimal, og problemet antages derfor at være negligibelt.

3.6 Kalibrering af model

Kolding-modellen er kalibreret mod observationer af grundvandsstand og vandløbsafstrømning ved anvendelse af den automatiske parameterestimationsrutine PEST. I princippet er der anvendt samme fremgangsmåde, som der anvendes ved kalibrering af DK-modellen. Der er imidlertid inkluderet mange flere målinger af grundvandsstanden, se afsnit 2.2. Modellen indeholder langt flere parametre, end der er muligt at estimere på baggrund af observationerne. Derfor er de parametre, som har den største betydning for bestemmelsen af grundvandsstand og vandløbsafstrømning først fundet, og derefter er størrelsen af disse parametre fundet. Otte parametre blev udvalgt, herunder hydrauliske ledningsevner for de geologiske lag, den specifikke ydelse for den kvartære geologi, koefficienten som styrer grundvandstilstrømningen til dræn (område med højt dræningseffektivitet) og koefficienten som styrer grundvandstilstrømningen til vandløb.

Modellen regner under kalibreringen på perioden 1. januar 1991 til 31. december 2011, og anvender data for vandløbsafstrømning fra perioden 1. januar 2007 til 31. december 2011 samt data for grundvandsstand fra perioden 1. januar 2000 til 31. december 2011. De først 10 års beregninger anvendes til at opnå en stabil model, som beskriver den naturlige ligevægt i systemet. Beregning af den 21 år periode tager ca. fire til fem timer at gennemføre. Under kalibreringen foretages der ca. 100 gennemregninger med modellen.

Der er anvendt de parameterværdier som blev bestemt ved kalibreringen af 2012-modellen for hydrauliske ledningsevner, porøsitet og magasintal (Tabel 3-3).

Tabel 3-3. *Hydrauliske ledningsevner, porøsitet og magasintal.*

Jordtype*	Type nr.	K _{x,y} (m/s)	K _z (m/s)	S _y	SS (/m)
Smeltevandssand	1	2.04E-04	2.04E-05	2.19E-01	5.00E-05
Ler	2	3.20E-06	3.20E-06	5.47E-02	5.00E-05
Kvartssand	3	8.51E-06	8.51E-07	2.19E-01	5.00E-05
Glimmersand	4	8.51E-06	8.51E-07	2.19E-01	5.00E-05
Glimmersilt/ler	5	2.70E-08	2.70E-09	5.47E-02	5.00E-05
Ler - Tidlig Kridt	8	2.00E-07	2.00E-08	5.47E-02	5.00E-05
Kvartært sand	91	2.04E-04	2.04E-05	2.19E-01	5.00E-05
Kvartært ler	92	3.20E-06	3.20E-06	5.47E-02	5.00E-05
Prækvartært ler	95	2.70E-08	2.70E-09	5.47E-02	5.00E-05
Aquifer1	21	1.82E-04	1.82E-05	2.19E-01	5.00E-05
Aquitard1	22	3.20E-06	3.20E-06	2.19E-01	5.00E-05
Aquifer2	23	2.69E-05	2.69E-06	2.19E-01	5.00E-05
Aquitard2	24	6.42E-08	6.42E-09	2.19E-01	5.00E-05
Aquifer3	25	2.04E-04	2.04E-05	2.19E-01	5.00E-05

* Betegnelserne 'Aquifer' og 'Aquitard' vedrører de 5 nye øvre geologiske lag i modellen (se afsnit 3.2), de øvrige jordtypenavne er de betegnelser der anvendes i DK-modellen.

Kategoriseringen af kloakledningerne, som beskrevet i afsnit 3.4.2, anvendes i 2017-LAR-modellen til opdeling af de drænedede arealer i en drænzonen 1 og 2. Modstanden for indstrømning til drænzonerne indgår som kalibreringsparametre i modellen. For øvrige områder (primært landbrugsarealer) opretholdes opdelingen i de to drænzoner (3 og 4) som blev benyttet i 2012-modellen. For drænzonen 3 og 4 vil der blive anvendt de drænparametre, som blev bestemt i 2012-modellen (Figur 3-7).

3.7 Fremskrivning af klima

Til fremskrivningen af klimaet er der benyttet resultater fra ENSEMBLES projektet (van der Linden and Mitchell, 2009). Der udvælges resultater fra de samme seks klimamodeller, som blev anvendt i Sonnenborg og Kidmose (2012), som alle er baseret på klimascenariet A1B (IPCC, 2000). Derudover er der i 2017-LAR-modellen inkluderet en havniveaustigning for Kolding Fjord på 25 cm frem til 2060 og på 50 cm frem til 2100.

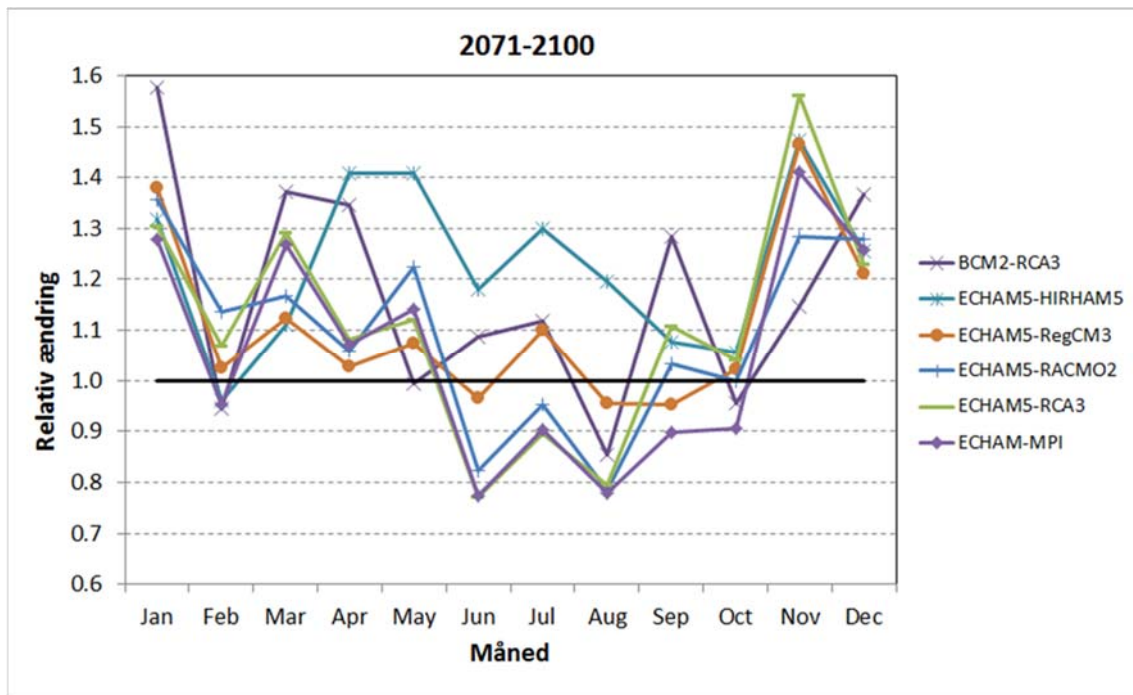
Der er udvalgt seks klimamodeller, som alle har anvendt en drivhusgasudvikling svarende til et A1B klimascenarium. I Tabel 3-4 ses, hvilke klimamodeller der er udvalgt, samt hvor stor en ændring i vinternedbør, som de enkelte modeller forudsiger. Det skal bemærkes, at der kun er udvalgt modeller, som forudsiger stigende nedbør i fremtiden. Formålet med projektet er at undersøge, hvad der vil ske, hvis fremtiden bliver vådere, og det blev derfor ikke fundet relevant at gennemføre beregninger med resultater fra klimamodeller, som forudsiger mindre

nedbør. Det skal dog bemærkes, at de fleste klimamodeller forudsiger øget nedbør i fremtiden (IPCC, 2000).

Tabel 3-4. Udvalgte klimamodeller fra ENSEMBLES projektet. I første kolonne ses navnet på klimamodelkombinationen, hvor det første navn angiver den globale klimamodel (GCM), og det andet navn angiver den regionale klimamodel (RCM). ΔP angiver ændringen i nedbør fra 1991-2010 til 2071-2100, hvor en værdi på 1.3 betyder, at nedbøren stiger med 30%. DJF = december, januar og februar. NDJFM = november, december, januar, februar og marts.

Klimamodel	Institution (GCM)	Institution (RCM)	ΔP (DJF)	ΔP (NDJFM)
BCM2-RCA3	BCCR (Norge)	SMHI (Sverige)	1.30	1.28
ECHAM5-HIRHAM5	MPI (Tyskland)	DMI (Danmark)	1.18	1.22
ECHAM5-RegCM3	MPI (Tyskland)	ICTP (Italien)	1.20	1.24
ECHAM5-RACMO2	MPI (Tyskland)	KNMI (Holland)	1.26	1.24
ECHAM5-RCA3	MPI (Tyskland)	SMHI (Sverige)	1.20	1.29
ECHAM-MPI	MPI (Tyskland)	MPI (Tyskland)	1.33	1.23

Det ses af Tabel 3-4, at nedbøren i perioden november-marts, hvor den primære grundvandsdannelse forventes at forekomme, i alle modeller forventes at stige med over 20%. I Figur 3-10 ses hver enkelt klimamodels månedlige ændring i forhold til nuværende klima. Der ses ændringer på mellem 0.8 (svarende til en reduktion i nedbør på 20%) primært i sommermånederne til stigninger på op til næsten 60% i vintermånederne.



Figur 3-10. Relative ændring i månedlig nedbør for de seks udvalgte klimamodeller.

Selv om der er anvendt resultater fra regionale klimamodeller, som anvender en opløsning på 25 km, er fejlen på det beregnede klima typisk for stor til, at klimamodelresultaterne kan anvendes direkte til hydrologisk modellering. Det er derfor nødvendigt at anvende en korrektionsmetode, og her er det valgt at benytte den såkaldte DBS (Distribution Based Scaling) metode. Til forskel fra den mere velkendte Delta Change metode anvender DBS klimamodellens resultater mere direkte, hvilket giver mulighed for at beskrive ikke alene ændringer i middelnedbør men også dynamiske ændringer såsom antallet af nedbørsdage, variationer fra år til år, mm. Da der i nærværende projekt ønskes resultater for det terrænnære grundvand, vurderes det at DBS metoden bedre vil være i stand til at beskrive specielt ekstreme hændelser.

3.8 Klima LAR-scenarier

I tabel 3-5 ses en oversigt over de LAR-scenarier, som gennemregnes med den klima-hydrologiske model. Der ses på resultater med en middel-våd klimamodel og med den vådeste klimamodel.

Det middel-våde klimascenarium udvælges som det scenarium, der ligger tættest på det gennemsnitlige grundvandsspejl beregnet for de seks klimascenarier for de 2 fremtidsperioder nær fremtid (2021-2050) og fjern fremtid (2071-2100). Det vådeste klimascenarium udvælges som det scenarium, der giver det gennemsnitligt højeste grundvandsspejl for de 2 fremtidsperioder nær fremtid (2021-2050) og fjern fremtid (2071-2100).

Tabel 3-5. Oversigt over klima LAR-scenarier, LAR på alle befæstede arealer i modelområdet.

Scenarium	LAR 0%	LAR 10%	LAR 25%	LAR 50%	LAR 75%
Nutid 1990-2012	x	x	x	x	x
Nær fremtid 2021-2050					
Middel-våd klimamodel	x	x	x	x	x
Vådeste klimamodel	x	x	x	x	x
Fjern fremtid 2071-2100					
Middel-våd klimamodel	x	x	x	x	x
Vådeste klimamodel	x	x	x	x	x

3.9 Valgfrie LAR-scenarier

Kolding Kommune og BlueKolding har defineret fem scenarier, kaldet 'Valgfrie LAR-scenarier' udover de overfor beskrevne 'Klima LAR-scenarier' (Tabel 3-6),

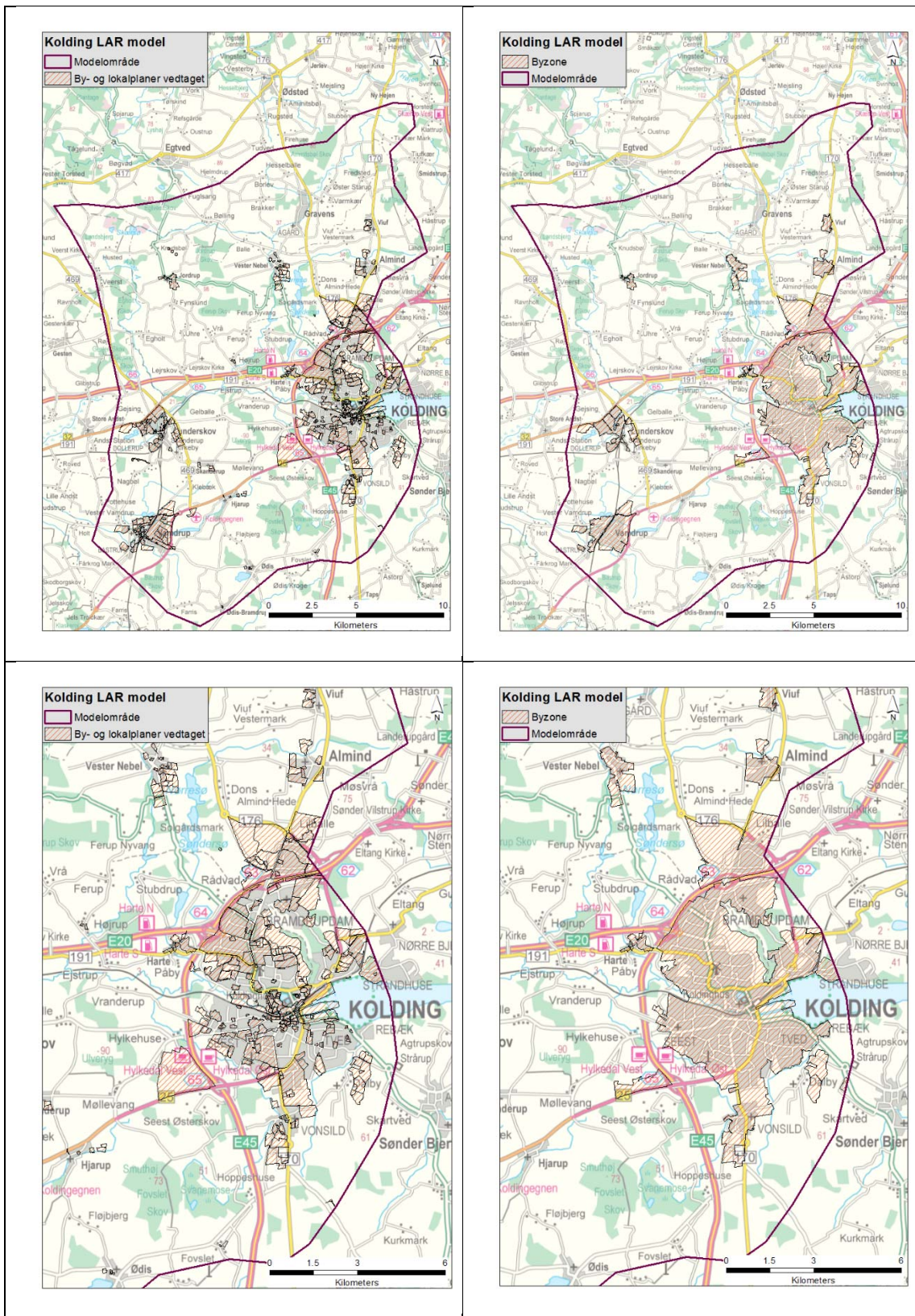
Tabel 3-6. Oversigt over valgfrie LAR-scenarier, LAR-infiltration i udvalgte områder.

	Scenarium	LAR 50%	LAR 75%
1	Områder med planlagt bebyggelse		
1.1	Nutid	x	
1.2	Middel-vådt klima, nær fremtid	x	
2	Byzone: Områder med <u>lav risiko</u> for høj grundvandsstand		
2.1	Nutid	x	
2.2	Middel-vådt klima, nær fremtid	x	
3	Byzone: Områder med <u>lav risiko</u> for høj grundvandsstand		
3.1	Nutid		x
3.2	Middel-vådt klima, nær fremtid		x
4	Byzone: Områder med <u>lav og mellem risiko</u> for høj grundvandsstand		
4.1	Nutid	x	
4.2	Middel-vådt klima, nær fremtid	x	
5	Byzone: Områder med <u>lav og mellem risiko</u> for høj grundvandsstand		
5.1	Nutid		x
5.2	Middel-vådt klima, nær fremtid		x

Scenarium 1 omfatter områder med planlagte bebyggelser, det vil sige områder hvor by- og lokalplaner er vedtaget (Figur 3-11). Befæstelsen ændres til 50% på alle arealer med planlagte bebyggelser og 50% af nedbøren, der falder på de befæstede arealer, infiltreres. I scenarium 1.1 beregnes dybden til grundvandsspejlet for nutidigt klima, og i scenarium 1.2 beregnes dybden til grundvandsspejlet for et middel-vådt klimascenarium i nær fremtid (2021-2050).

I scenarium 2 og 3 ændres nedsivningen på befæstede arealer de steder i byzoner, hvor der er fundet **lav risiko** for høj grundvandsstand under nutidige klimaforhold. I scenarium 2 ændres nedsivningen til 50% på de befæstede arealer og i scenarium 3 ændres nedsivningen til 75% på de befæstede arealer. I scenarium 2.1 og 3.1 gennemføres beregningerne for et nutidigt klima, og i scenarium 2.2 og 2.3 gennemføres beregningerne for et middel-vådt klimascenarium i nær fremtid (2021-2050).

I scenarium 4 og 5 ændres nedsivningen på befæstede arealer de steder i byzoner, hvor der er fundet **lav og mellem risiko** for høj grundvandsstand under nutidige klimaforhold. I scenarium 4 ændres nedsivningen til 50% på de befæstede arealer og i scenarium 5 ændres nedsivningen til 75% på de befæstede arealer. I scenarium 4.1 og 5.1 gennemføres beregningerne for et nutidigt klima, og i scenarium 4.2 og 5.2 gennemføres beregningerne for et middel-vådt klimascenarium i nær fremtid (2021-2050).



Figur 3-11. Fokusområder for de valgfrie scenarier. Planlagte bebyggelser ('Lokalplaner vedtaget' og 'Byplan vedtaget'), venstre figurer. Byzone, højre figurer.

3.10 Dataanalyse og præsentation

3.10.1 Risikokort

For hvert LAR-scenarium foretages der en beregning af middeldybden til det øvre grundvandspejl i forhold til terræn. Og for de enkelte tidsperioder, nutid, nær fremtid og fjern fremtid, beregnes middeldybden til grundvandsspejlet. Dybden til grundvandsspejlet præsenteres på risikokort med en inddeling i tre klasser:

- Lav risiko: grundvandsstand mere end 2 m under terræn
- Middel risiko: grundvandsstand mellem 0,5 og 2 m under terræn
- Høj risiko: grundvandsstand mindre end 0,5 m under terræn.

De viste risikokort er et udtryk for at en højere grundvandsstand i højere grad vanskeliggør eller forhindrer nedsivning af regnvand og anvendelse af LAR i forhold til en lavere grundvandsstand. Information om jordens permeabilitetsforhold er ikke inddraget ved udarbejdelse af risikokortene.

3.10.2 Ekstremværdianalyse

Der gennemføres en ekstremværdianalyse af dybden til grundvandsspejlet i hver celle i den hydrologiske models øverste lag, hvor der er mættede forhold. Til denne analyse anvendes et værktøj, som er udviklet til MIKE Zero/MIKE SHE modelkomplekset. Værktøjet kaldes 'EVA' - Extreme Value Analysis (Madsen, 2005). Med resultater fra EVA-analyser præsenteres der kort med en ønsket gentagelsesperiode (T-årshændelse) for dybden til grundvandsspejlet, det vil sige den hændelse der rent statistisk kun sker en gang hvert fx tiende år, en 10-årshændelse. I dette projekt er der valgt at præsentere data svarende til en 2, 10 og 25 års hændelse for hver modelcelle.

T-årshændelserne præsenteres på risikokort med en inddeling i tre klasser:

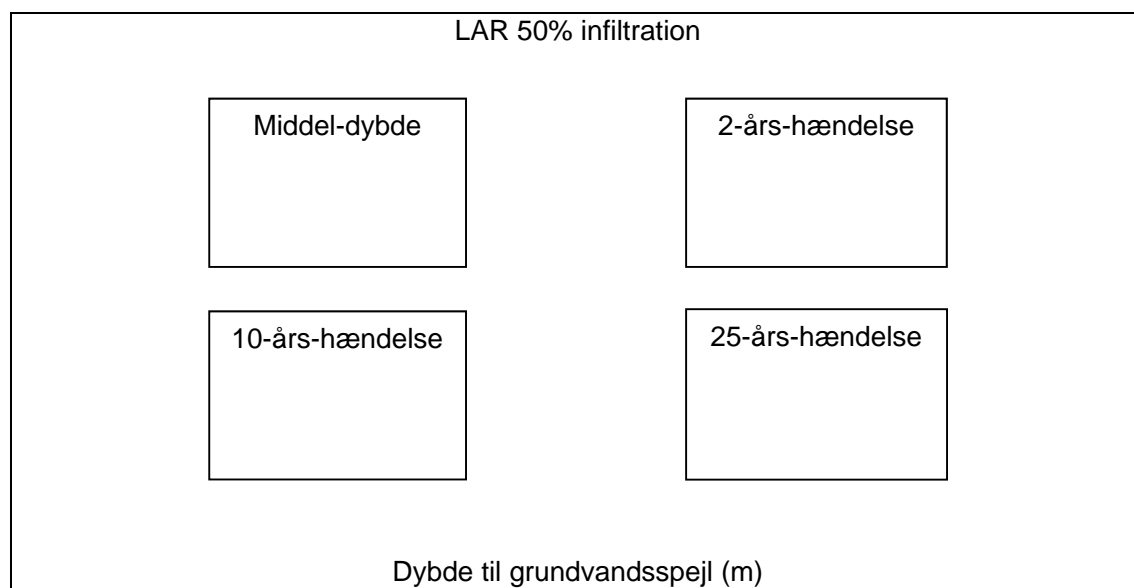
- Lav risiko: grundvandsstand mere end 2 m under terræn
- Middel risiko: grundvandsstand mellem 0,5 og 2 m under terræn
- Høj risiko: grundvandsstand mindre end 0,5 m under terræn.

3.10.3 Præsentation af scenarieresultater

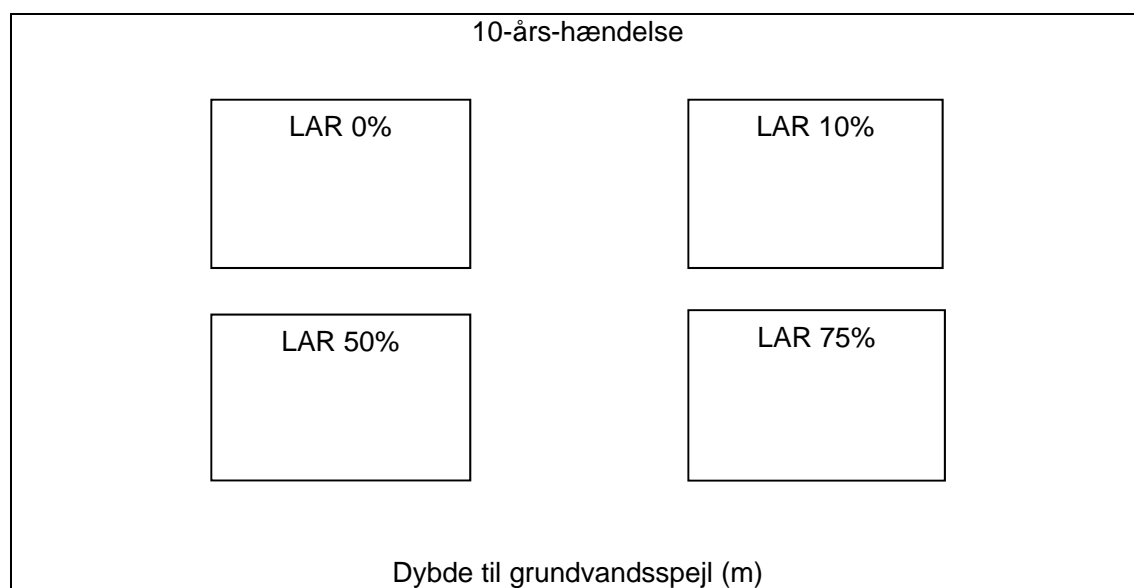
Kombinationen af tre tidsperioder (nutid, nær fremtid og fjern fremtid), fire LAR-scenarier, tre T-årshændelser, og to klimascenarier (middel-vådt og vådt fremtidigt klima) resulterer i mange modelresultater og mange mulige illustrationer af de forskellige scenarier.

Det er valgt at benytte den samme type illustration af nutids-, fremtids- og valgfrie scenarier. I første figur vises middeldybde til grundvandsspejlet, 2-årshændelsen, 10-årshændelsen og 25-års-hændelsen for LAR-50%-scenariet (Figur 3-12). I anden figur vises middeldybde til grundvandsspejl for LAR 0%, LAR 10%, LAR 50%, LAR 75% scenarierne illustreret ved 10-

års-hændelsen (Figur 3-13). I en tredje figur zoomes der ind på Kolding by området for LAR scenarierne (indhold som Figur 3-13).



Figur 3-12. Standardfigur til illustration af LAR-50%-scenariet.



Figur 3-13. Standardfigur med tre forskellige LAR scenarier illustreret ved 10-årshændelsen.

Scenarierne præsenteres i følgende rækkefølge:

- Nutid
- Nær fremtid, middel-vådt klima
- Fjern fremtid, middel-vådt klima
- Nær fremtid, vådt klima

- Fjern fremtid, vådt klima
- Valgfrie scenarium 1, nutid
- Valgfrie scenarium 1, nær fremtid
- Valgfrie scenarium 2, nutid
- ... osv.

Efter disse figurer vises seks figurer med ændringer i udbredelsen af områder med høj risiko for høj grundvandsstand mellem nutid, nær fremtid og fjern fremtid. Disse figurer illustrerer problemområder i dag, i nær fremtid og i fjern fremtid ved forskellige scenarier. Det er valgt at vise seks scenarier, se Tabel 3-7. Udgangsscenarioet er 25% LAR, 10-års nedbørshændelse og middel-vådt klima.

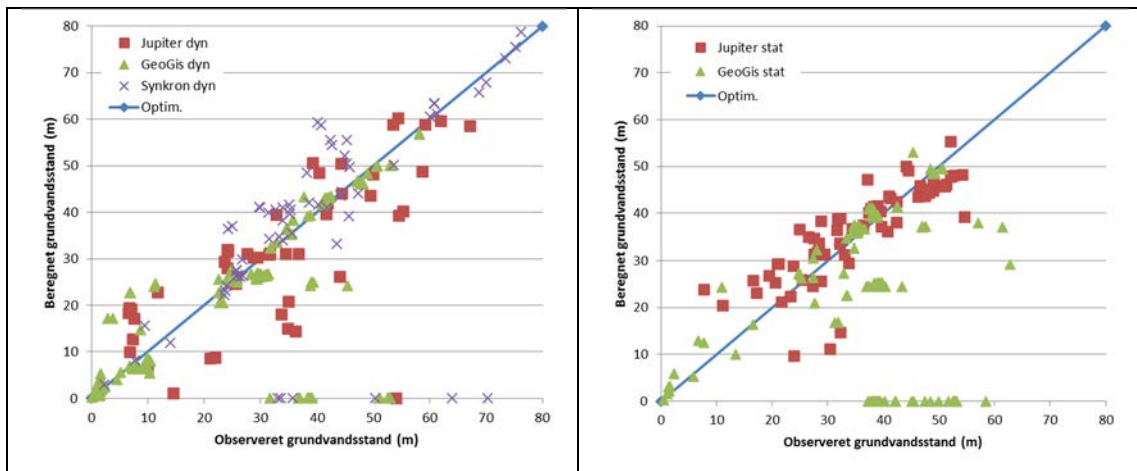
Tabel 3-7. *Oversigt over udvalgte scenarier til illustration af problemområder med høj risiko for høj grundvandsstand i nutid, nær fremtid og fjern fremtid*

#	% LAR	T-års hændelses	Klima
1	25	10	Middel-vådt
2	25	10	Vådt
3	25	25	Middel-vådt
4	25	25	Vådt
5	50	10	Middel-vådt
6	50	10	Vådt

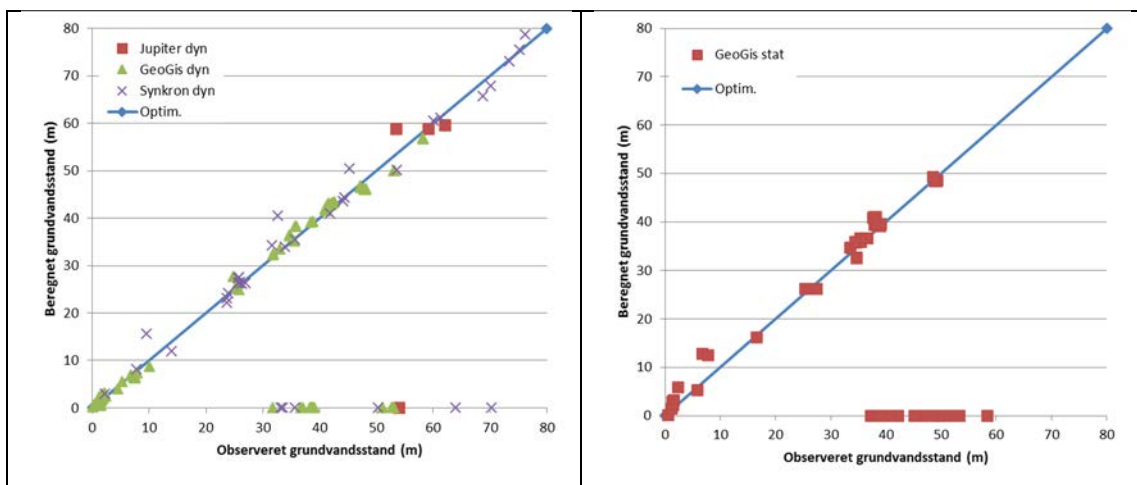
4. Resultater

4.1 Kalibreringsresultat

Modellens evne til at gengive de observerede grundvandsstanden er vist i Figur 4-1 og Figur 4-2. Det ses, at der generelt er en lineær sammenhæng mellem observeret og simuleret trykniveau, hvilket er tilfredsstillende. Figur 4-1 viser observeret og beregnet hydraulisk trykniveau for alle modellens beregningslag. Figur 4-2 viser observeret og beregnet hydraulisk trykniveau for modellens øverste beregningslag, hvor der findes en god overensstemmelse mellem observeret og simuleret trykniveau.



Figur 4-1. Scatterplot af observeret mod beregnet hydraulisk trykniveau. Til venster ses observationer, der er pejlet indenfor kalibreringsperioden. Til højre ses observationer der er pejlet i perioden før kalibreringsperioden.

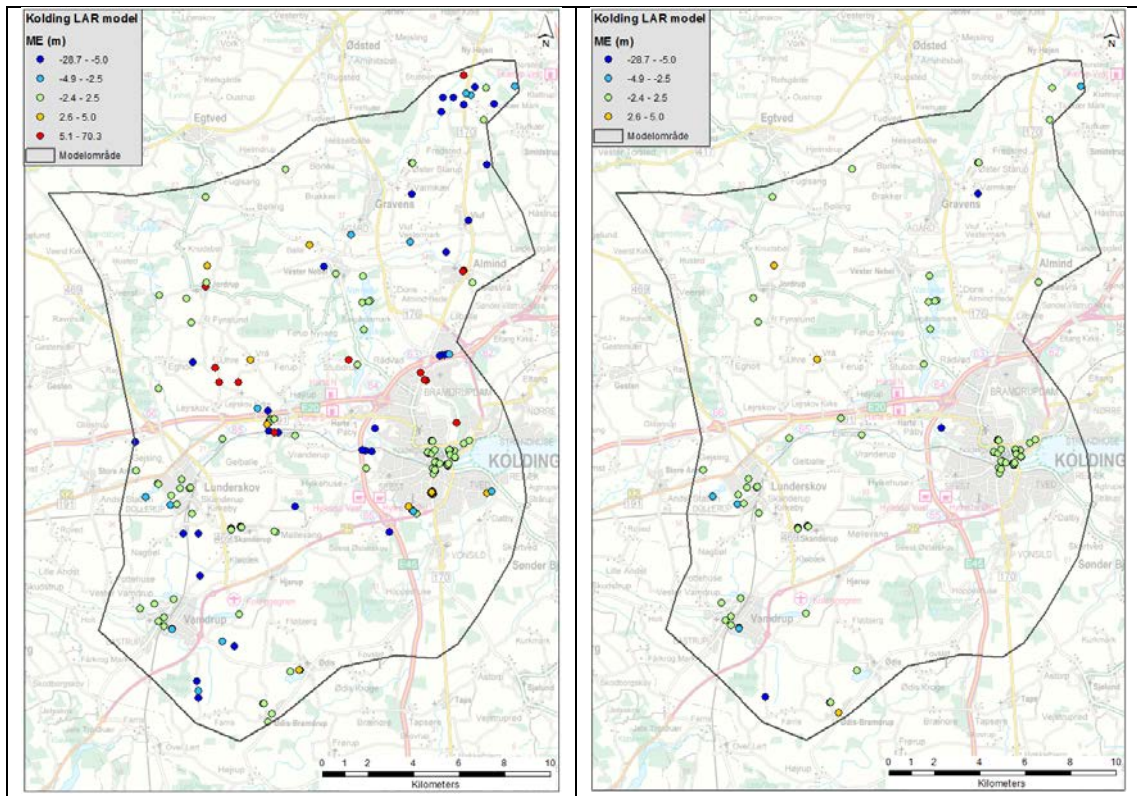


Figur 4-2. Scatterplot af observeret mod beregnet hydraulisk trykniveau lag1. Til venster ses observationer, der er pejlet indenfor kalibreringsperioden. Til højre ses observationer der er pejlet i perioden før kalibreringsperioden.

I Figur 4-1 og Figur 4-2 ses, at for nogle få boringer beregnes der en grundvandsstand på 0 m, mens den observerede værdi er på 30-50 m. Dette skyldes, at observationerne er foretaget i et forholdsvis tyndt øvre magasin, hvor grundvandsstanden på samme lokalitet i modellen ligger under det pågældendes lags nedre begrænsning. Grundvandsstanden kan derfor ikke kvantificeres for det pågældende lag.

Modellen er i stand til at give en tilfredsstillende beskrivelse af både lave og høje grundvandsstande, som varierer over et ganske bredt interval (0-80 m). Middelværdien på forskellen mellem observeret og simuleret grundvandsstand (ME) er på 0.35 m, mens kvadratafvigelsessummen (RMS) er på 6.04 m (som i det pågældende tilfælde svarer til standardafvigelsen) for alle observationer. Hvis beregnet og observeret grundvandsstand sammenlignes i et stort antal punkter, vil den beregnede grundvandsstand i gennemsnit ligge tæt (0.35 m) på den observerede grundvandsstand. Til gengæld kan der på den enkelte lokalitet findes relativt store forskelle mellem model og data. Denne usikkerhed skyldes både usikkerheden på de målte data samt usikkerheden på modelresultaterne. For modellens øverste beregningslag er middelværdien på forskellen mellem observeret og simuleret grundvandsstand (ME) er på -0.18 m, mens kvadratafvigelsessummen (RMS) er på 1.69 m.

På Figur 4-3 (til venstre) ses den geografiske fordeling af forskellen mellem observeret og beregnet grundvandsstand. Fejlen ses at varierer omkring en værdi på nul, og der ses generelt ikke tendenser til at nogle områder er dårligere beskrevet end andre. I de fleste tilfælde ligger afvigelsen mellem observeret og beregnet grundvandsstand i intervallet -2.5 m til 2.5 m. En undtagelse fra dette findes i den nordøstlige del af modellen, hvor der for en håndfuld boringer findes afvigelser på mere end -5.1 m, hvilket viser at modellen overestimerer grundvandsstanden i dette område (dvs. modellen beregner et for højt grundvandsspejl i dette område). Dette kan skyldes at modelberegningerne er påvirket af de nærliggende randbetingelser som ikke har været præcise nok. Da de geologiske enheder udbreder sig i hele modelområdet, har det imidlertid ikke været muligt at tilpasse modellen bedre i det pågældende område uden at det ville medføre en forringelse i det øvrige område. En videre anvendelse af modelresultaterne fra den nordøstligste del af modelområdet vil derfor være behæftet med en større usikkerhed. I Figur 4-3 til højre ses resultatet for det øvre beregningslag i modellen. Her ses at i langt hovedparten af observationspunkterne ligger afvigelsen mellem observeret og beregnet grundvandsstand i intervallet omkring nul meter.



Figur 4-3. Illustration af den rumlige fordeling af forskellen mellem observeret og beregnet grundvandsstand, hvor en positiv værdi viser at modellen underestimerer grundvandsstanden. Til venstre er alle boringer vist, mens der til højre kun er vist boringer, som er filtersat i det øverste beregningslag (dvs. tæt på terræn).

4.2 Model-parametre

De primære modelparametre er vist i Tabel 4-1, hydrauliske ledningsevner, porøsitet og magasintal for de forskellige jordtyper, og i Tabel 4-2, drænkstanter for kloakledninger i byområder og markdræn i landområder.

Tabel 4-1. *Hydrauliske ledningsevner, porøsitet og magasintal.*

Jordtype	Type nr.	K _{x,y} (m/s)	K _z (m/s)	S _y	SS (/m)
Smeltevandssand	1	1.39E-05	1.39E-06	3.00E-01	5.00E-05
Ler	2	5.56E-08	5.56E-09	7.50E-02	5.00E-05
Kvartssand	3	2.44E-05	2.44E-06	3.00E-01	5.00E-05
Glimmersand	4	2.41E-06	2.41E-07	3.00E-01	5.00E-05
Glimmersilt/ler	5	6.16E-08	6.16E-09	7.50E-02	5.00E-05
Ler - Tidlig Kridt	8	2.00E-07	2.00E-08	7.50E-02	5.00E-05
Kvartært sand	91	2.49E-04	2.49E-05	3.00E-01	5.00E-05
Kvartært ler	92	5.56E-08	5.56E-09	7.50E-02	5.00E-05
Prækvartært ler	95	6.16E-08	6.16E-09	7.50E-02	5.00E-05
Aquifer1	21	7.31E-05	7.31E-06	3.00E-01	5.00E-05
Aquitard1	22	2.78E-05	2.78E-06	3.00E-01	5.00E-05
Aquifer2	23	1.78E-05	1.78E-06	3.00E-01	5.00E-05
Aquitard2	24	5.56E-08	5.56E-09	3.00E-01	5.00E-05
Aquifer3	25	2.49E-03	2.49E-04	3.00E-01	5.00E-05

Tabel 4-2. *Drænkstanter*

Drænzonen	Drænkstansitet	Drænkst. (/s)
1	Lav, by	7.20E-08
2	Høj, by	1.72E-07
3	Lav, land	1.38E-08
4	Høj, land	1.38E-07

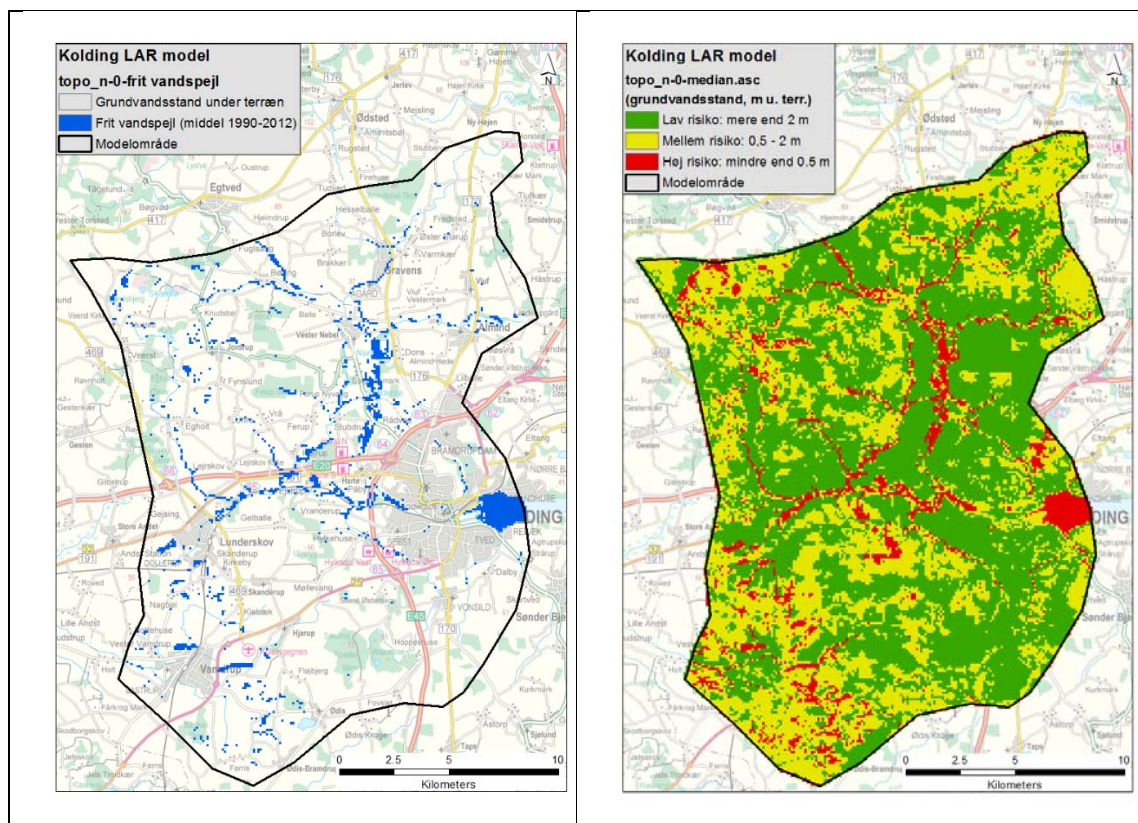
Implementering af en mere detaljeret beskrivelse af befæstelsesgraden i modelområdet, en højere befæstelsesgrad og en ændring af drænkforholdene i byområder, har betydet at parameterværdierne for de forskellige jordtypers hydrauliske ledningsevne er ændret lidt i forhold til 2012-modellen (Tabel 4-1 og Tabel 3-3).

4.3 Grundvandsstand under nutidigt klima

I de efterfølgende afsnit er resultaterne for klimaanalyserne præsenteret således, at der på kortene er angivet områder med henholdsvis høj, middel og lav risiko for højtstående grundvand. Som beskrevet i afsnit 4.1 er der en vis usikkerhed på resultaterne, og det vil derfor være muligt at udpege lokaliteter, hvor de præsenterede estimer på høj, middel og lav risiko for højtstående grundvand er fejlbehæftede. Kortene skal med andre ord vurderes som det bedste bud på risikoen for højtstående grundvand i nutid og fremtid.

Den beregnede middel grundvandsstand under nutidigt klima er baseret på modelberegninger for en 22-årig periode fra 1990-2011. Middel grundvandsstand er beregnet som 50% fraktilen af den simulerede grundvand over de 22 år modellen regner på. 50% fraktilen repræsenterer den værdi, som grundvandsstanden er større eller mindre end i 50% af tiden (de 22 år).

Figur 4-4 (venstre figur) viser, hvor den hydrologiske model simulerer frit vandspejl (nutid), dvs. vand over terræn under et nutidigt klima. De våde områder er primært lokaliseret langs vandløb, i dalstrøg og i områder med søer. Figur 4-4 (højre figur) viser middeldybden til grundvandsspejlet i modelområdet inddelt i tre risikoklasser med lav, middel og høj risiko for høj grundvandsstand (afsnit 3.10.1).

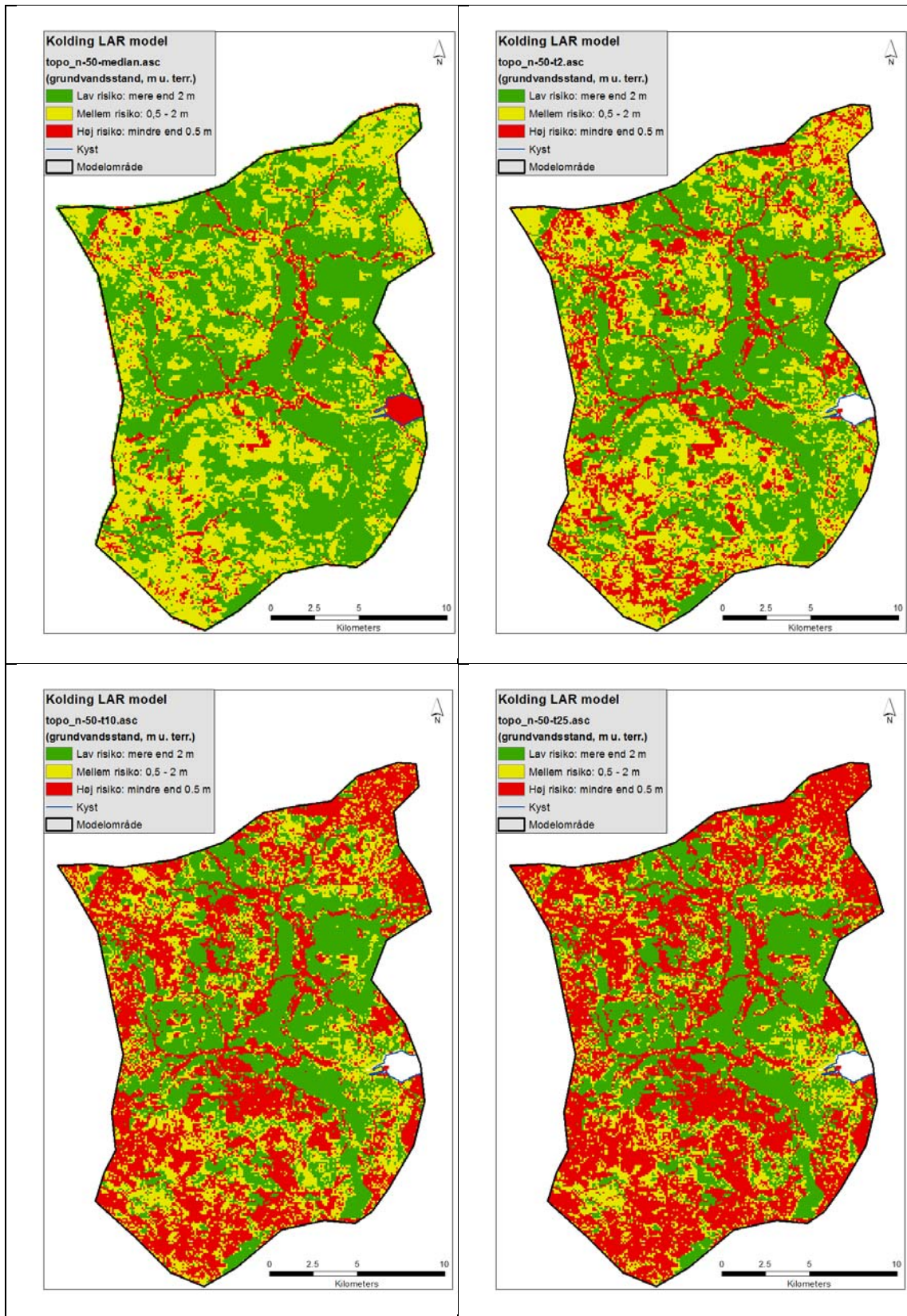


Figur 4-4. Kort over hvor den hydrologiske model simulerer frit vandspejl (nutid), dvs. vand over terræn, venstre figur. Basiskort over simuleret nutidig middel grundvandsstand, inddelt i områder med lav, middel og høj risiko for høj grundvandsstand, højre figur.

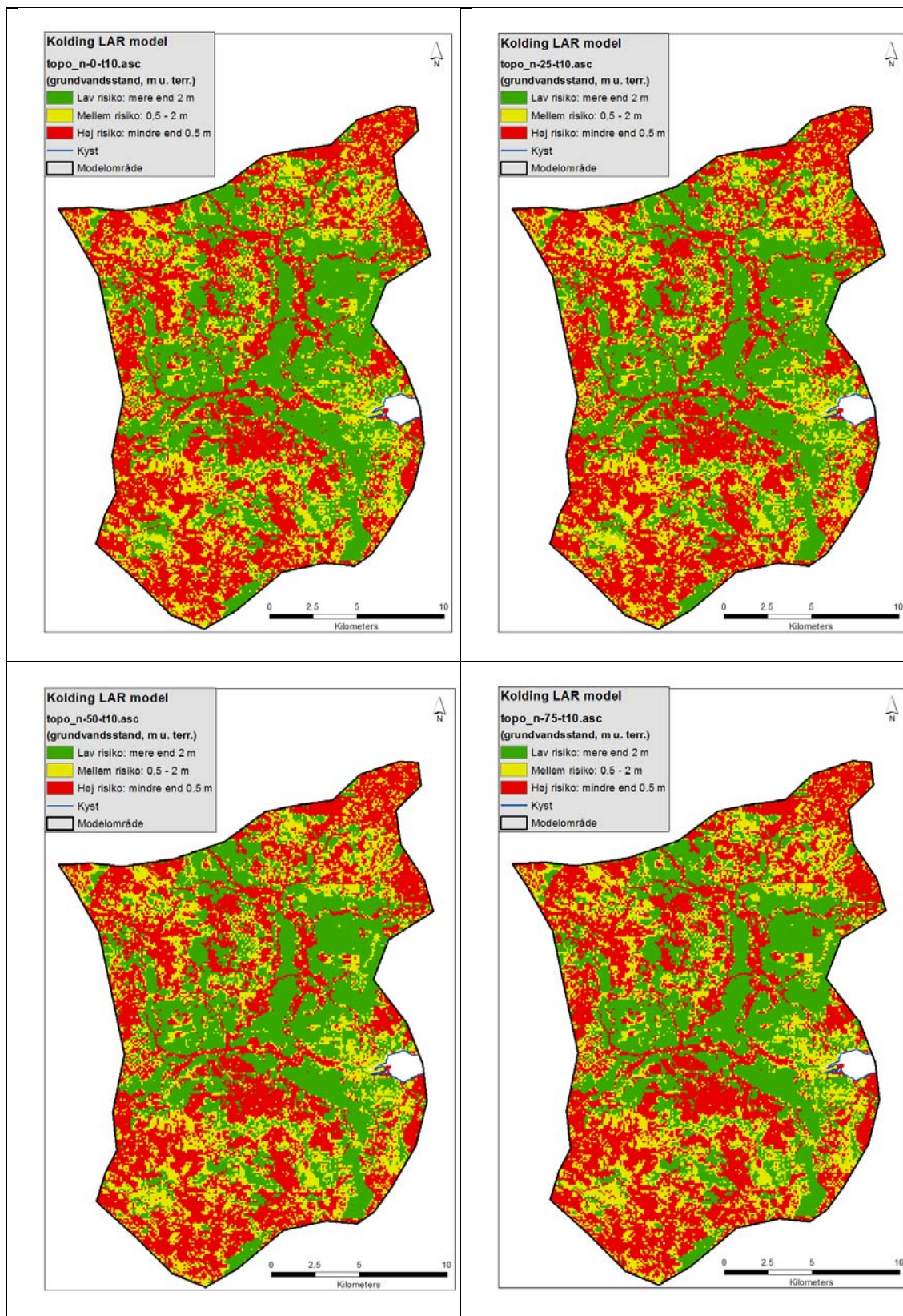
På Figur 4-5 (Nutid, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse) ses relativt få røde områder med vandspejl tættere end 0,5 m på terræn for middelsituationen. Med stigende T-årshændelse ses en større og større udbredelse af de røde højrisiko områder. I de i sandede områder ses at vandet også drænes væk ved større T-årshændelser, hvorimod der i de lerdominerede områder opbygges et grundvandsspejl over drænniveau, som kun langsomt vil drænes væk. De høje grundvandsspejl ved 25-årshændelsen er genereret af en

ekstremhændelse, fx vintersituation med nedbør i flere uger i træk, og det sker 'kun' 1 dag på 25 år.

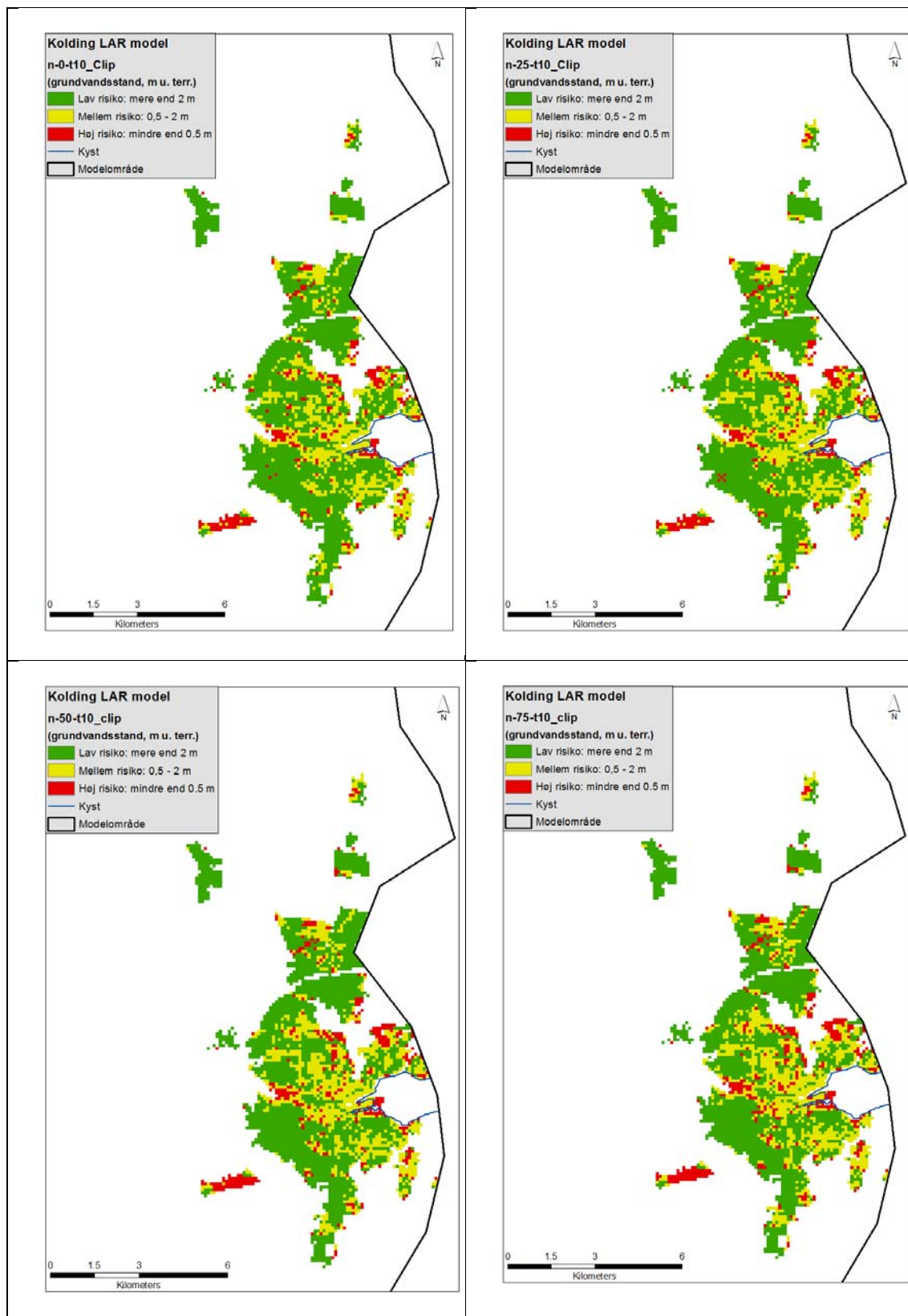
På Figur 4-6 og Figur 4-7 (Nutid, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration) ses en mindre stigning i de gule områder (mellem risiko) i byområderne på bekostning af de grønne områder (lav risiko), dette ses mest tydeligt jo større LAR-%, det vil sige jo mere vand der infiltreres. Der ses ikke store ændringer fra gul (mellem risiko) til rød (høj risiko), Det er kun i byområder at der ses ændringer da der primært er her at der er implementeret LAR i modellen. På Figur 4-7 kan der for Kolding by ses en lille øgning i de røde områder med stigende LAR, mest tydeligt ved LAR 75.



Figur 4-5. Dybde til grundvandsspejl. Nutid, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse.



Figur 4-6. Dybde til grundvandsspejl. Nutid, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration.



Figur 4-7. Dybde til grundvandspejl. Nutid, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration. Zoom på Kolding by.

4.4 Grundvandsstand under fremtidigt klima

Til middel-våd klimascenarium er benyttet klimamodellen ECHAM5-RAC3 (ECHAM-SMHI), og til det vådeste klimascenarium er benyttet BCM2-RAC3 (BCM-SMHI) (Tabel 3-4).

På Figur 4-8 til Figur 4-19 præsenteres udvalgte resultater fra klima- og LAR-scenarierne, som beskrevet i afsnit 3.8 og 3.10. Da de generelle tendenser er de samme fra scenarium til scenarium er beskrivelsen gentaget for ens typer af figur-grupper. I Figur 4-20 og Figur 4-21 er der foretaget en sammenligning af scenarier på tværs af ovennævnte fremstilling for at fremhæve, hvor der ses mere markante forskelle i risikokort.

På Figur 4-8 (Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse) ses relativt få røde områder med vandspejl tættere end 0,5 m på terræn for middelgrundvandssituationen. Med stigende T-årshændelse ses en større og større udbredelse af de røde højrisiko områder. I de sandede områder drænes vandet også væk ved større T-årshændelser, hvorimod der i de lerdominerede områder opbygges et grundvandsspejl over drænniveau, som relativt langsomt drænes væk.

På Figur 4-9 og Figur 4-10 (Nær fremtid, middelvådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration) ses en mindre stigning i de gule områder (mellem risiko) i byområderne på bekostning af de grønne områder (lav risiko), dette ses mest tydeligt jo større LAR-%, det vil sige jo mere vand der infiltreres. Der ses ikke store ændringer fra gul (mellem risiko) til rød (høj risiko). På Figur 4-10 kan der for Kolding by ses en lille øgning i de røde områder med stigende LAR, mest tydeligt ved LAR 75.

På Figur 4-11 (Fjern fremtid, middelvådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse) ses relativt få røde områder med vandspejl tættere end 0,5 m på terræn for middelsituationen. Med stigende T-årshændelse ses en større og større udbredelse af de røde højrisiko-områder. I de i sandede områder drænes vandet også væk ved større T-års-hændelser, hvorimod der i de lerdominerede områder opbygges et grundvandsspejl over drænniveau, som kun langsomt drænes væk.

På Figur 4-12 og Figur 4-13 (Fjern fremtid, middelvådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration) ses en mindre stigning i de gule områder (mellem risiko) i byområderne på bekostning af de grønne områder (lav risiko), dette ses mest tydeligt jo større LAR-% er, det vil sige jo mere vand der infiltreres. Der ses ikke store ændringer fra gul (mellem risiko) til rød (høj risiko). Figur 4-13 kan der for Kolding by ses en lille øgning i de røde områder med stigende LAR, mest tydeligt ved LAR 75.

På Figur 4-14 (Nær fremtid, vådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse) ses relativt få røde områder med vandspejl tættere end 0,5 m på terræn for middelsituationen. Med stigende T-årshændelse ses en større og større udbredelse af de røde højrisiko områder. I de i sandede områder ses at vandet også drænes væk ved større T-års-hændelser, hvorimod der i de lerdominerede områder opbygges et grundvandsspejl over drænniveau, som langsomt drænes væk.

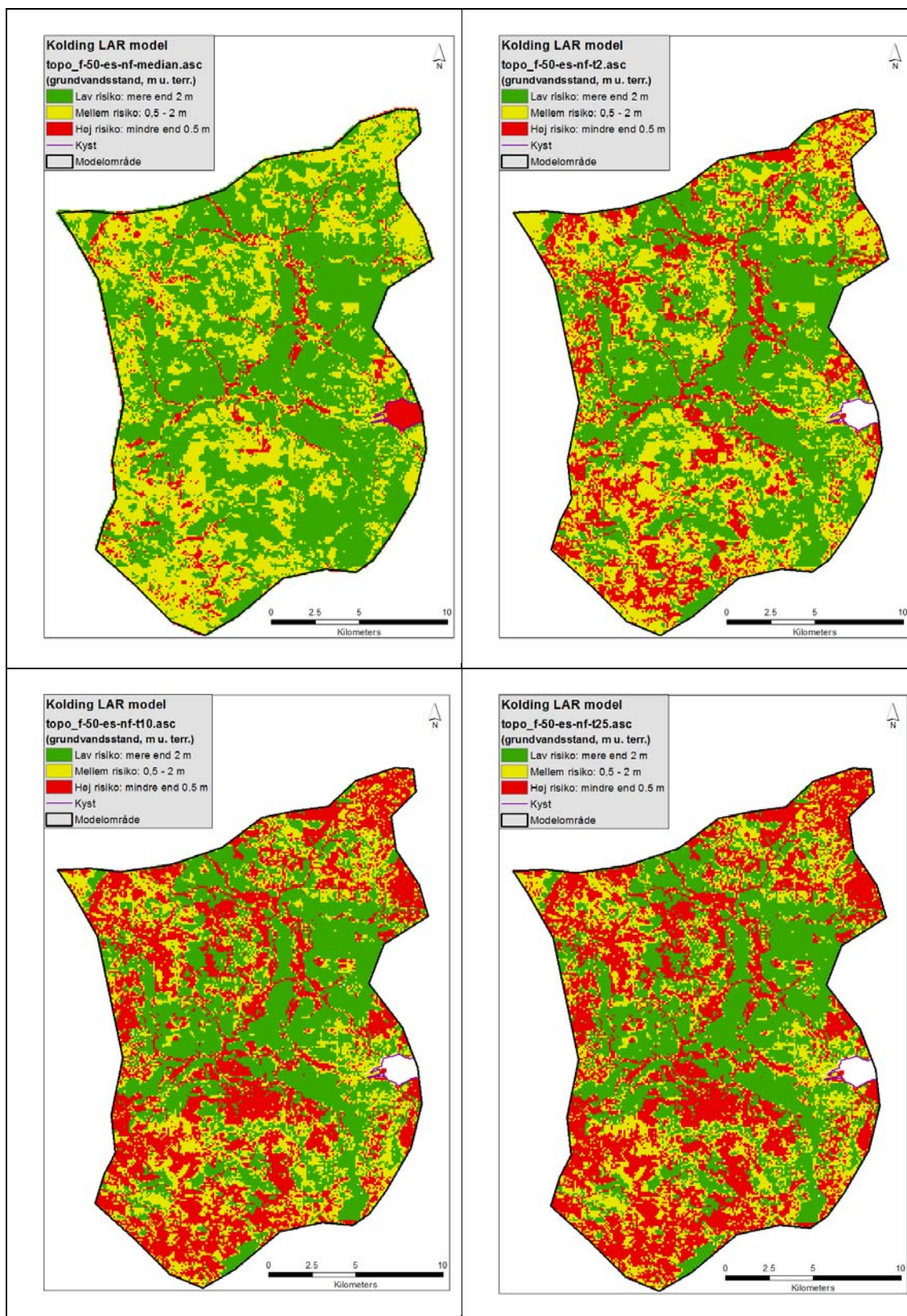
På Figur 4-15 og Figur 4-16 (Nær fremtid, vådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration) ses en mindre stigning i de gule områder (mellem risiko) i byområderne på bekostning af de grønne områder (lav risiko), dette ses mest tydeligt jo større LAR-% er, det vil sige jo mere vand der infiltreres. Der ses ikke store ændringer fra gul (mellem risiko) til rød (høj risiko). Figur 4-16 kan der for Kolding by ses en lille øgning i de røde områder med stigende LAR, mest tydeligt ved LAR 75.

På Figur 4-17 (Fjern fremtid, vådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse) ses relativt få røde områder med vandspejl tættere end 0,5 m på terræn for middelgrundvandssituationen. Med stigende T-årshændelse ses en større og større udbredelse af de røde højrisiko områder. I de i sandede områder ses at vandet også drænes væk ved større T-årshændelser, hvorimod der i de lerdominerede områder opbygges et grundvandspejl over drænniveau, som relativt langsomt drænes væk.

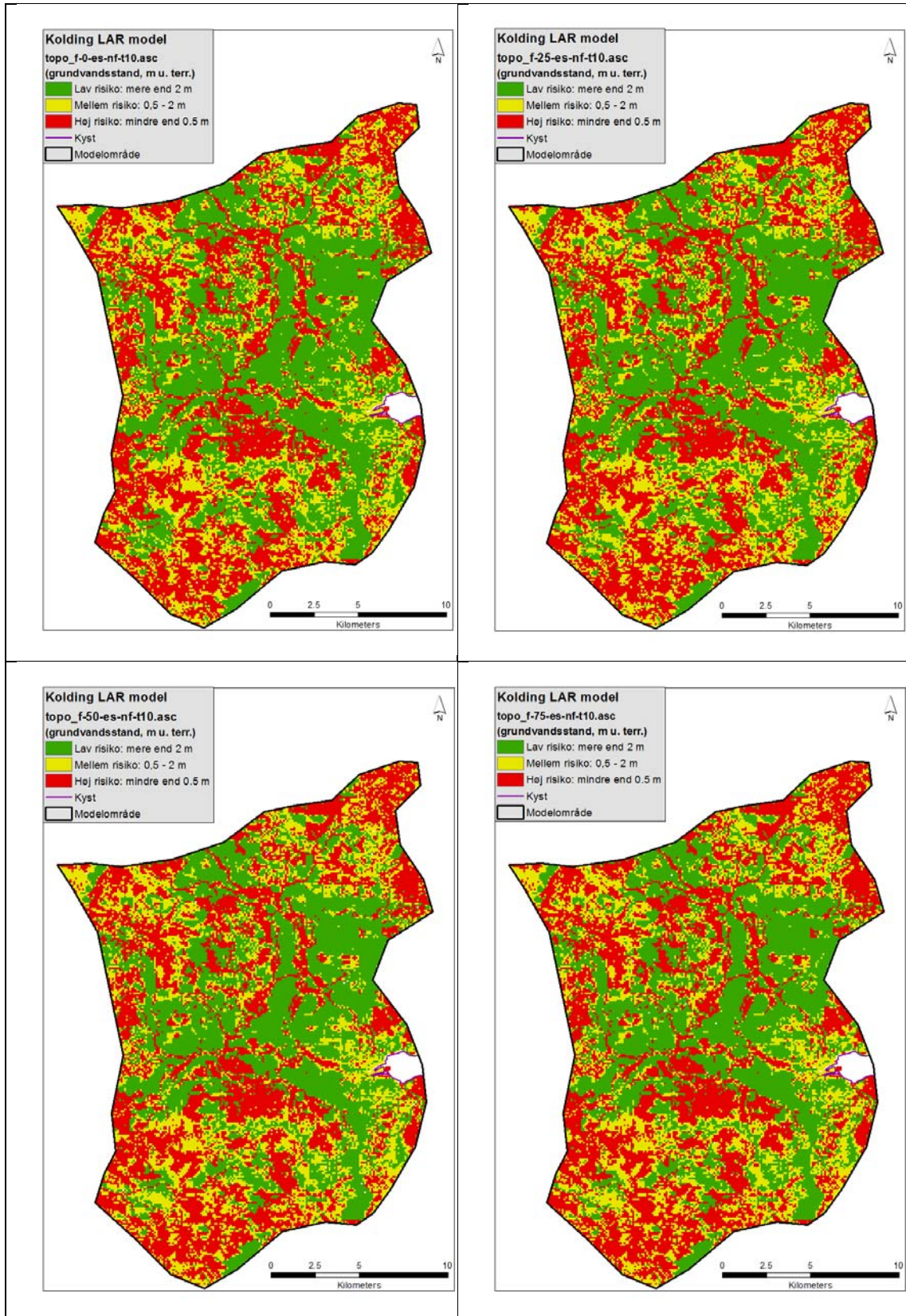
På Figur 4-18 og Figur 4-19 (Fjern fremtid, vådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration) ses en mindre stigning i de gule områder (mellem risiko) i byområderne på bekostning af de grønne områder (lav risiko), dette ses mest tydeligt jo større LAR-%, det vil sige jo mere vand der infiltreres. Der ses ikke store ændringer fra gul (mellem risiko) til rød (høj risiko). Figur 4-19 kan der for Kolding by ses en lille øgning i de røde områder med stigende LAR, mest tydeligt ved LAR 75.

De generelle tendenser i resultaterne er, at med stigende T-årshændelse ses en markant stigning i udbredelsen af områder med høj risiko for højtstående grundvand. Dette ses især i de lerede områder udenfor byområderne. Tilsvarende viser resultater for den vådeste klimamodel i forhold til en middelvåd klimamodel og resultater for fjern fremtid i forhold til nær fremtid at udbredelsen af områder med middel og høj risiko for høj grundvandsstand stiger (Figur 4-20). Med en stigende anvendelse af LAR ses en øget udbredelse af de gule områder (mellem risiko for høj grundvandsstand) i byområderne på bekostning af de grønne områder (lav risiko). Det ses i mindre udstrækning at gule områder (mellem risiko) ændres til røde områder (høj risiko) ved stigende anvendelse af LAR (Figur 4-21).

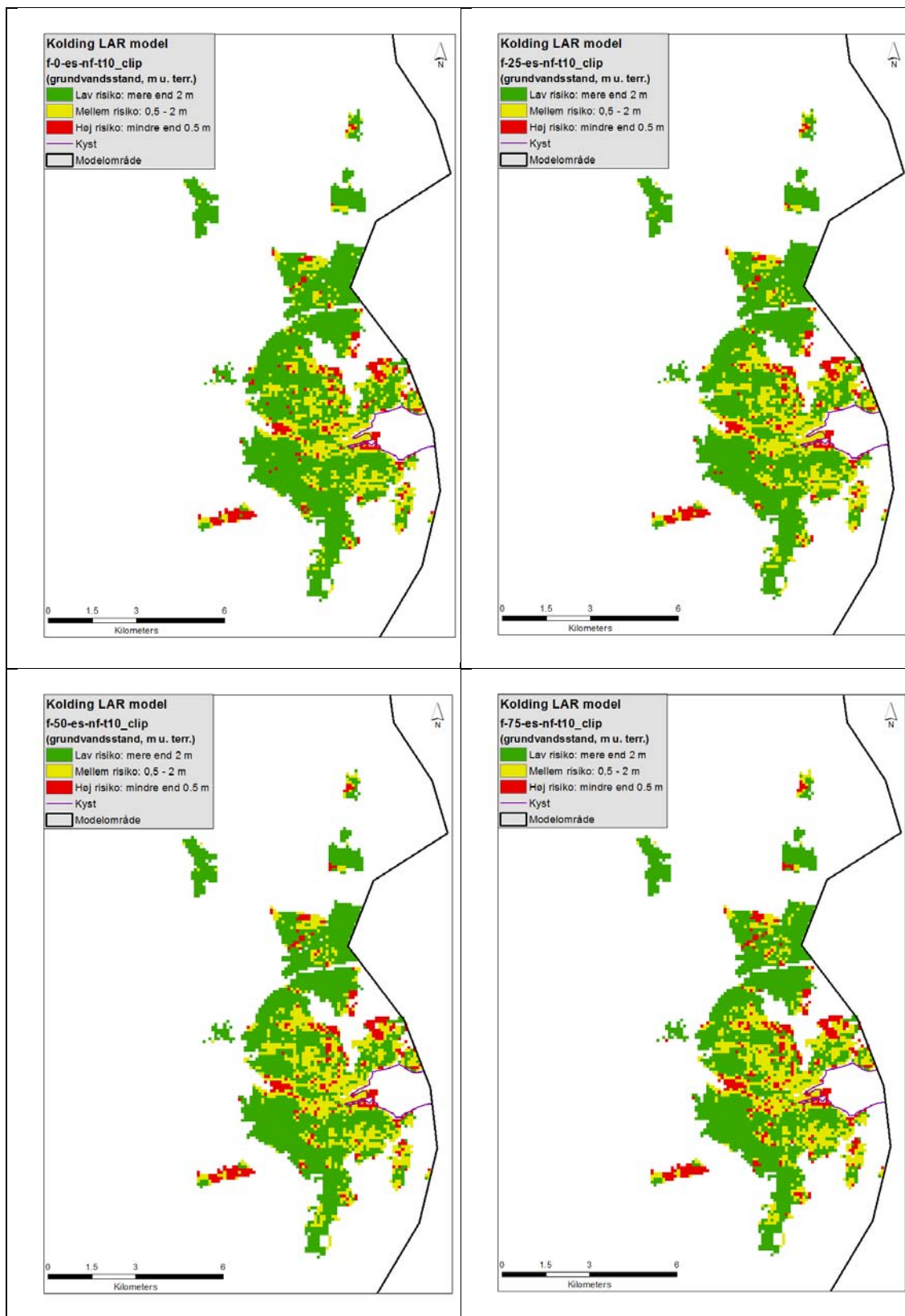
På Figur 4-22 til Figur 4-26 ses hvor og hvordan udbredelsen af problemområder med høj risiko for høj grundvandsstand ændres mellem nutid, nær fremtid og fjern fremtid. Der er taget udgangspunkt i scenariet med 25% LAR, 10-års nedbørhændelse og middelvådt klima. For nær fremtid og middelvådt klima ses der ikke store ændringer i problemområder ved sammenligning med 25-års nedbørshændelse eller 50% LAR. Sammenlignes der derimod med vådt klima ses en større udbredelse af problemområder både i nær fremtid og i fjern fremtid. En udbredelse af områder med høj risiko som øges både ved sammenligning med 25-års nedbørshændelse og 50% LAR.



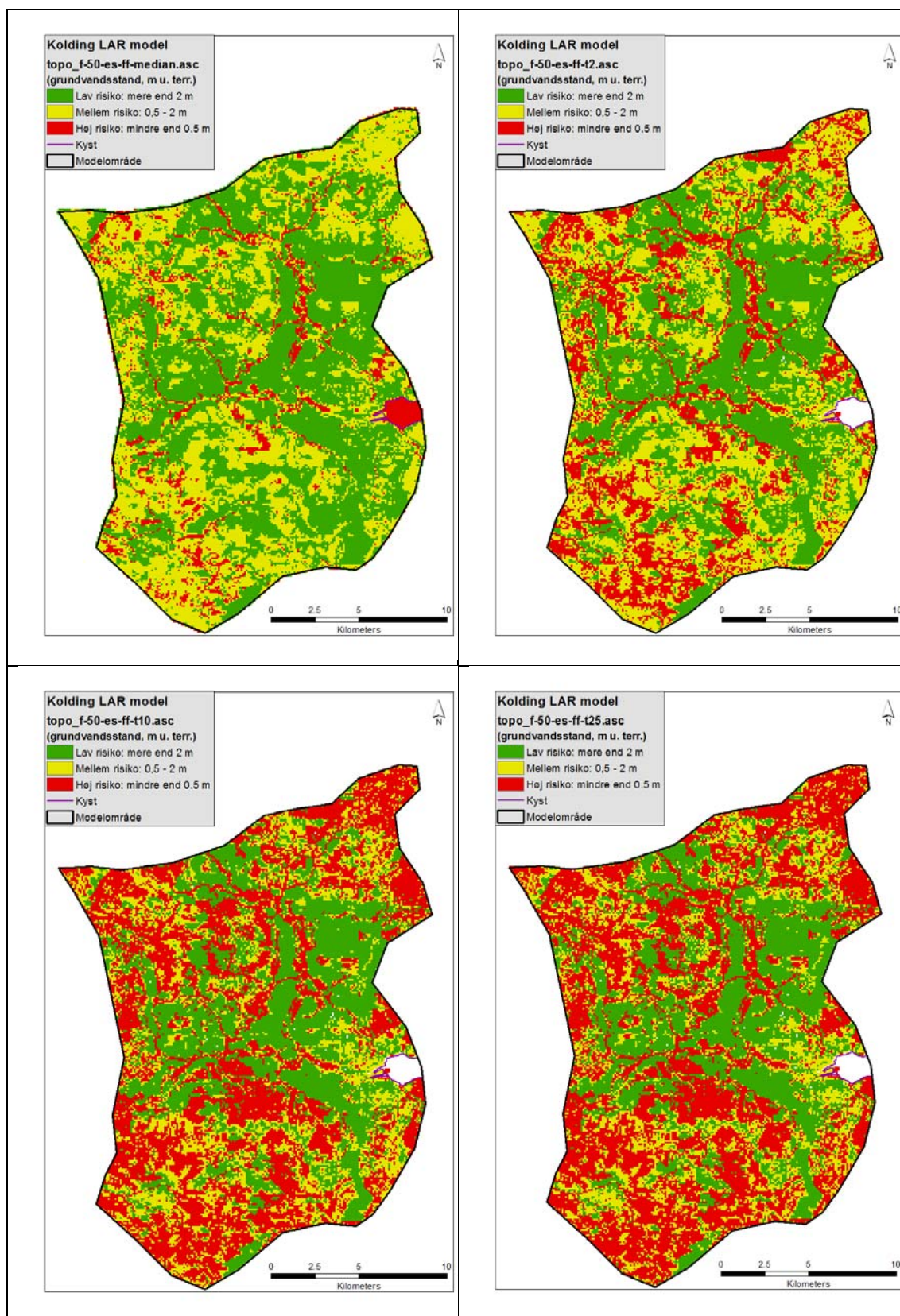
Figur 4-8. Dybde til grundvandsspejl. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse.



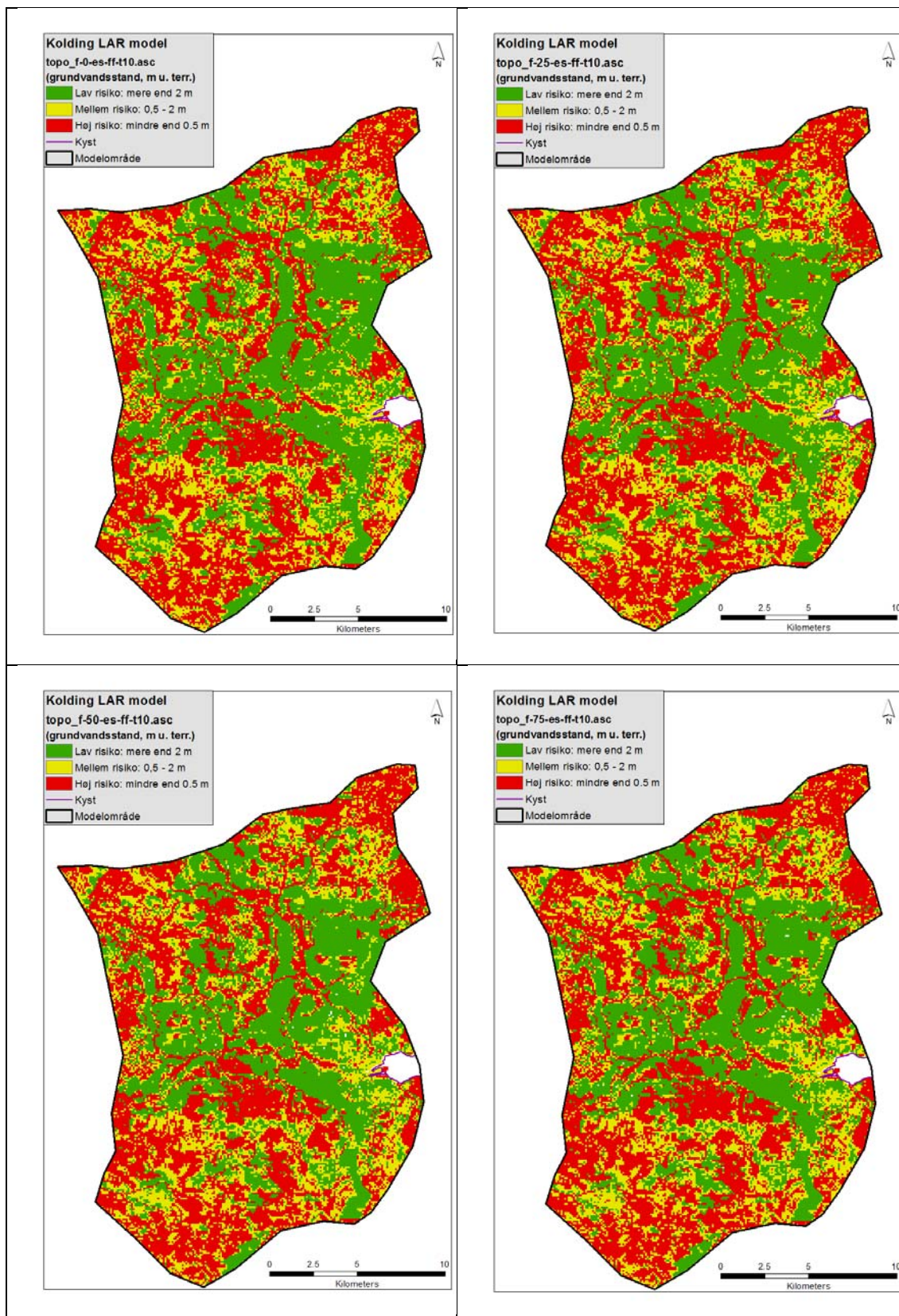
Figur 4-9. Dybde til grundvandspejl. Nær fremtid, middelvådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration.



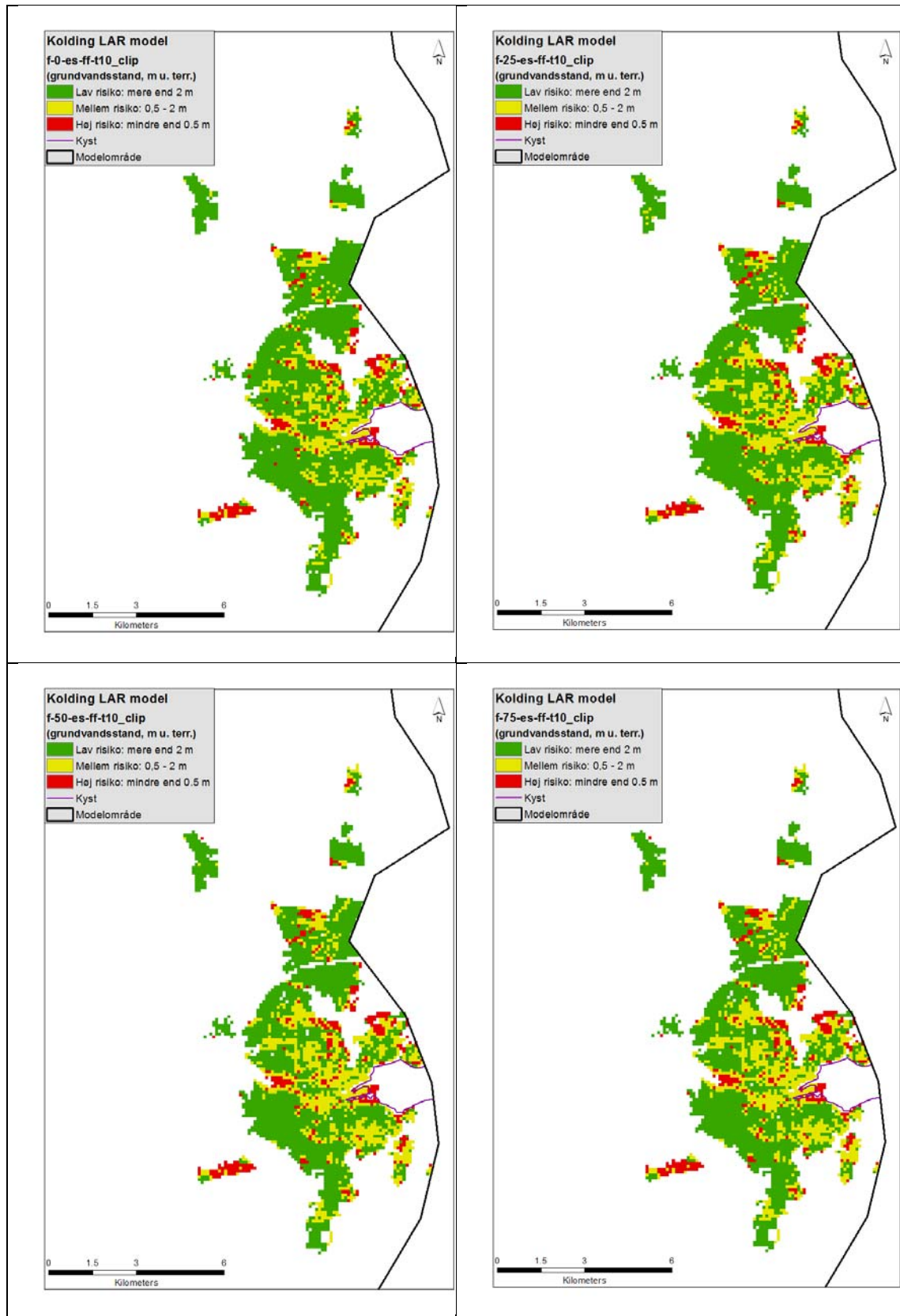
Figur 4-10. Dybde til grundvandspejl. Nær fremtid, middelvådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration. Zoom på Kolding by.



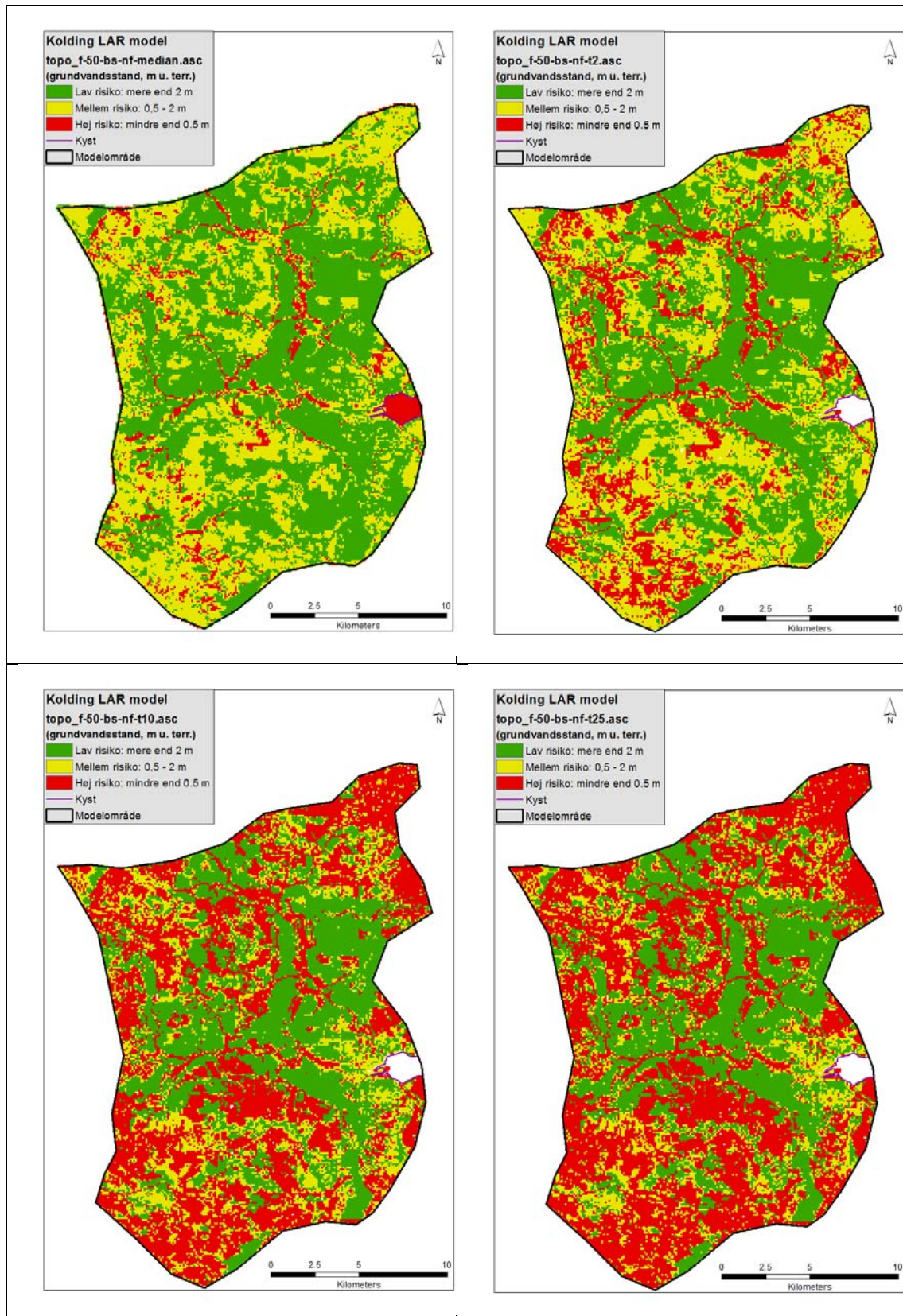
Figur 4-11. Dybde til grundvandsspejl. Fjern fremtid, middelvådt klima, LAR 50% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse.



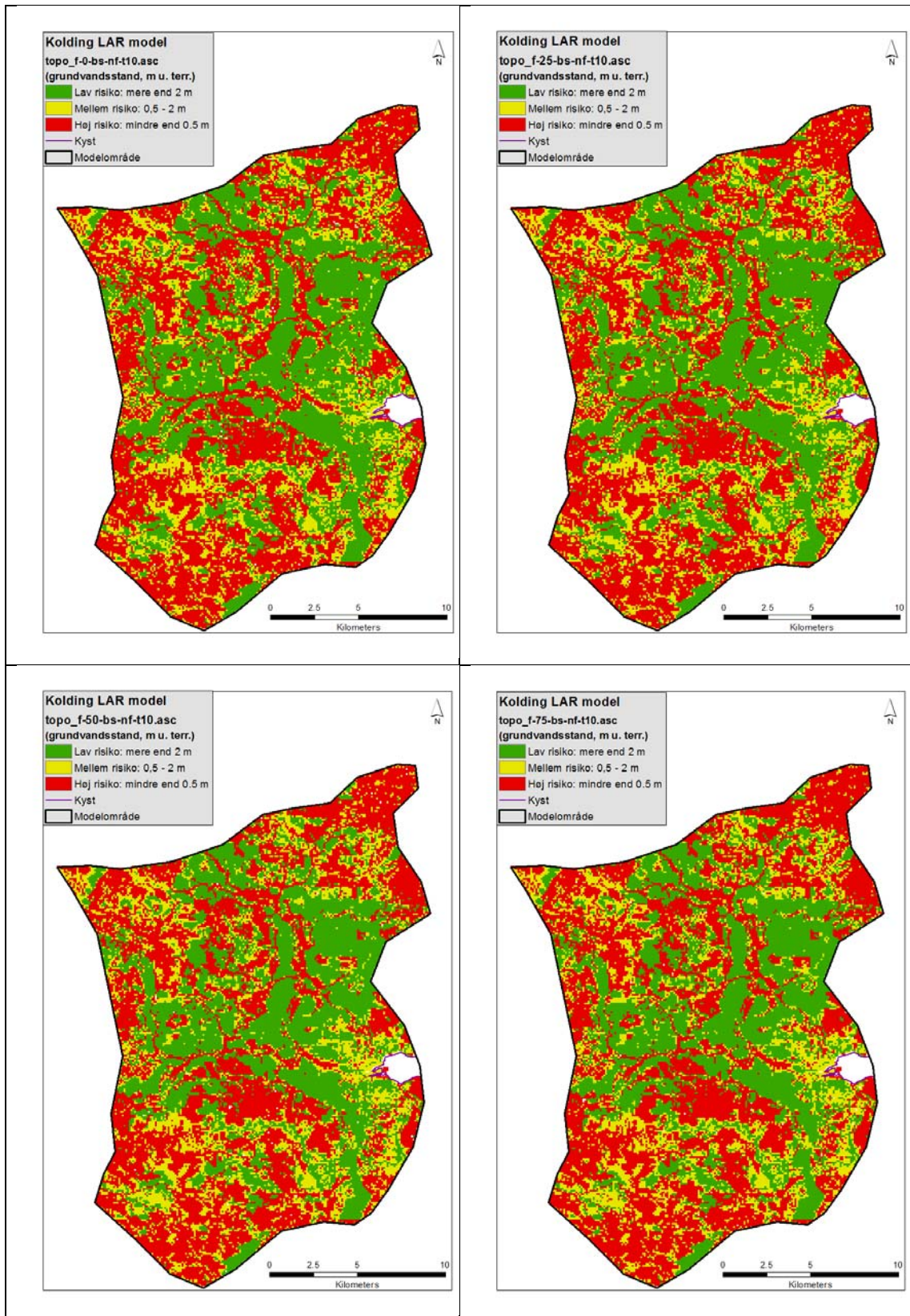
Figur 4-12. Dybde til grundvandsspejl. Fjern fremtid, middelvådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration.



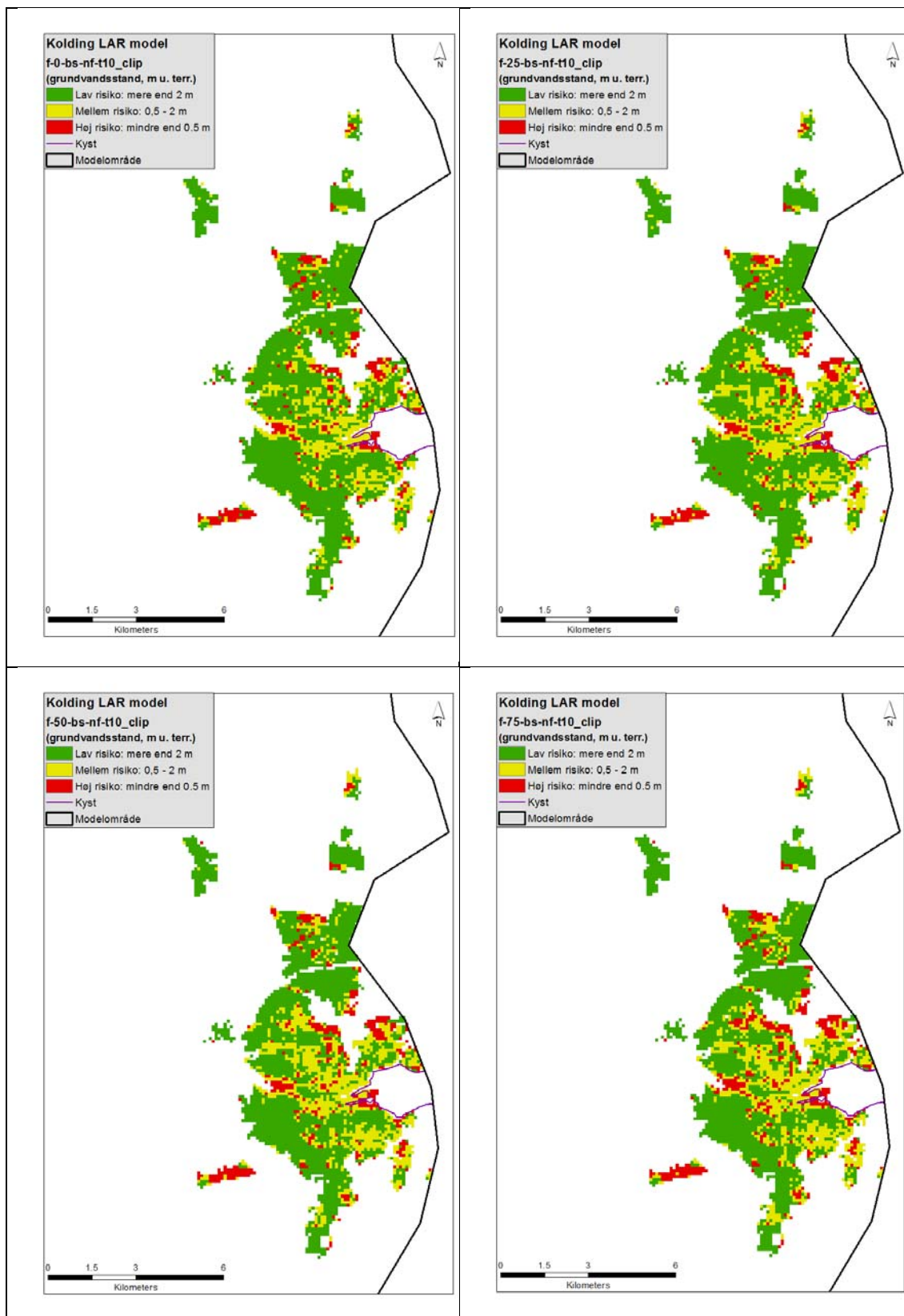
Figur 4-13. Dybde til grundvandsspejl. Fjern fremtid, middelvådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration. Zoom på Kolding by.



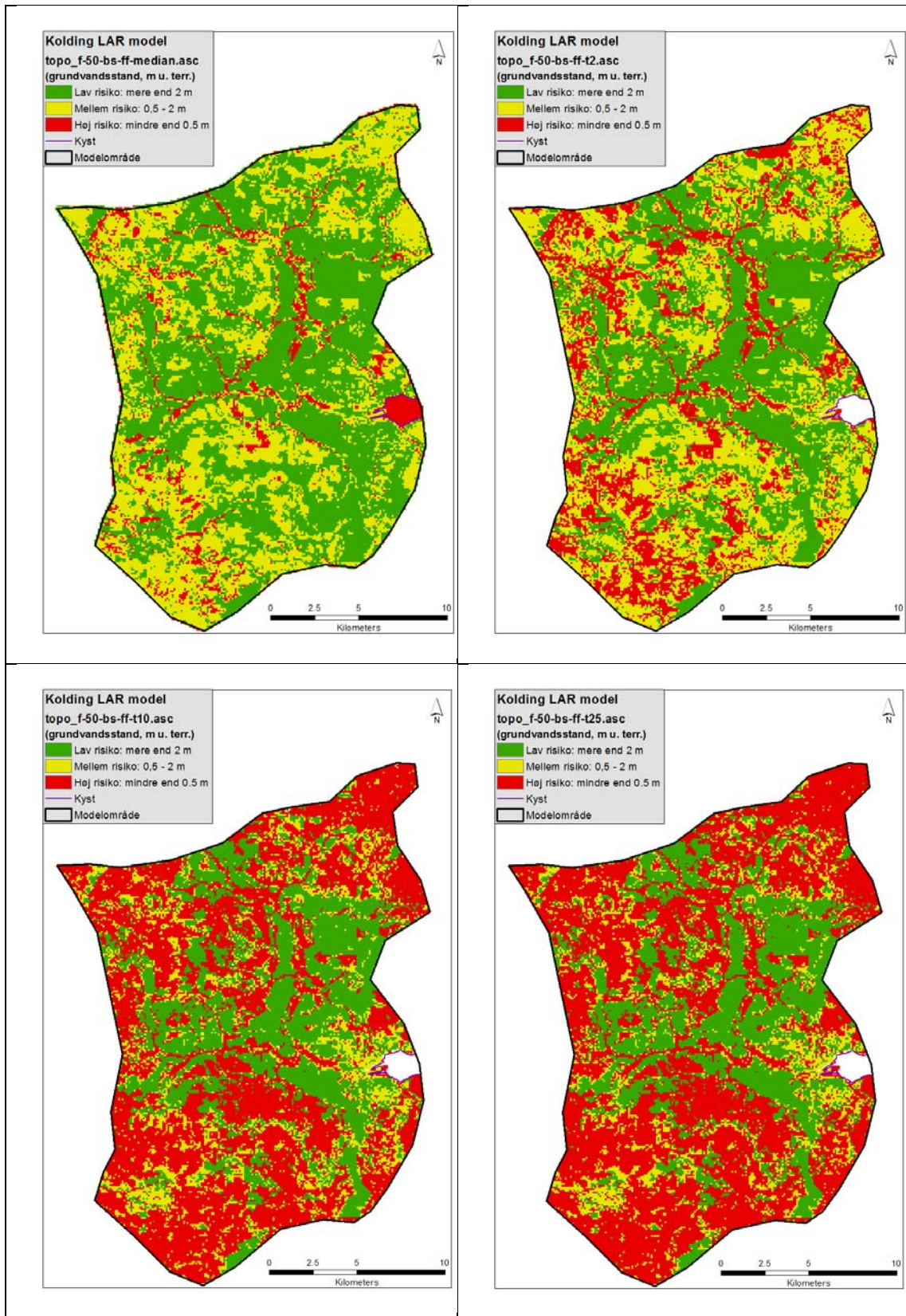
Figur 4-14. Dybde til grundvandsspejl. Nær fremtid, vådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse.



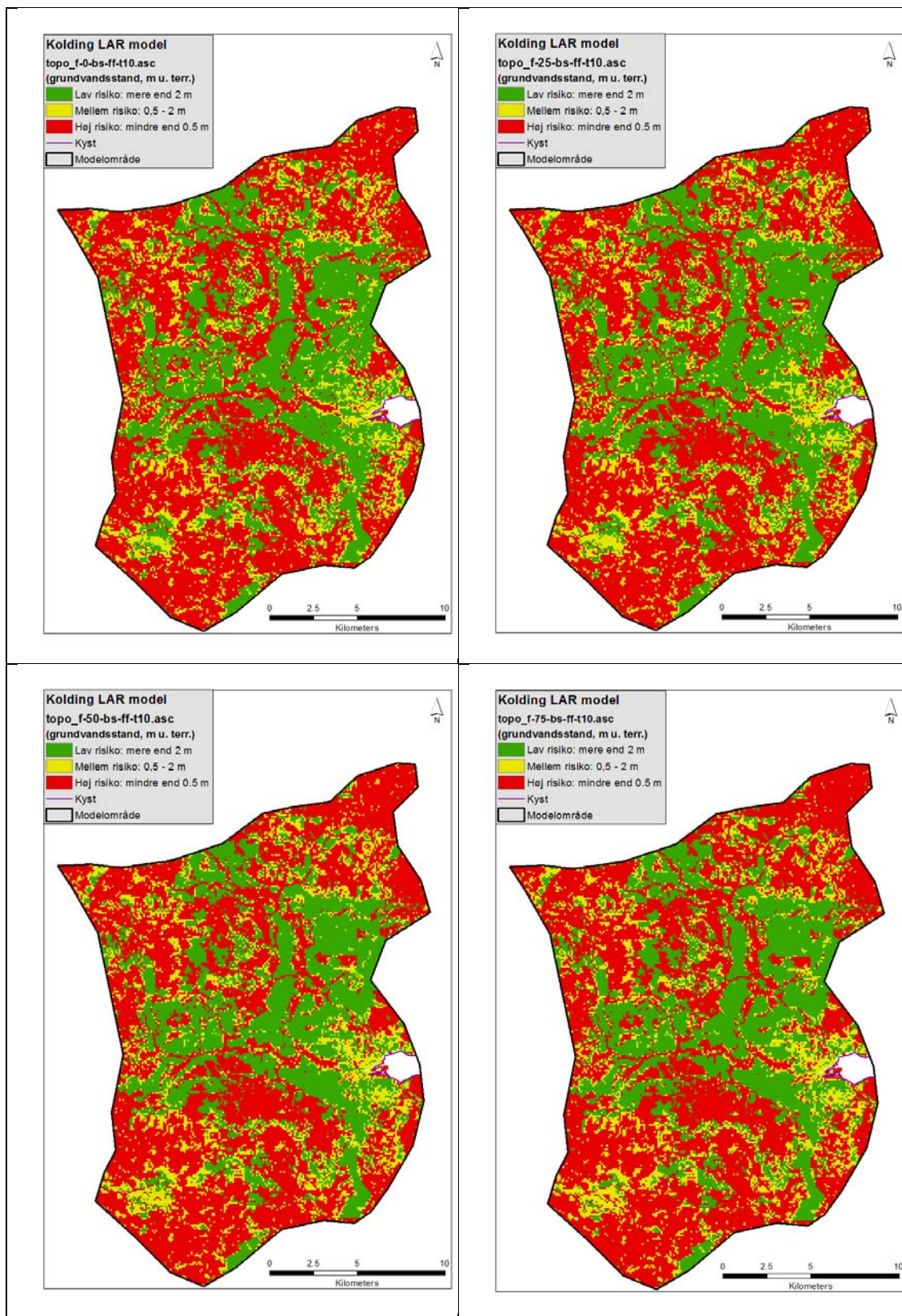
Figur 4-15. Dybde til grundvandsspejl. Nær fremtid, vådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration.



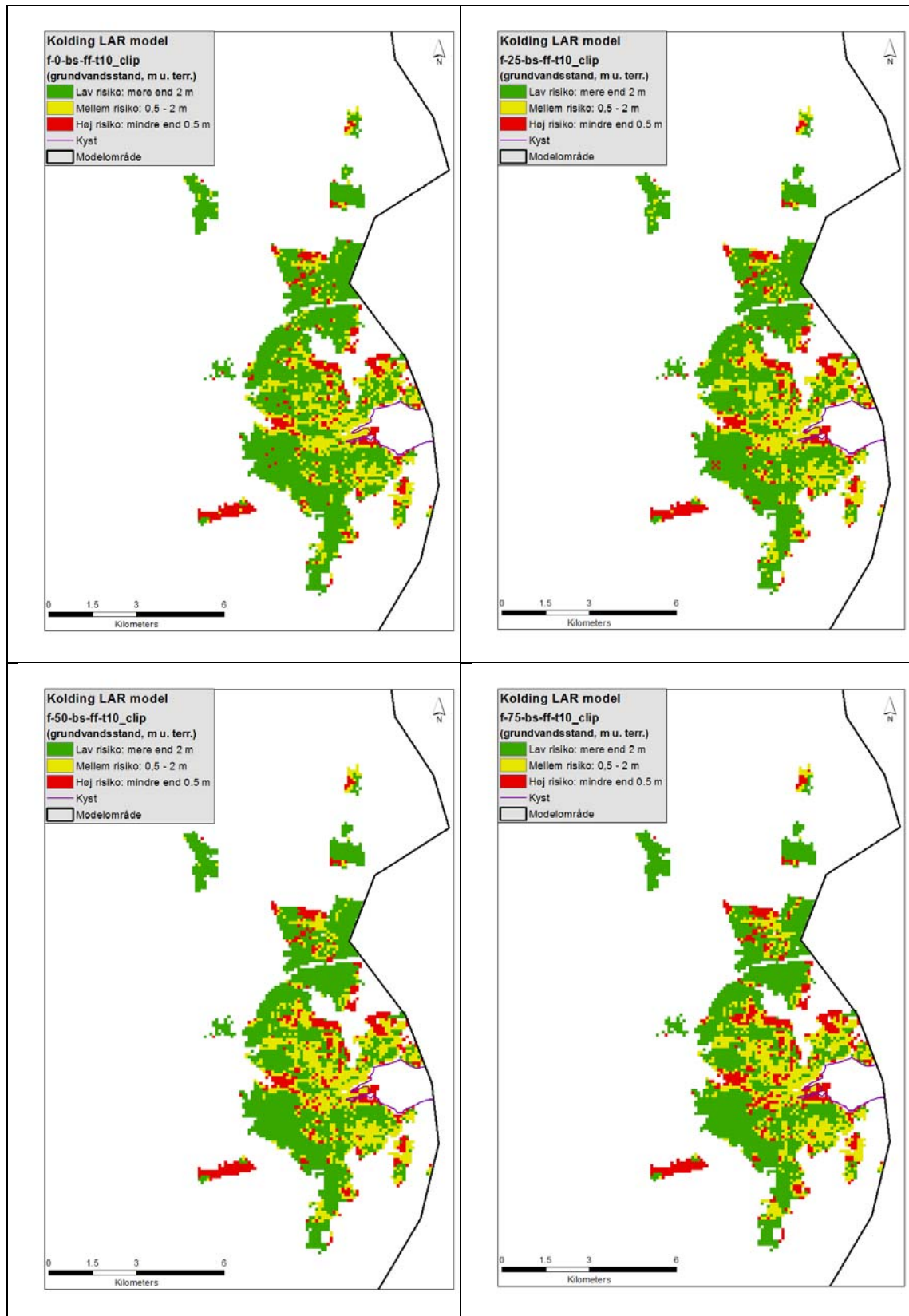
Figur 4-16. Dybde til grundvandspejl. Nær fremtid, vådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration. Zoom på Kolding by.



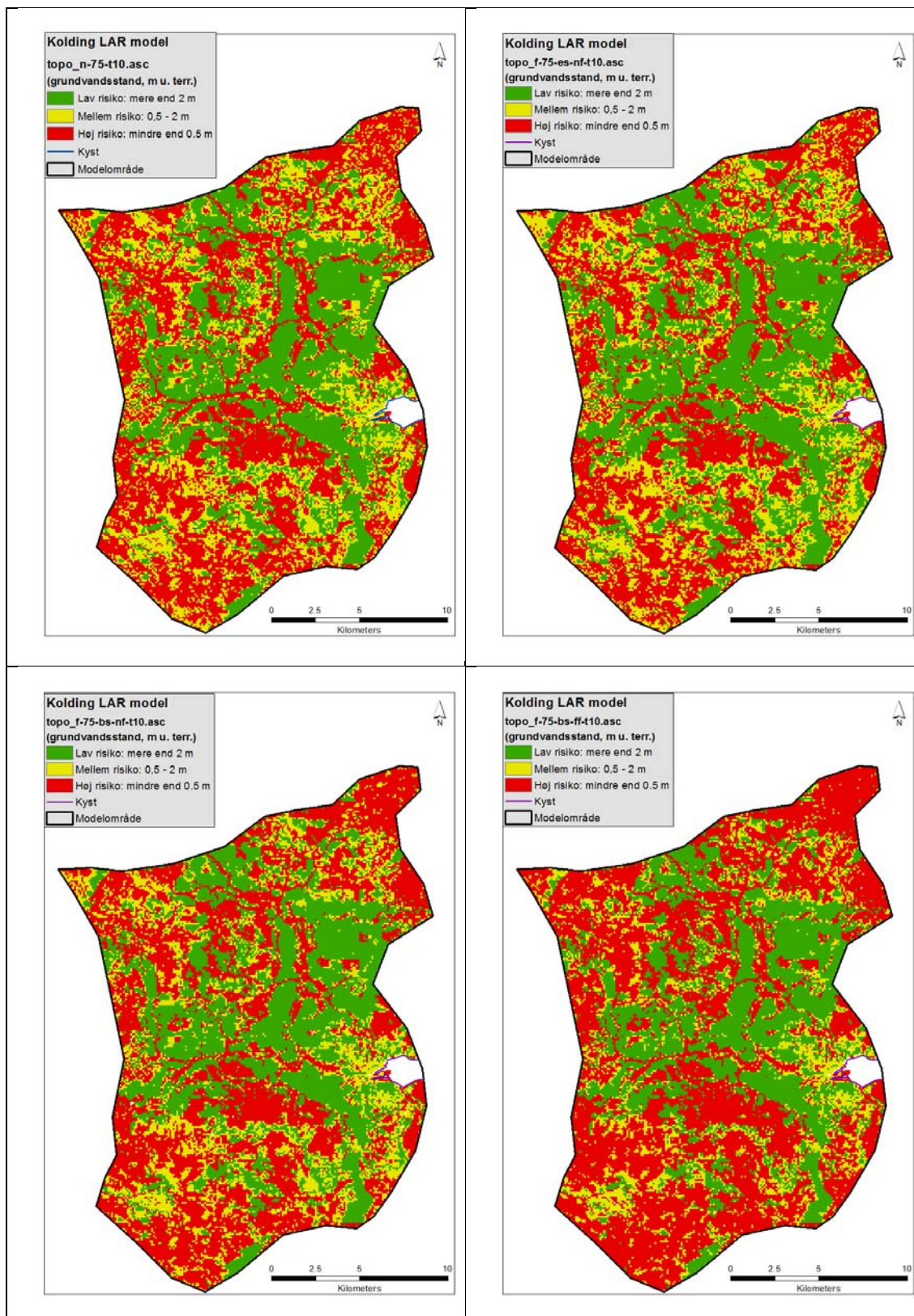
Figur 4-17. Dybde til grundvandsspejl. Fjern fremtid, vådt klima, LAR 50% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse.



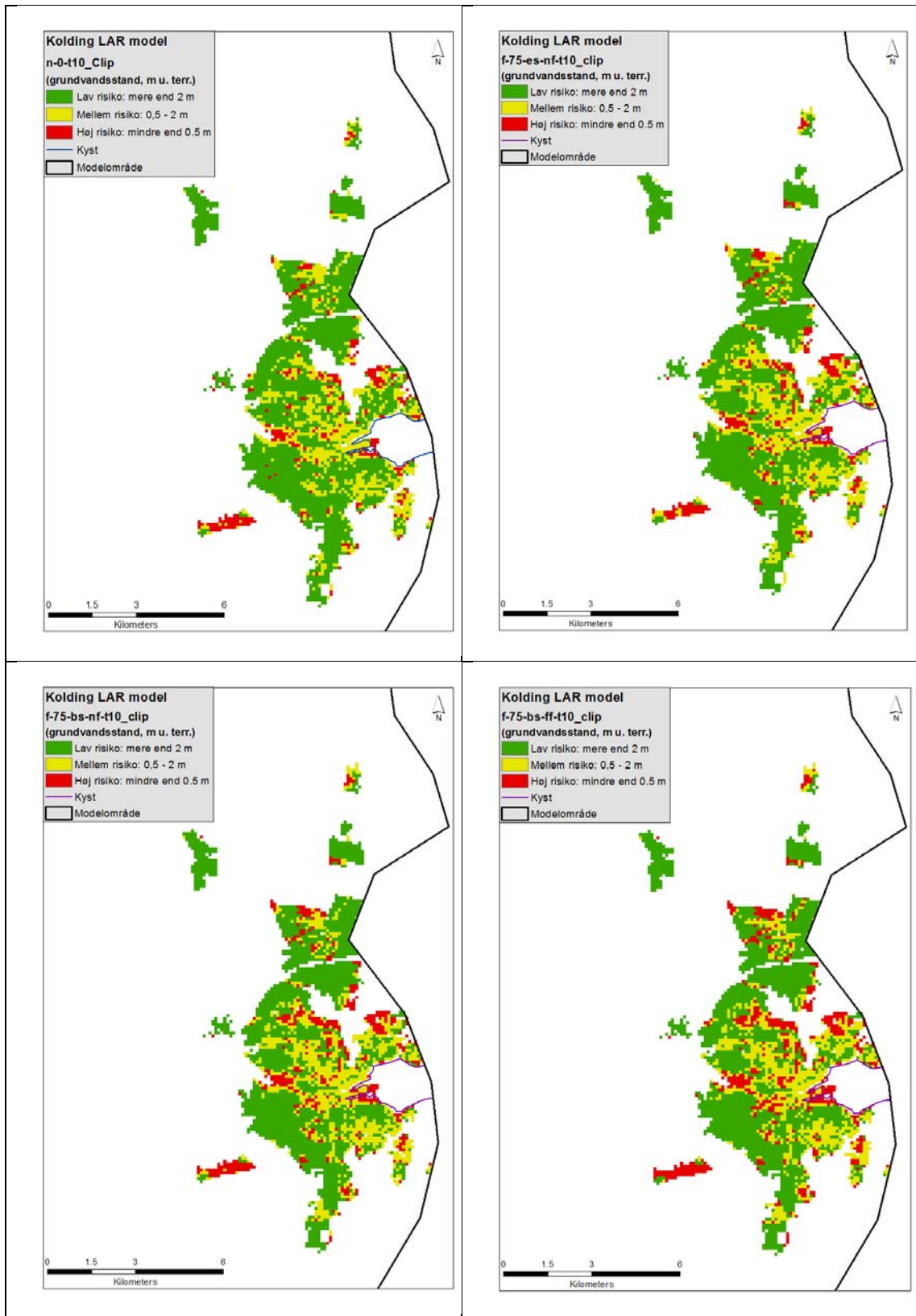
Figur 4-18. Dybde til grundvandsspejl. Fjern fremtid, vådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration.



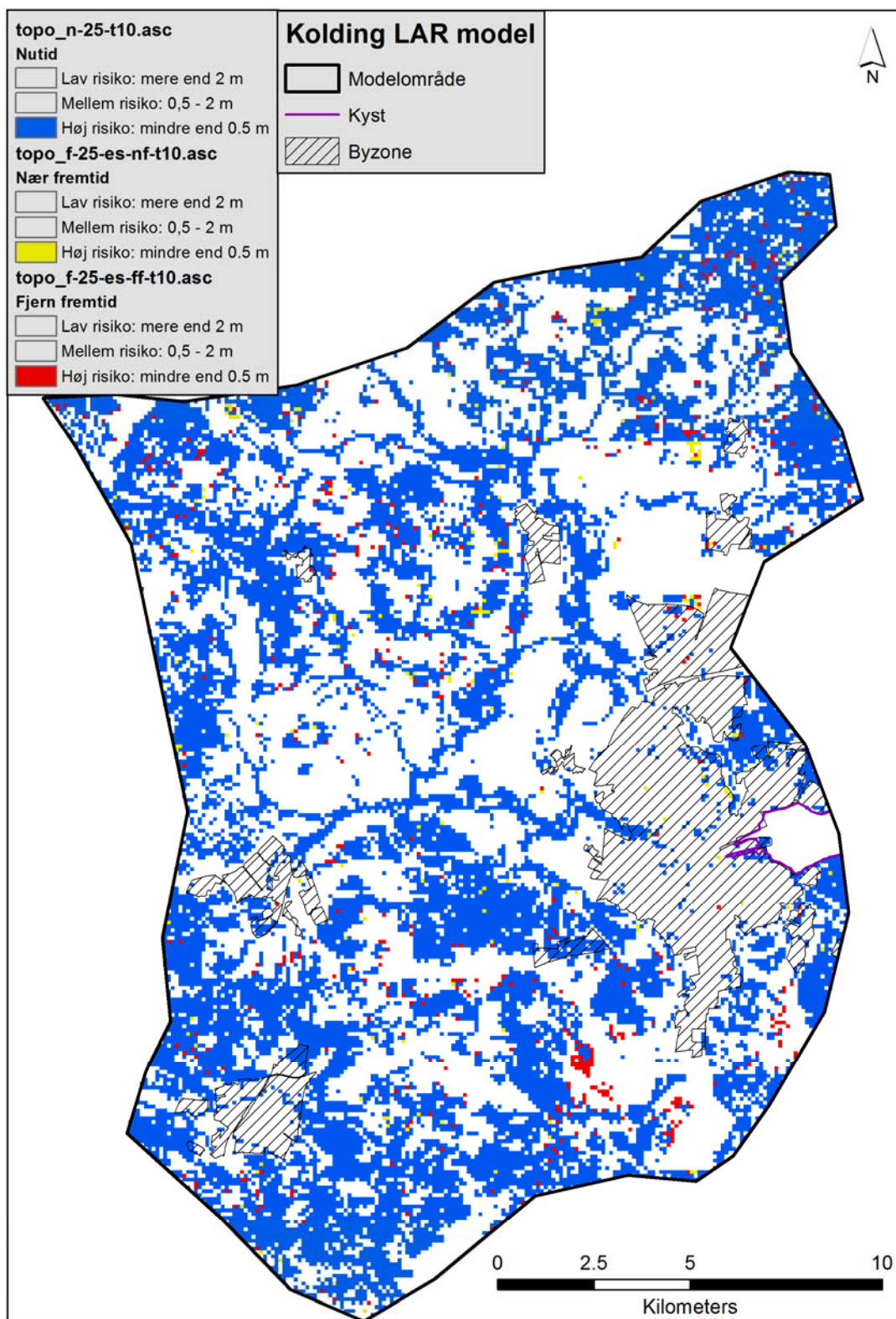
Figur 4-19. Dybde til grundvandsspejl. Fjern fremtid, vådt klima, 10-års hændelse: LAR 0, 25, 50 og 75% infiltration. Zoom på Kolding by.



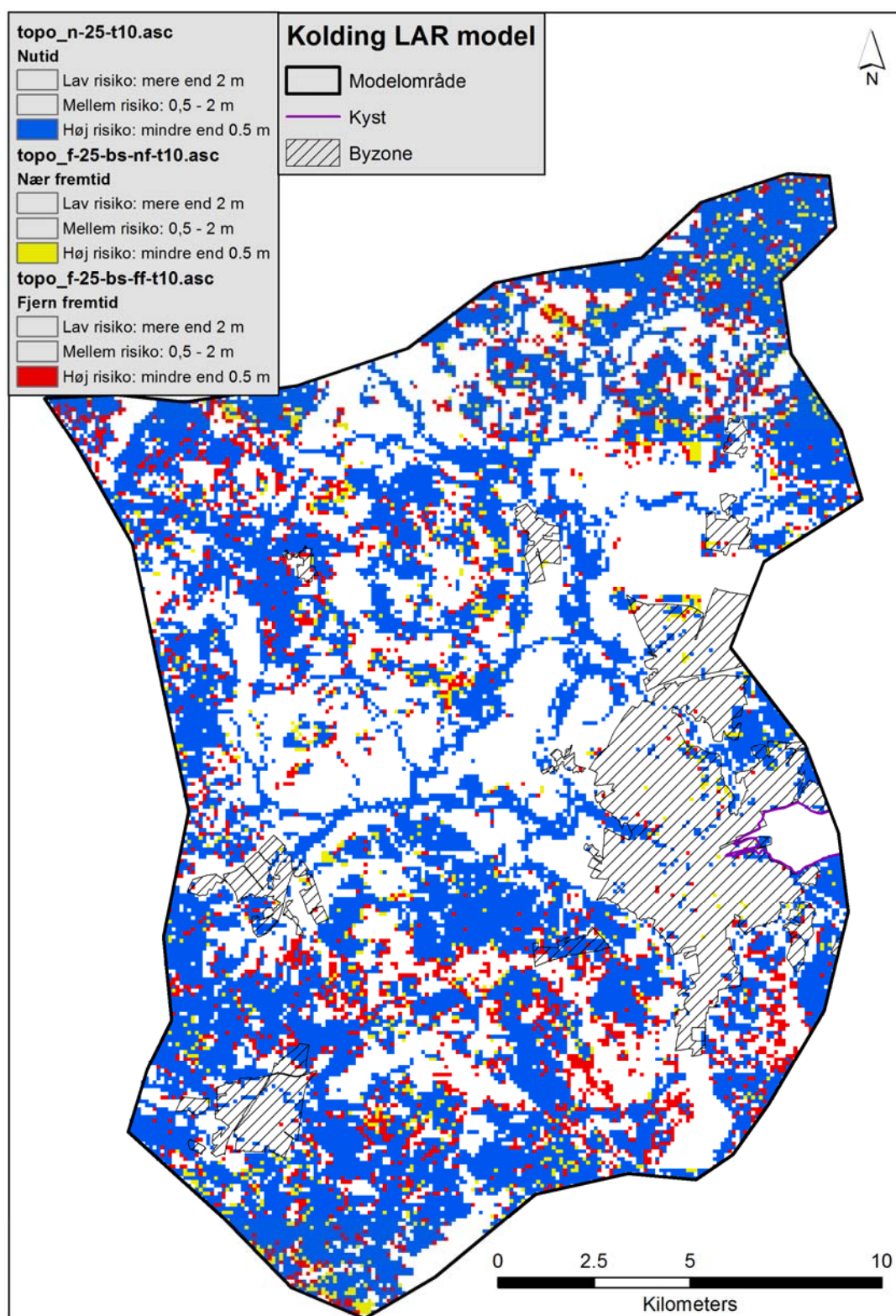
Figur 4-20. Dybde til grundvandsspejl. LAR 75%: Nutid, nær fremtid middelvådt klima, nær fremtid vådt klima, fjern fremtid vådt klima.



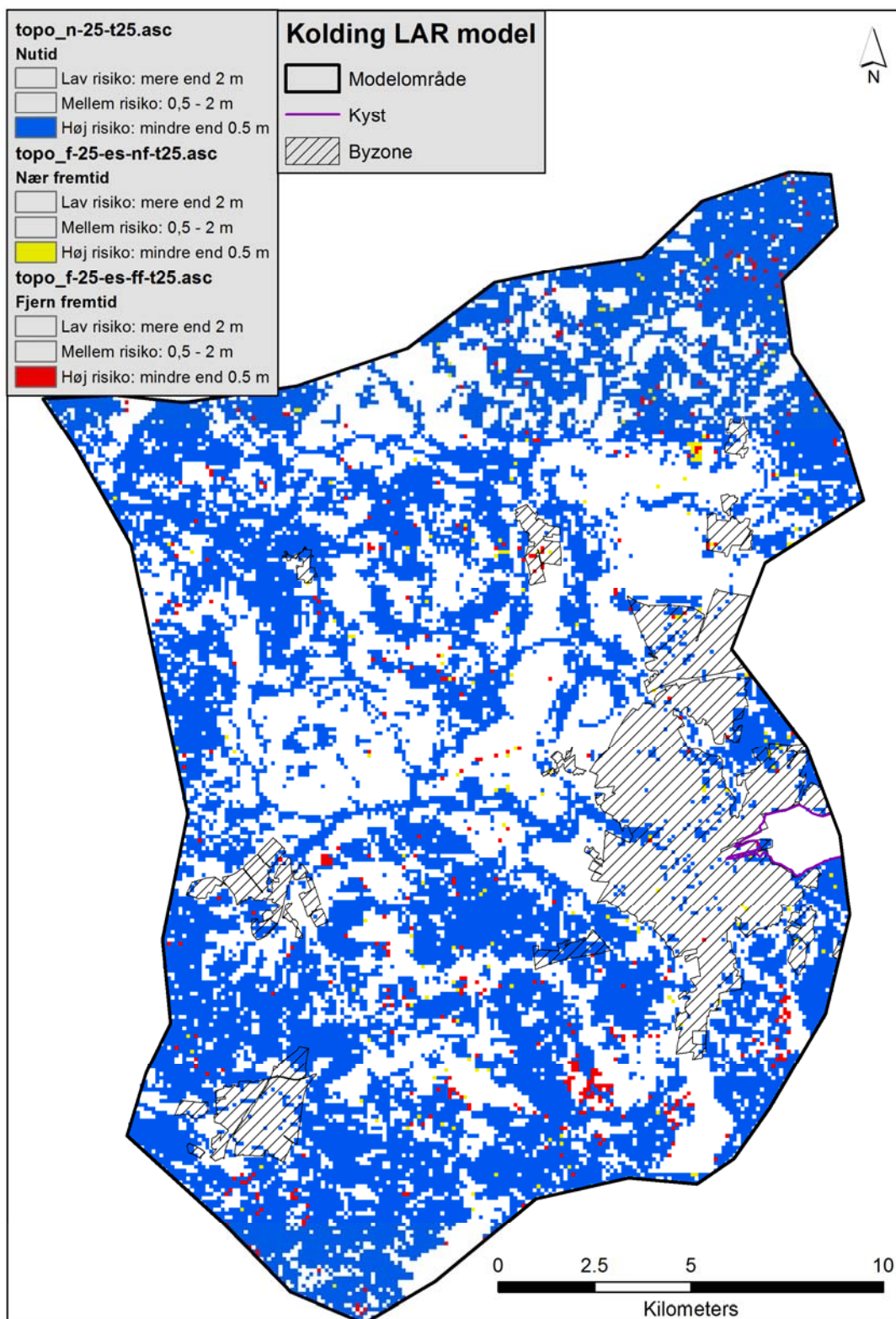
Figur 4-21. Dybde til grundvandspejl. Nutid LAR 0. LAR 75%: Nær fremtid middelvådt klima, nær fremtid vådt klima, fjern fremtid vådt klima. Zoom på Kolding by.



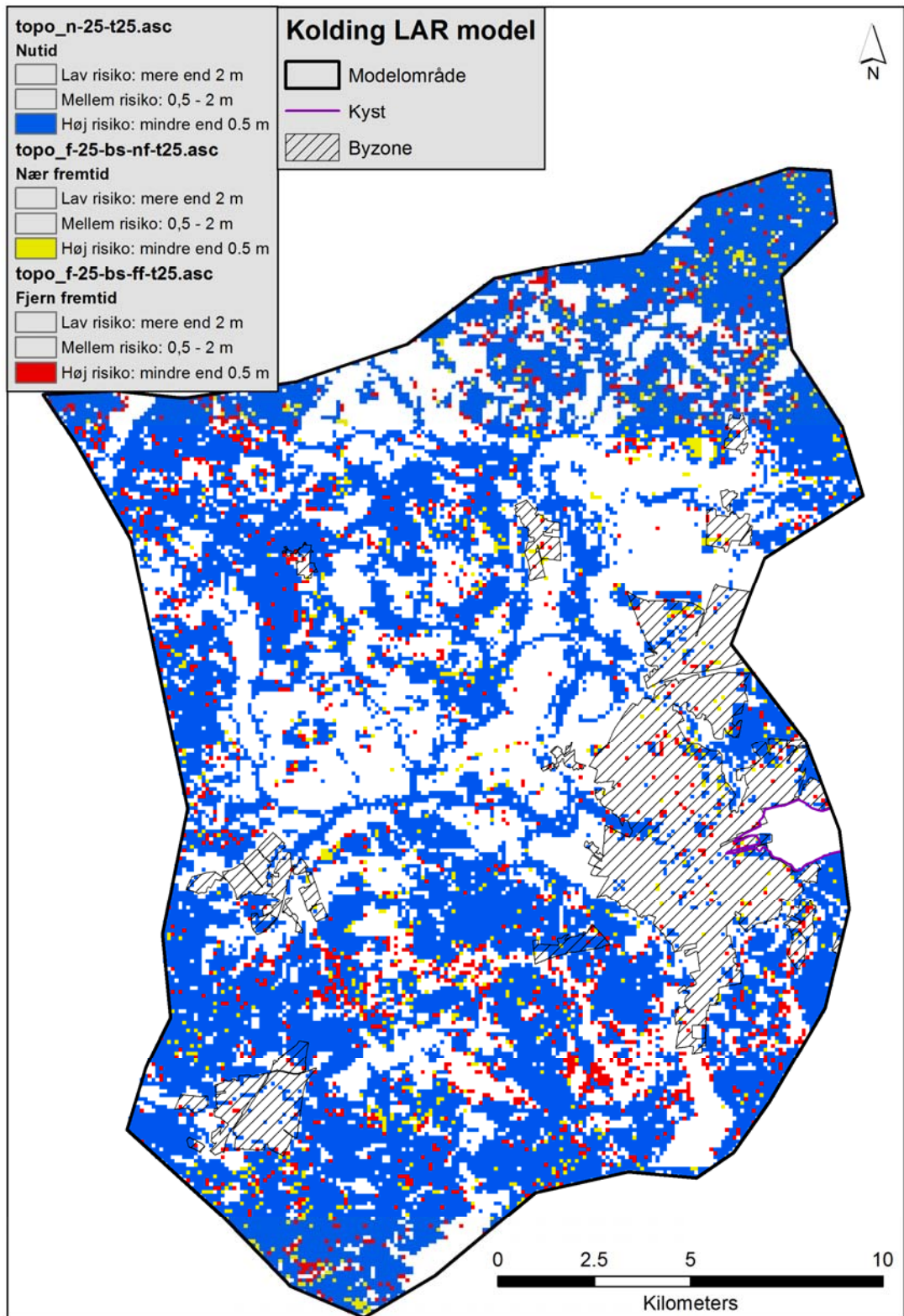
Figur 4-22. Ændring af områder med høj risiko for høj grundvandsstand mellem nutid (blå), nær fremtid (gul) og fjern fremtid (rød). LAR 25%, 10-års hændelse, middelvådt klima.



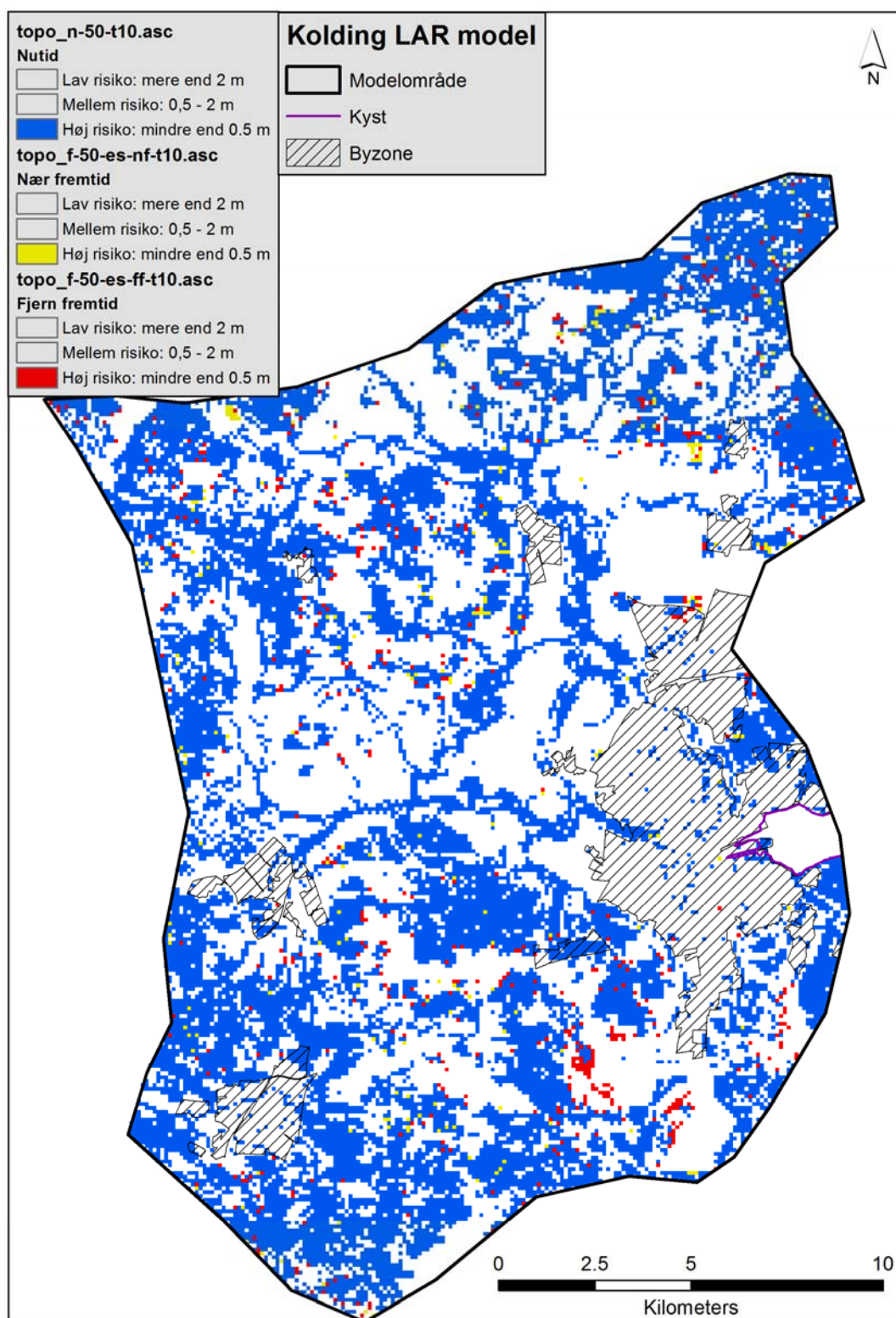
Figur 4-23 Ændring af områder med høj risiko for høj grundvandsstand mellem nutid (blå), nær fremtid (gul) og fjern fremtid (rød). LAR 25%, 10-års hændelse, vådt klima



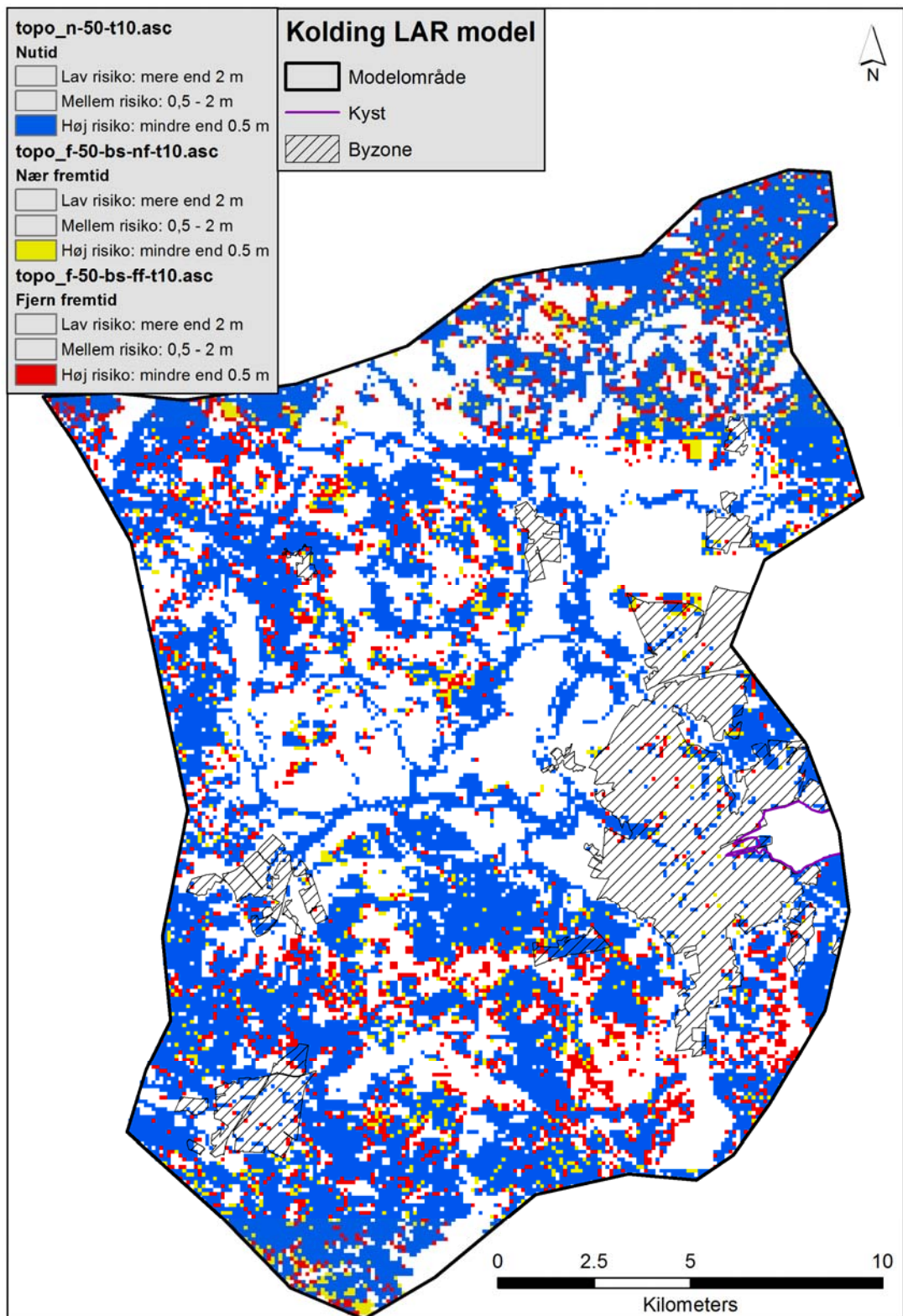
Figur 4-24 Ændring af områder med høj risiko for høj grundvandsstand mellem nutid (blå), nær fremtid (gul) og fjern fremtid (rød). LAR 25%, 25-års hændelse, middelvådt klima



Figur 4-25 Ændring af områder med høj risiko for høj grundvandsstand mellem nutid (blå), nær fremtid (gul) og fjern fremtid (rød). LAR 25%, 25-års hændelse, vådt klima



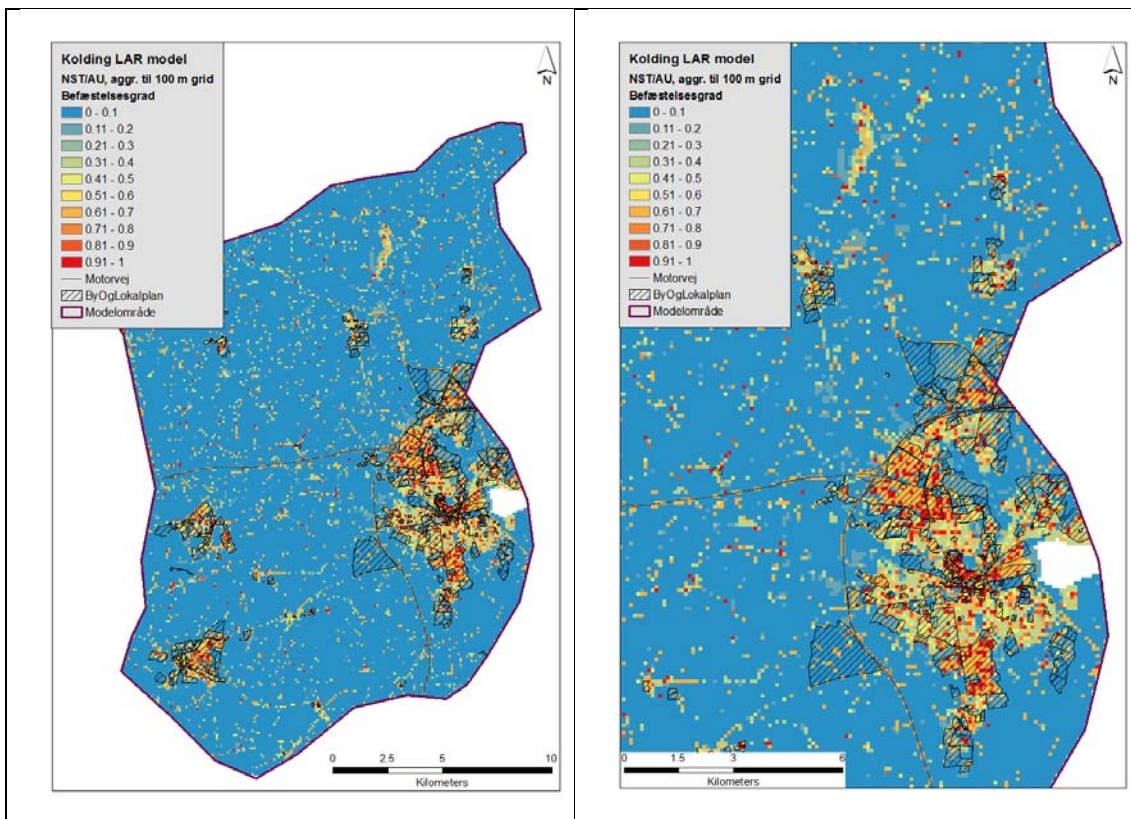
Figur 4-26 Ændring af områder med høj risiko for høj grundvandsstand mellem nutid (blå), nær fremtid (gul) og fjern fremtid (rød). LAR 50%, 10-års hændelse, middelvådt klima



Figur 4-27. Ændring af områder med høj risiko for høj grundvandsstand mellem nutid (blå), nær fremtid (gul) og fjern fremtid (rød). LAR 50%, 10-års hændelse, vådt klima

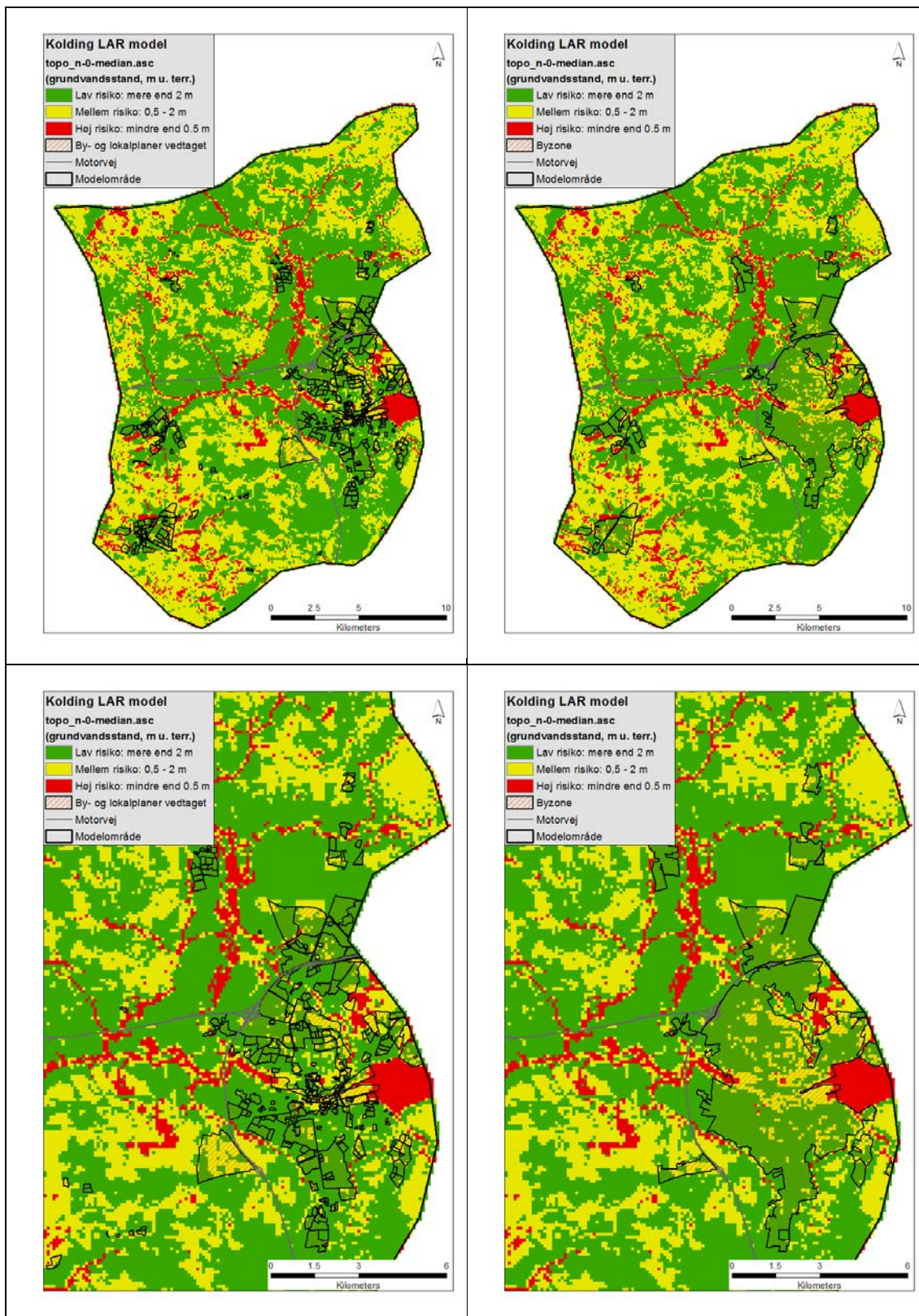
4.5 Valgfrie scenarier

Det valgfrie scenarium 1 omfatter områder med planlagte bebyggelser, det vil sige områder hvor by- og lokalplaner er vedtaget. Befæstelsen er ændret til 50% på alle arealer med planlagte bebyggelser og 50% af nedbøren, der falder på de befæstede arealer, bliver dermed infiltreret (Figur 4-28, Figur 4-29 og Figur 4-30). Det fremgår af Figur 4-28 at i dele af området vil der sker en væsentlig forøgelse af befæstelsesgraden, og at der i andre dele af området vil ske en reduktion i befæstelsesgraden. Det betyder at indenfor de skraverede områder på Figur 4-22 ('ByOgLokalplan') vil områder med en nuværende befæstelsesgrad på under 50% (primært de blå og grønne områder) få øget befæstelsesgraden til 50%, hvorimod der indenfor skraverede områder med en nuværende befæstelsesgrad på over 50% (primært orange og røde områder) vil ske en reduktion af befæstelsesgraden til 50%.

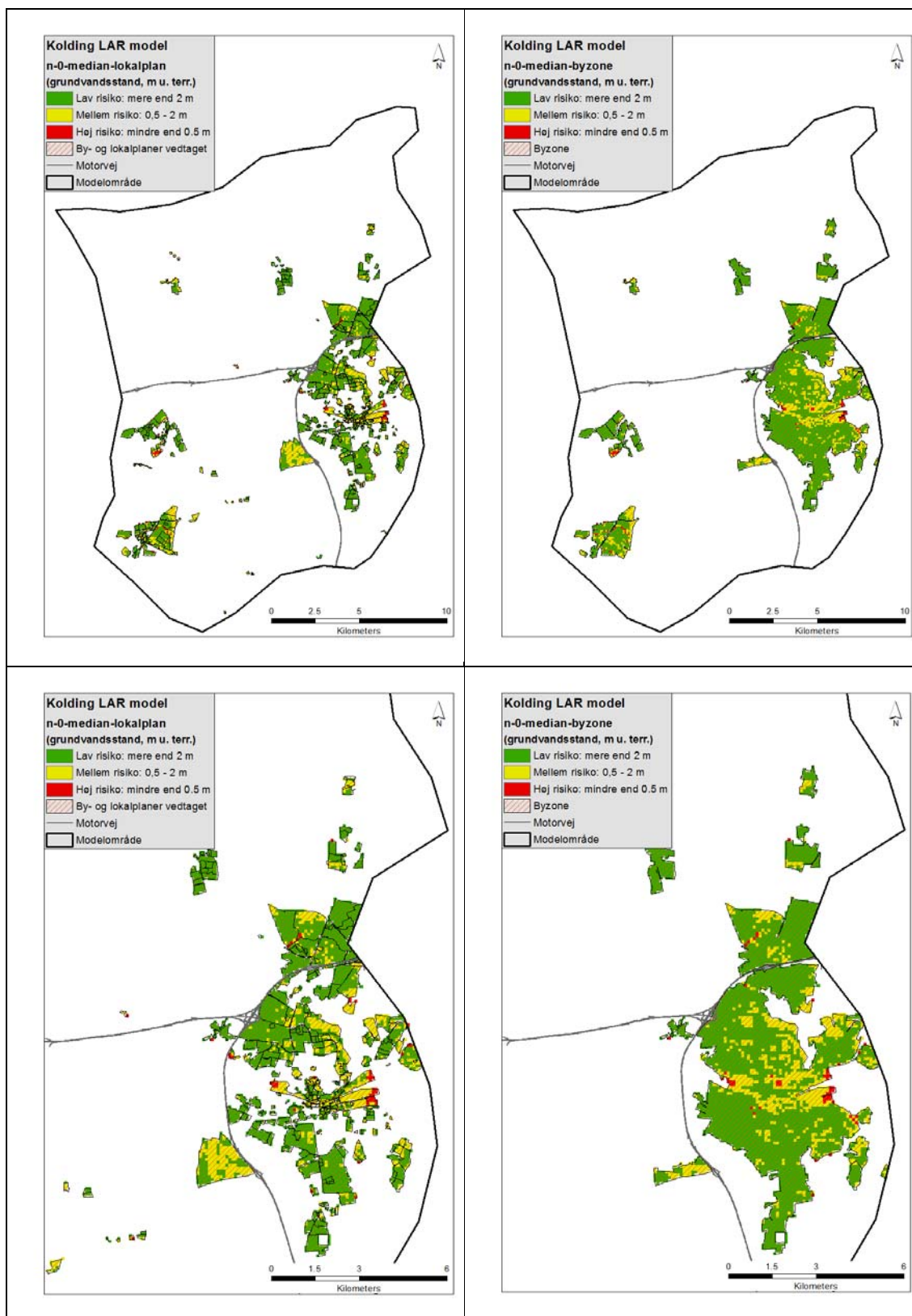


Figur 4-28. Befæstelsesgrad for modelområde og zoom på Kolding-området. I Valgfrie Scenarium 1 ændres befæstelsesgraden i hele 'By- og Lokalplanområdet' til en befæstelsesgrad på 0,5.

De valgfrie scenarier 2, 3, 4, og 5 tager udgangspunkt i risikokortet over middeldybden til grundvandsspejlet under nuværende klimaforhold. Det er valgt at analysere betydningen af øget nedsivning fra befæstede arealer i byzoner, der er kategoriseret som områder med lav risiko for høj grundvandsstand (grønne områder), eller der er kategoriseret som områder med lav og mellem risiko for høj grundvandsstand (grønne og gule områder) (Figur 4-29 og Figur 4-30).



Figur 4-29. Fokusområder for de valgfrie scenarier. Planlagte bebyggelser ('Lokalplaner vedtaget' og 'Byplan vedtaget'), venstre figur. Byzone, højre figur. Risikokort over nutid middeldybde til grundvands-spejl.



Figur 4-30. Fokuserområder for de valgfrie scenarier. Planlagte bebyggelser ('Lokalplaner vedtaget' og 'Byplan vedtaget'), venstre figur. Byzone, højre figur. Risikokort over nutid middeldybde til grundvands-spejl.

Valgfrit scenarium 1-1 og 1-2

På Figur 4-31 og Figur 4-32 ses, at især de gule områder men også røde områder får større udbredelse med stigende T-års-hændelse. De mest markante ændringer ses fra 2-års-hændelsen til 10-års-hændelsen, hvor der både centralt i Kolding og i bydelen sydvest for motorvejen ses, at flere arealer skifter fra middel til høj risiko for høj grundvandsstand (Figur 4-32). Et middelvådt klimascenarium for nær fremtid viser stort set ingen ændringer på risikokortene for dybden til grundvandsspejlet for middel, T2, T-10 og T-25 hændelser i forhold til nutids-klima (Figur 4-33 og Figur 4-34).

Valgfrit scenarium 2-1 og 2-2

På Figur 4-35 og Figur 4-36 ses, at især de gule områder men også røde områder får større udbredelse med stigende T-års-hændelse. De mest markante ændringer ses fra 2-års-hændelsen til 10-års-hændelsen, hvor der centralt i Kolding ses en større udbredelse af de gule områder og i bydelen sydvest for motorvejen ses en markant større udbredelse af områder med høj risiko for høj grundvandsstand. Et middelvådt klimascenarium for nær fremtid viser stort set ingen ændringer på risikokortene for dybden til grundvandsspejlet for middel, T2, T-10 og T-25 hændelser i forhold til nutids-klima (Figur 4-37 og Figur 4-38).

Valgfrit scenarium 3-1 og 3-2

På Figur 4-39 og Figur 4-40 ses, at især de gule områder men også røde områder får større udbredelse med stigende T-års-hændelse. De mest markante ændringer ses fra 2-års-hændelsen til 10-års-hændelsen, hvor der centralt i Kolding ses en større udbredelse af de gule områder og i bydelen sydvest for motorvejen ses en markant større udbredelse af områder med høj risiko for høj grundvandsstand. Et middelvådt klimascenarium for nær fremtid viser stort set ingen ændringer på risikokortene for dybden til grundvandsspejlet for middel, T2, T-10 og T-25 hændelser i forhold til nutids-klima (Figur 4-41 og Figur 4-42).

Valgfrit scenarium 4-1 og 4-2

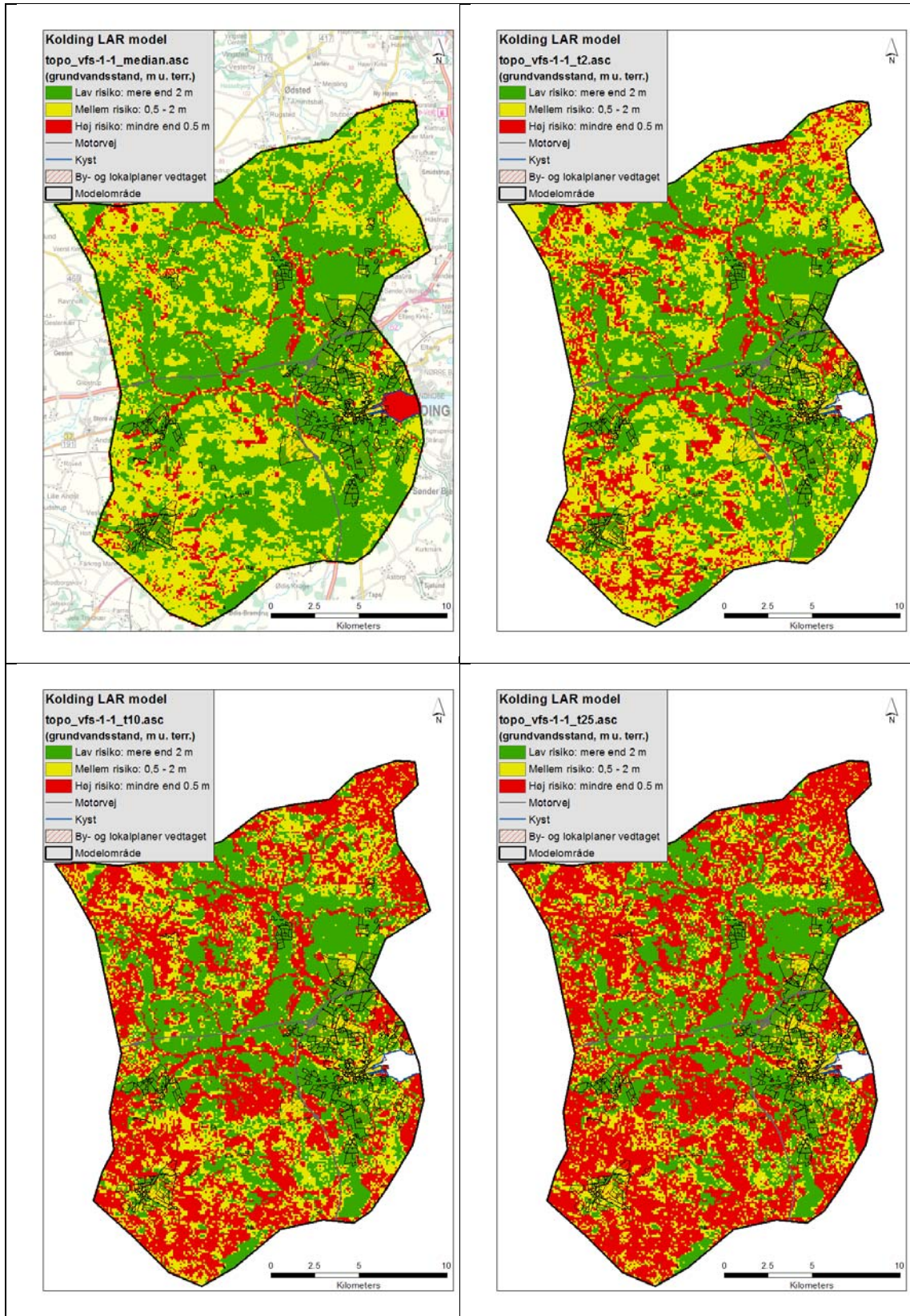
På Figur 4-43 og Figur 4-44 ses, at især de gule områder men også røde områder får større udbredelse med stigende T-års-hændelse. De mest markante ændringer ses fra 2-års-hændelsen til 10-års-hændelsen, hvor der centralt i Kolding ses en større udbredelse af de gule områder og i bydelen sydvest for motorvejen ses en markant større udbredelse af områder med høj risiko for høj grundvandsstand. Et middelvådt klimascenarium for nær fremtid viser stort set ingen ændringer på risikokortene for dybden til grundvandsspejlet for middel, T2, T-10 og T-25 hændelser i forhold til nutids-klima (Figur 4-45 og Figur 4-46).

Valgfrit scenarium 5-1 og 5-2

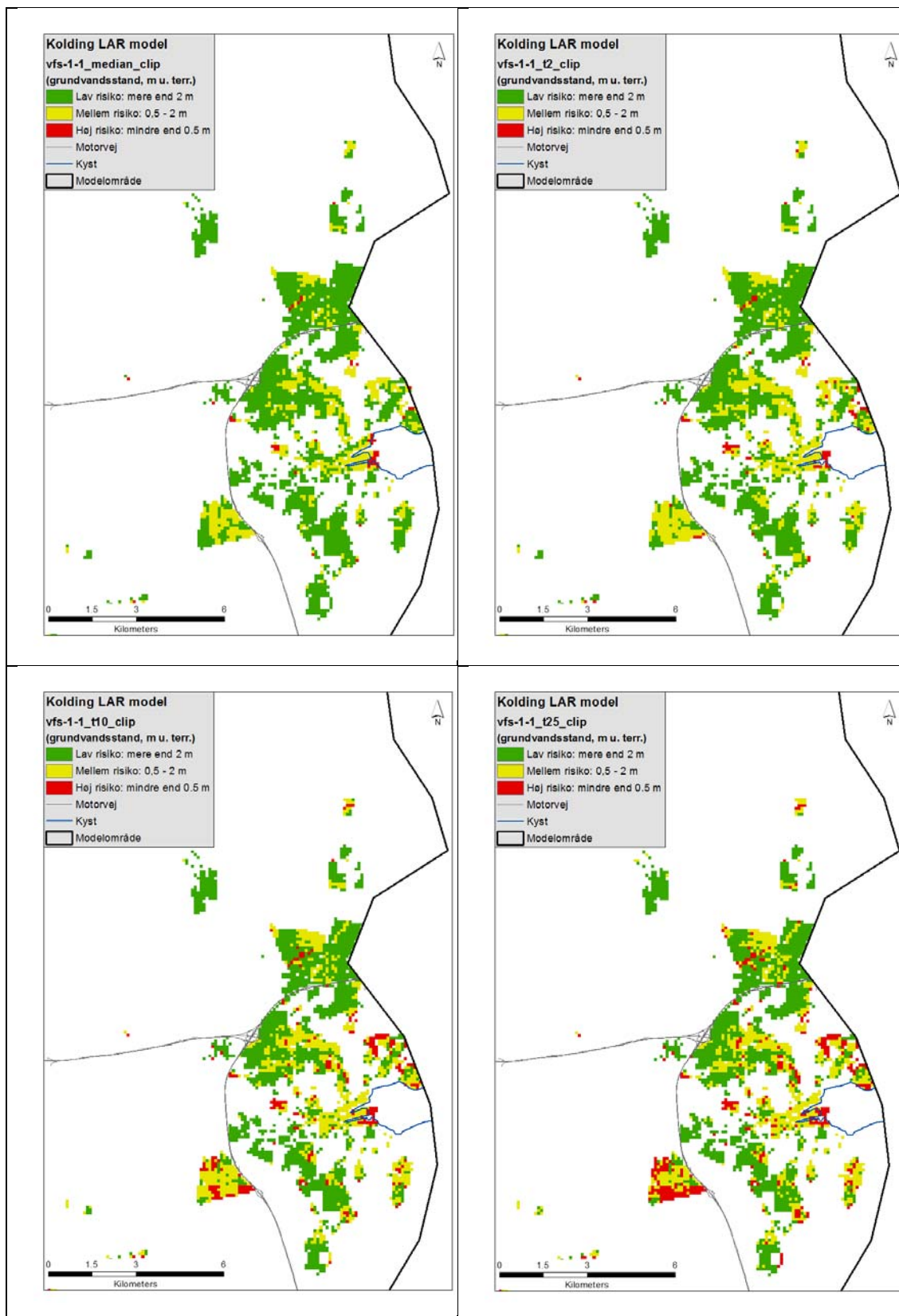
På Figur 4-47 og Figur 4-48 ses, at især de gule områder men også røde områder får større udbredelse med stigende T-års-hændelse. De mest markante ændringer ses fra 2-års-hændelsen til 10-års-hændelsen, hvor der centralt i Kolding ses en større udbredelse af de gule områder og i bydelen sydvest for motorvejen ses en markant større udbredelse af områder med høj risiko for høj grundvandsstand. Et middelvådt klimascenarium for nær fremtid viser stort set ingen ændringer på risikokortene for dybden til grundvandsspejlet for middel, T2, T-10 og T-25 hændelser i forhold til nutids-klima (Figur 4-49 og Figur 4-50).

På Figur 4-51 er resultater fra de valgfrie scenarier 2.1, 3.1, 4.1 og 5.1 sammenstillet. Det ses at der kun sker en lille øgning i udbredelsen af områder med middel og høj risiko for høj

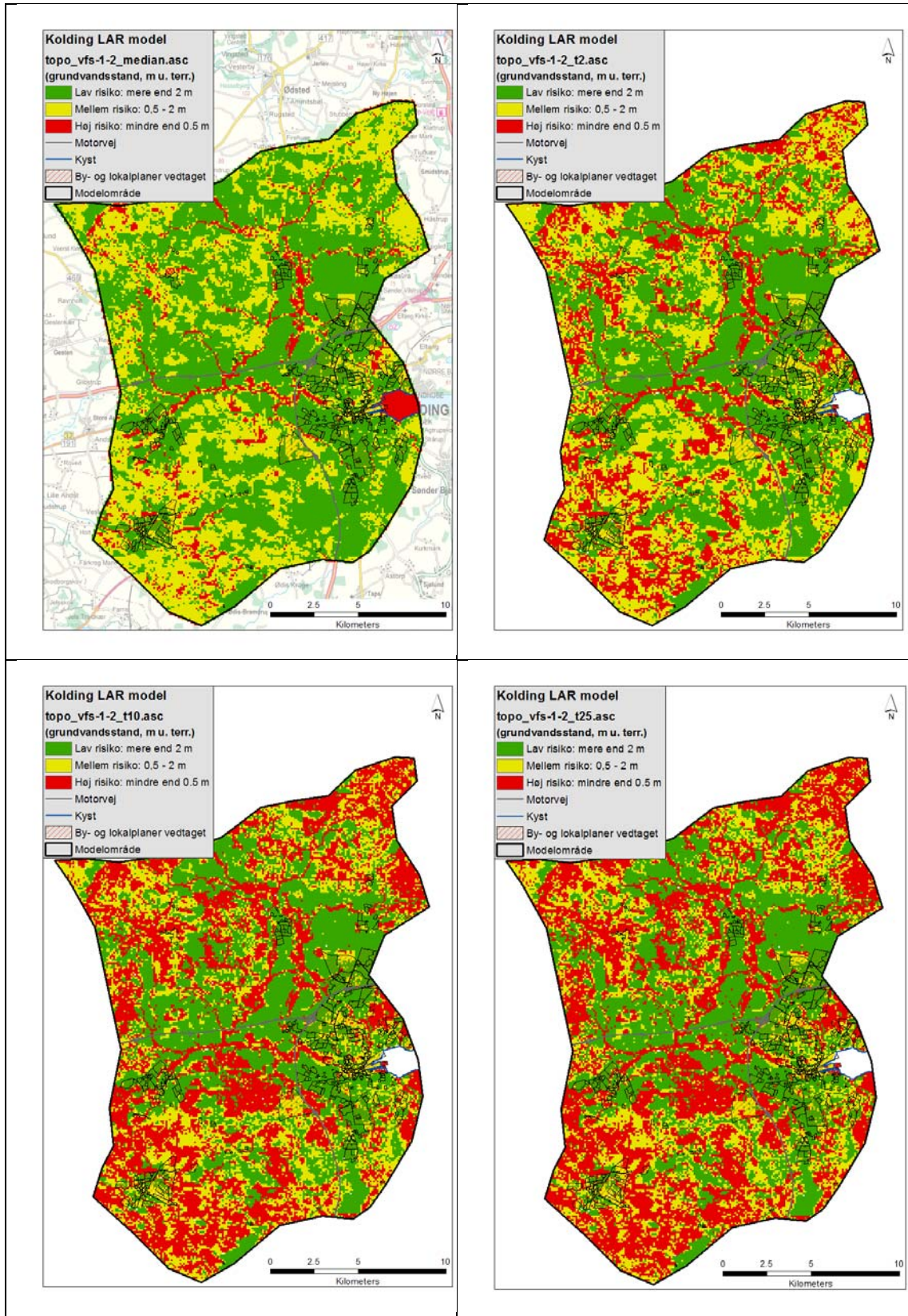
grundvandsstand ved at gå fra 50% LAR til 75% LAR i områder med lav risiko for høj grundvandsstand (scenarium 2 og 3). Der ses en lidt større udbredelse af områder med middel og høj risiko for høj grundvandsstand ved at gå fra 50% LAR til 75% LAR i områder med lav og mellem risiko for høj grundvandsstand (scenarium 4 og 5). Der ses ingen ændringer i udbredelsen af de forskellige risikoområder, når der sammenlignes med resultater fra et middelvådt klimascenarium for den nære fremtid (Figur 4-52).



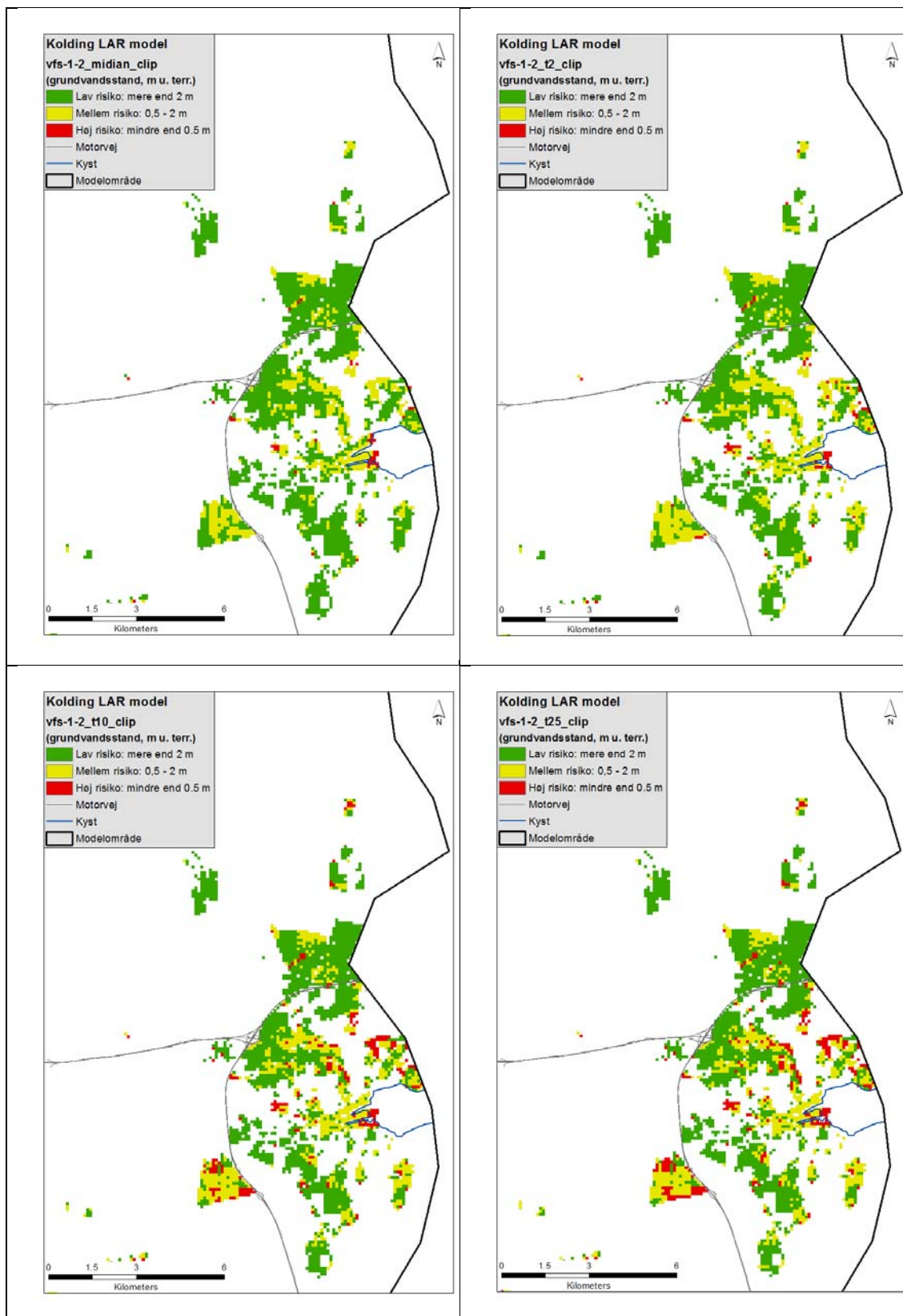
Figur 4-31. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 1.1 'Planlagte bebyggelser'. Nutid, LAR 50% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse.



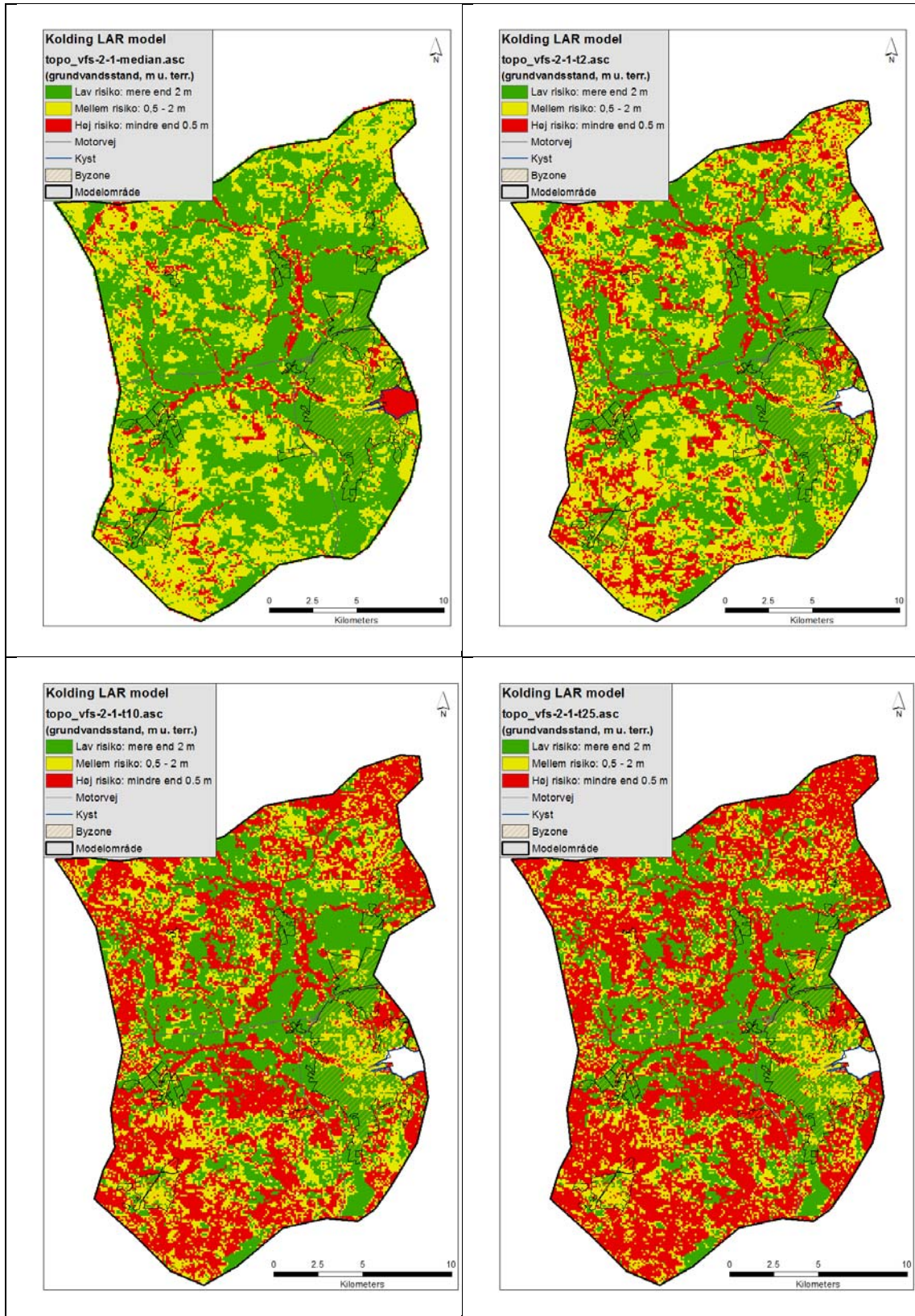
Figur 4-32. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 1.1 'Planlagte bebyggelser'. Nutid, LAR 50% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



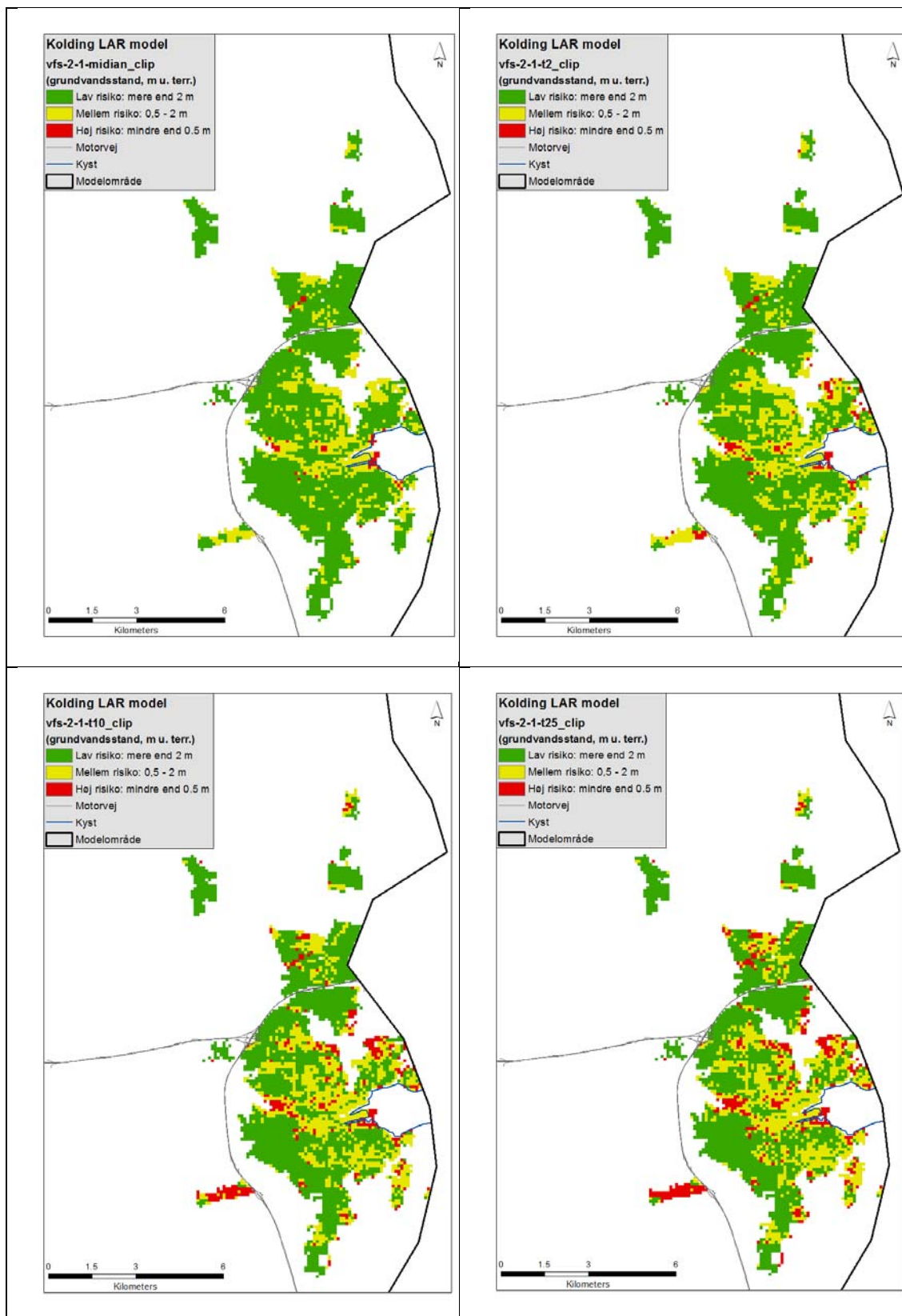
Figur 4-33. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 1.2 'Planlagte bebyggelser'. Nær fremtid, mid-delvådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse.



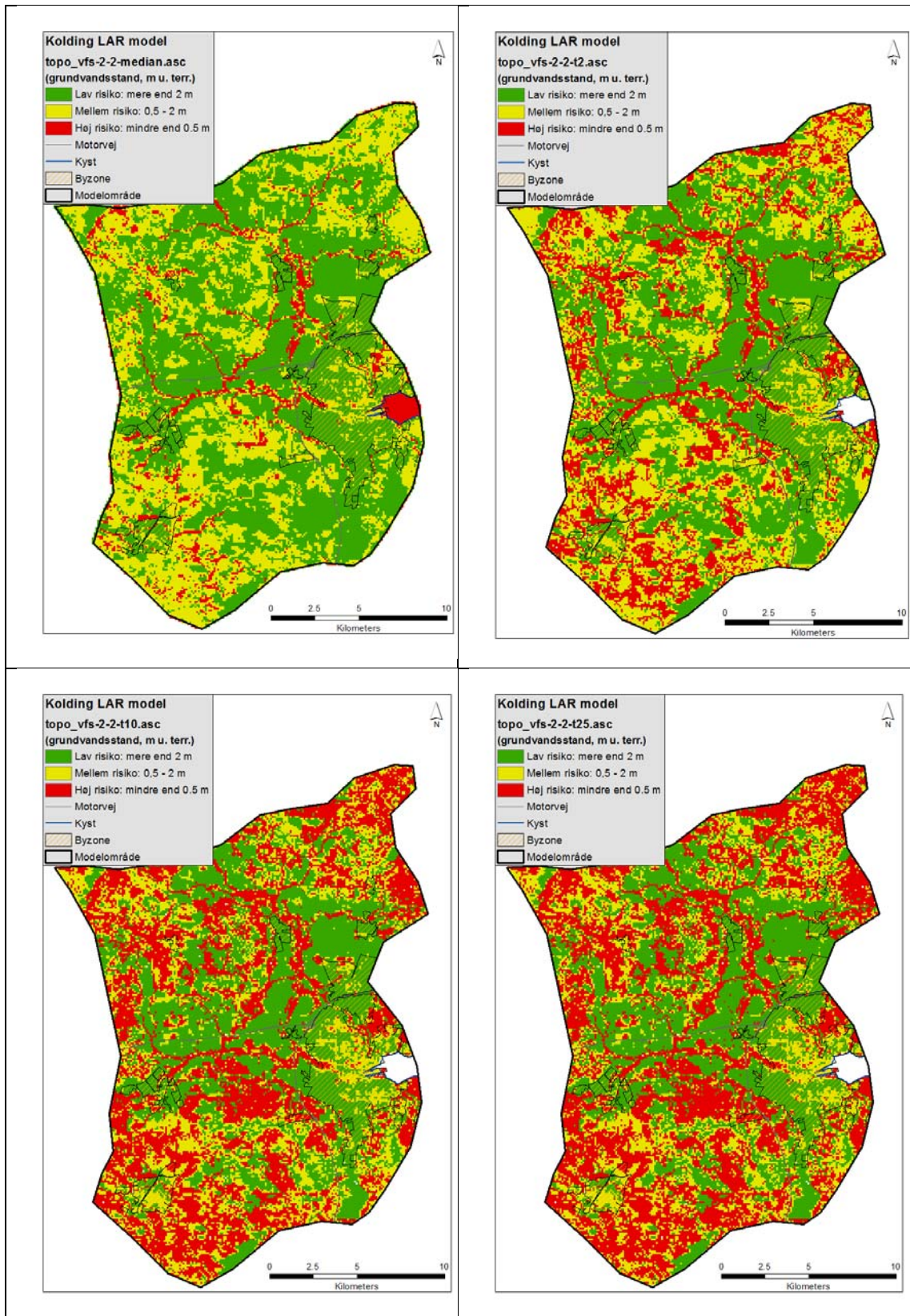
Figur 4-34. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 1.2 'Planlagte bebyggelser'. Nær fremtid, mid-delvådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



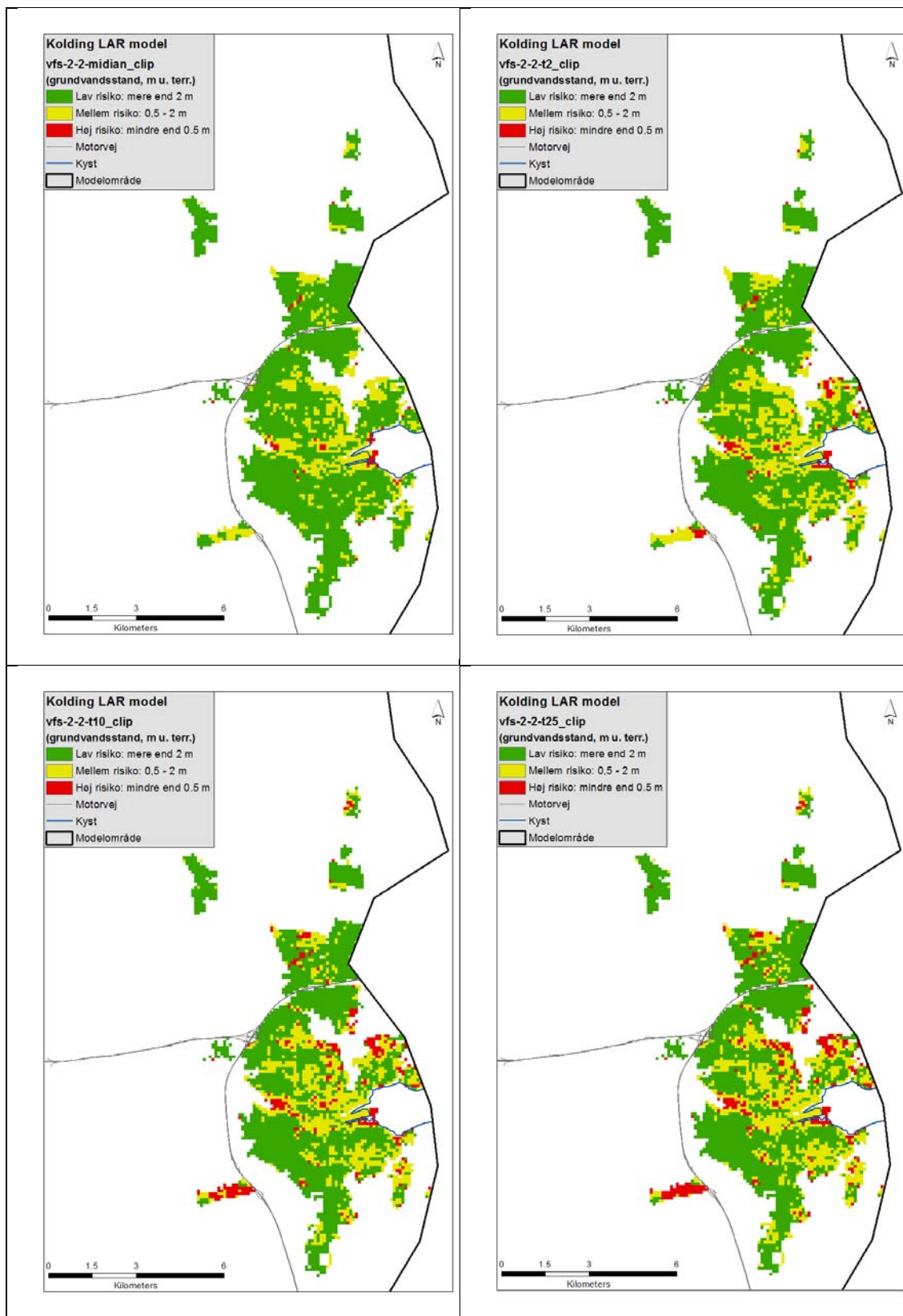
Figur 4-35. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 2.1 'Områder med lav risiko for høj grundvandsstand'. Nutid, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse.



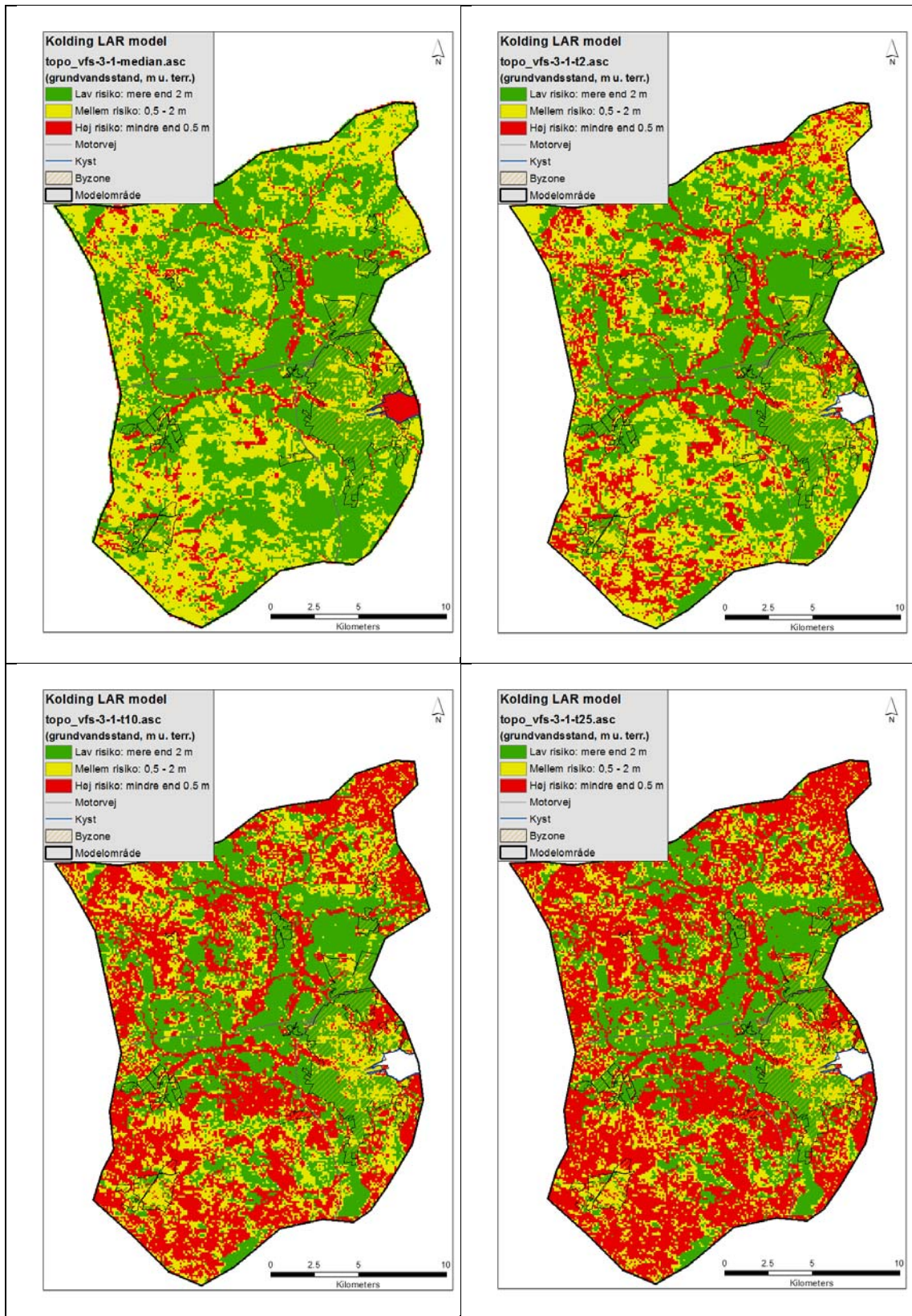
Figur 4-36. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 2.1 'Områder med lav risiko for høj grundvandsstand'. Nutid, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



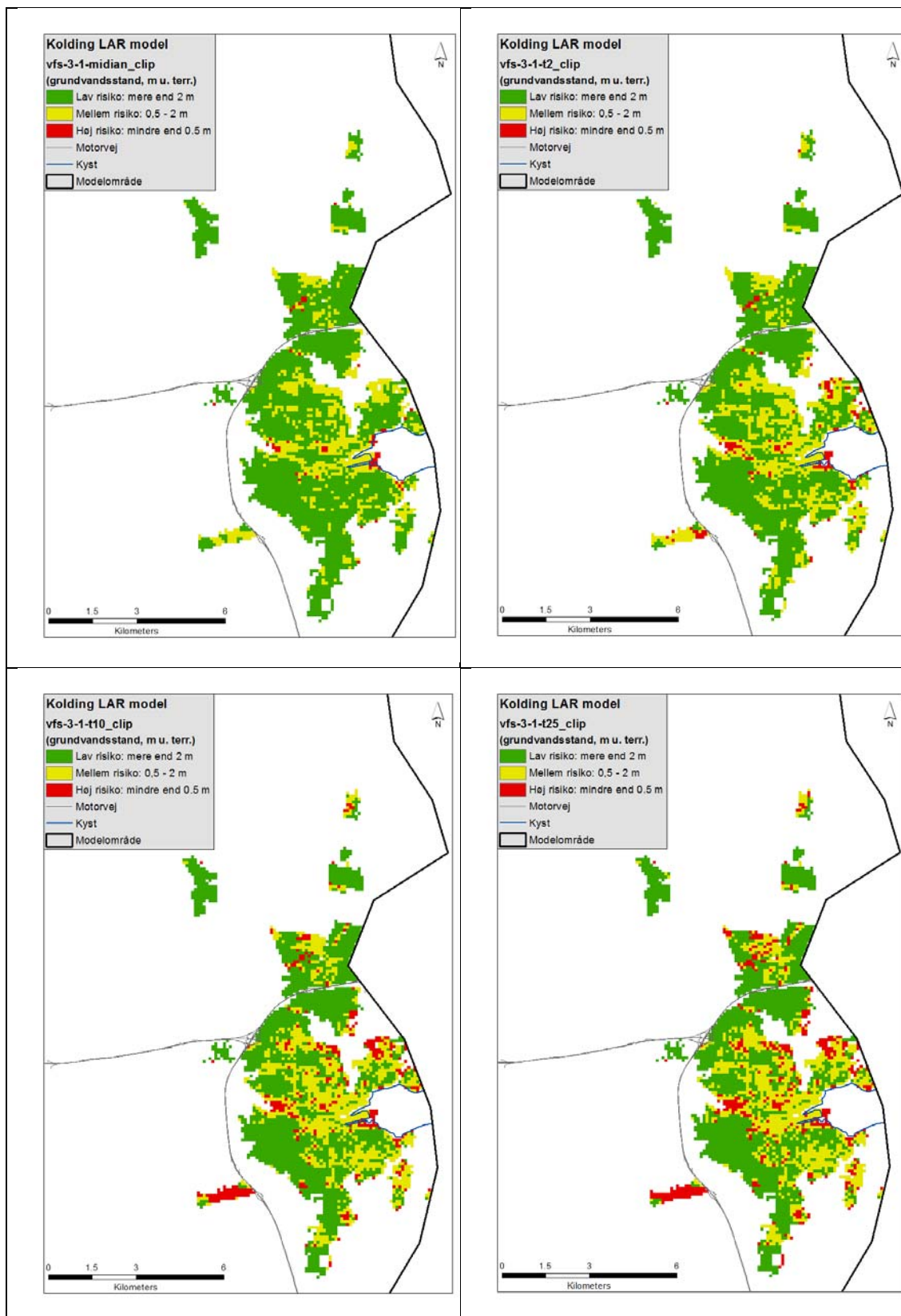
Figur 4-37. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 2.2 'Områder med lav risiko for høj grundvandsstand'. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse.



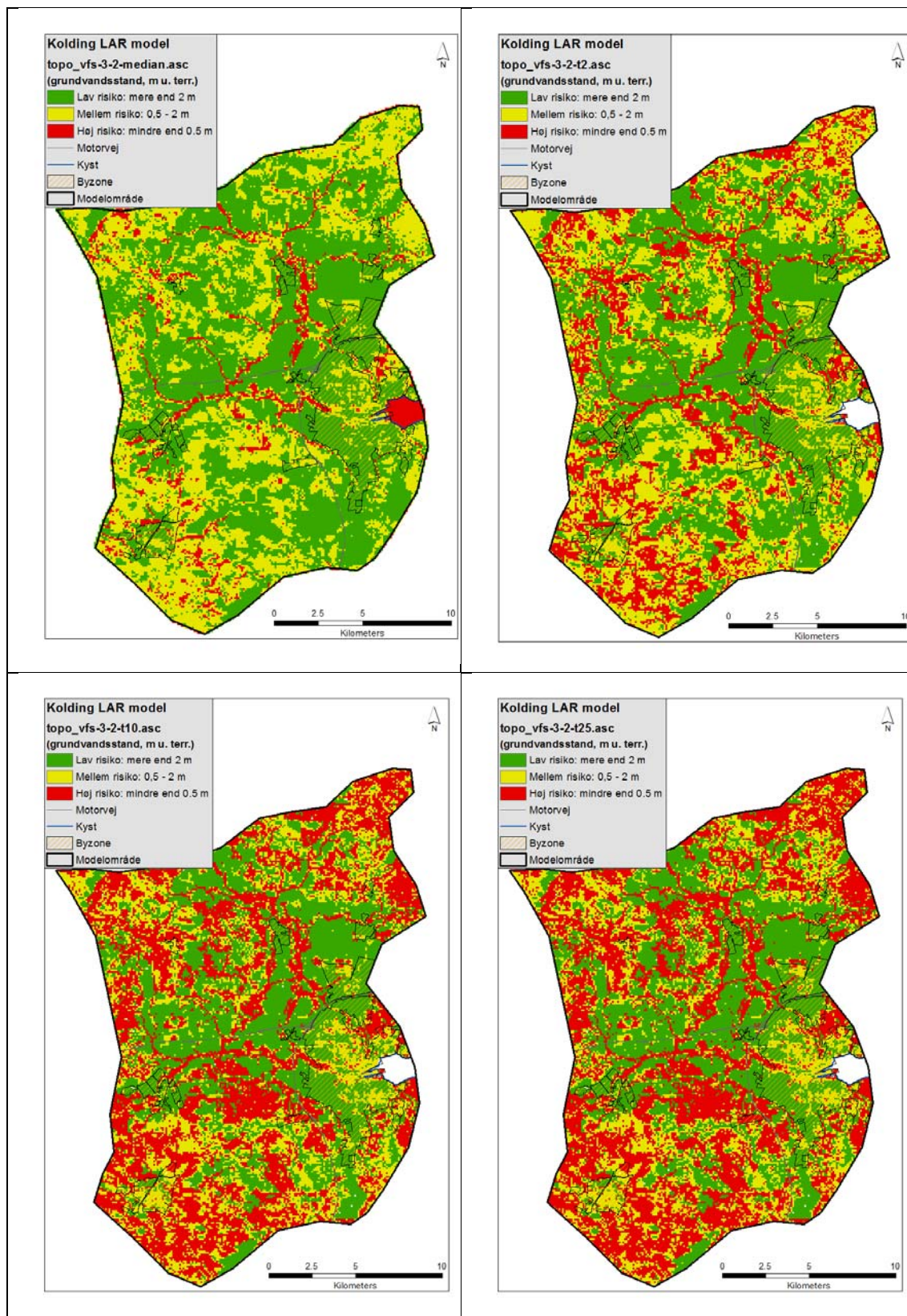
Figur 4-38. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 2.2 'Områder med lav risiko for høj grundvandsstand'. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 50% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



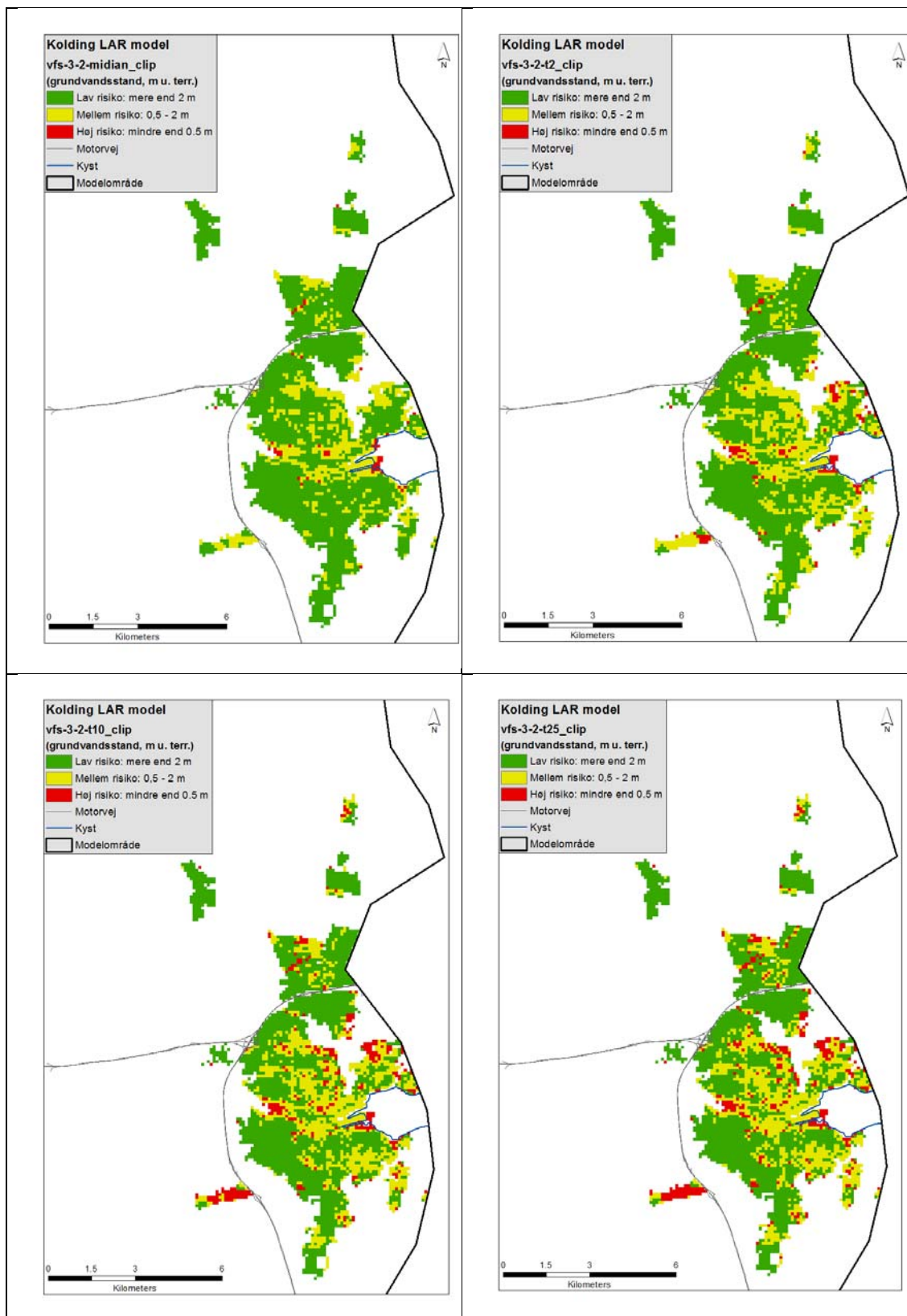
Figur 4-39. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 3.1 'Områder med lav risiko for høj grundvandsstand'. Nutid, LAR 75% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse.



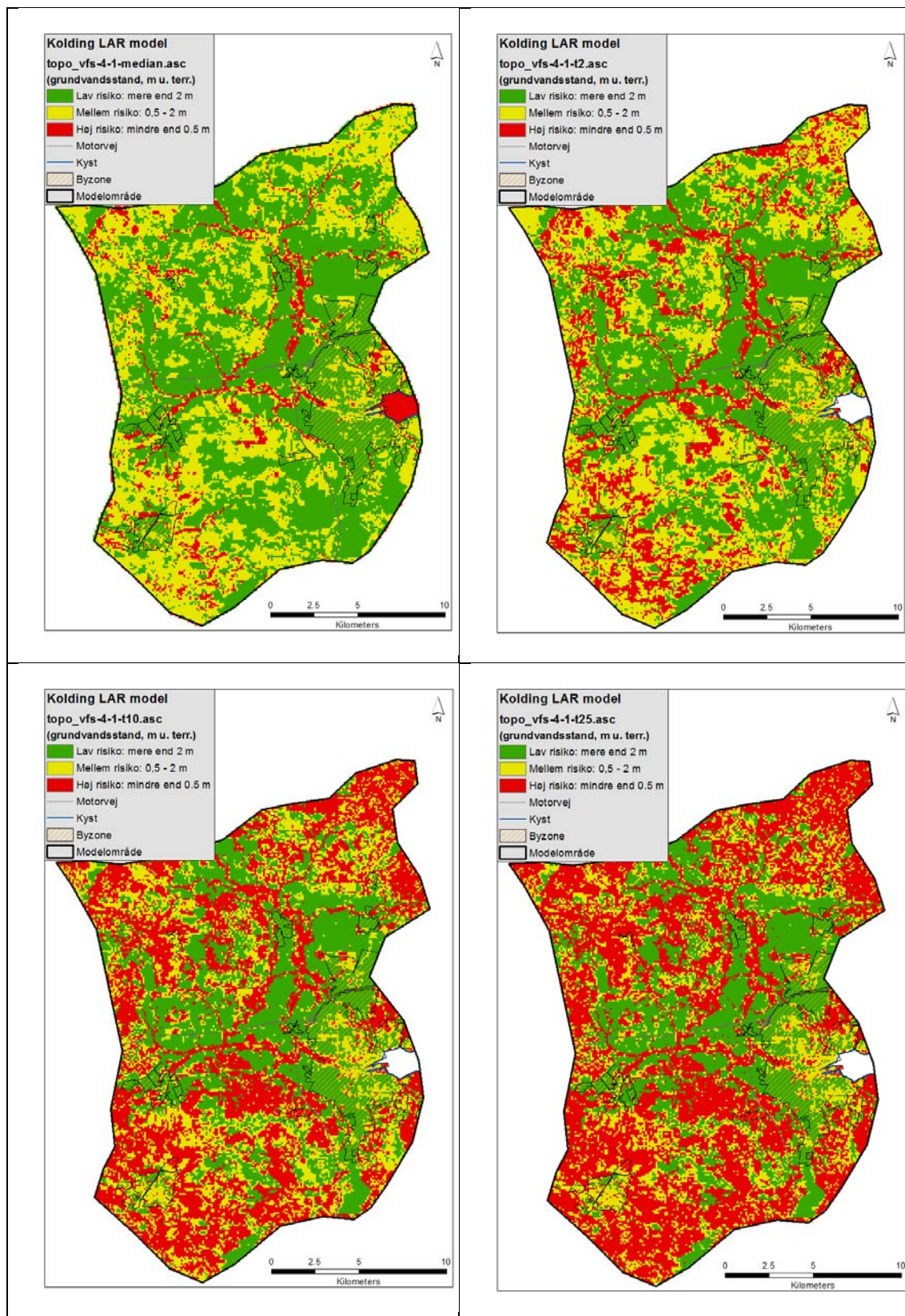
Figur 4-40. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 3.1 'Områder med lav risiko for høj grundvandsstand'. Nutid, LAR 75% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



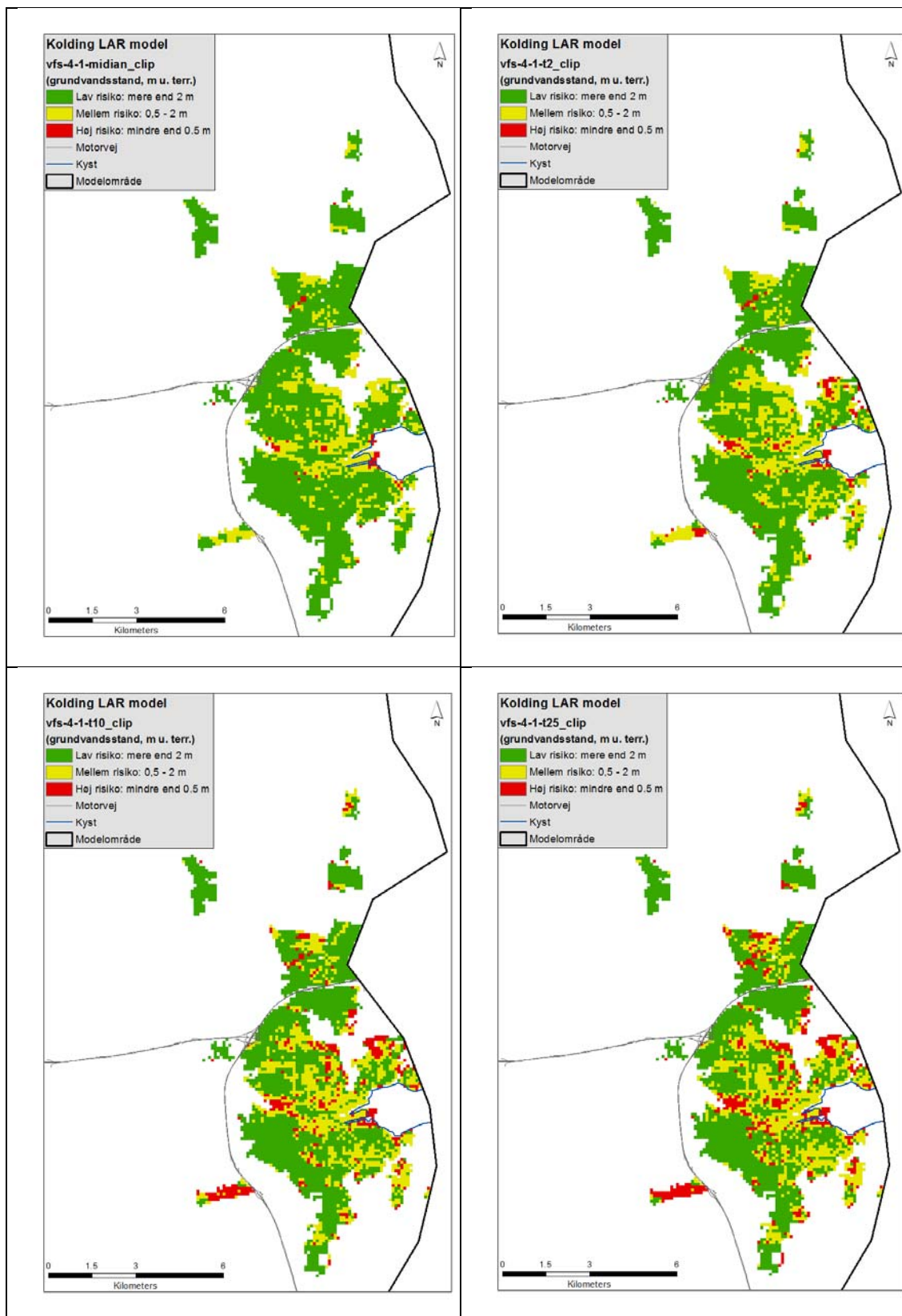
Figur 4-41. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 3.2 'Områder med lav risiko for høj grundvandsstand'. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 75% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse.



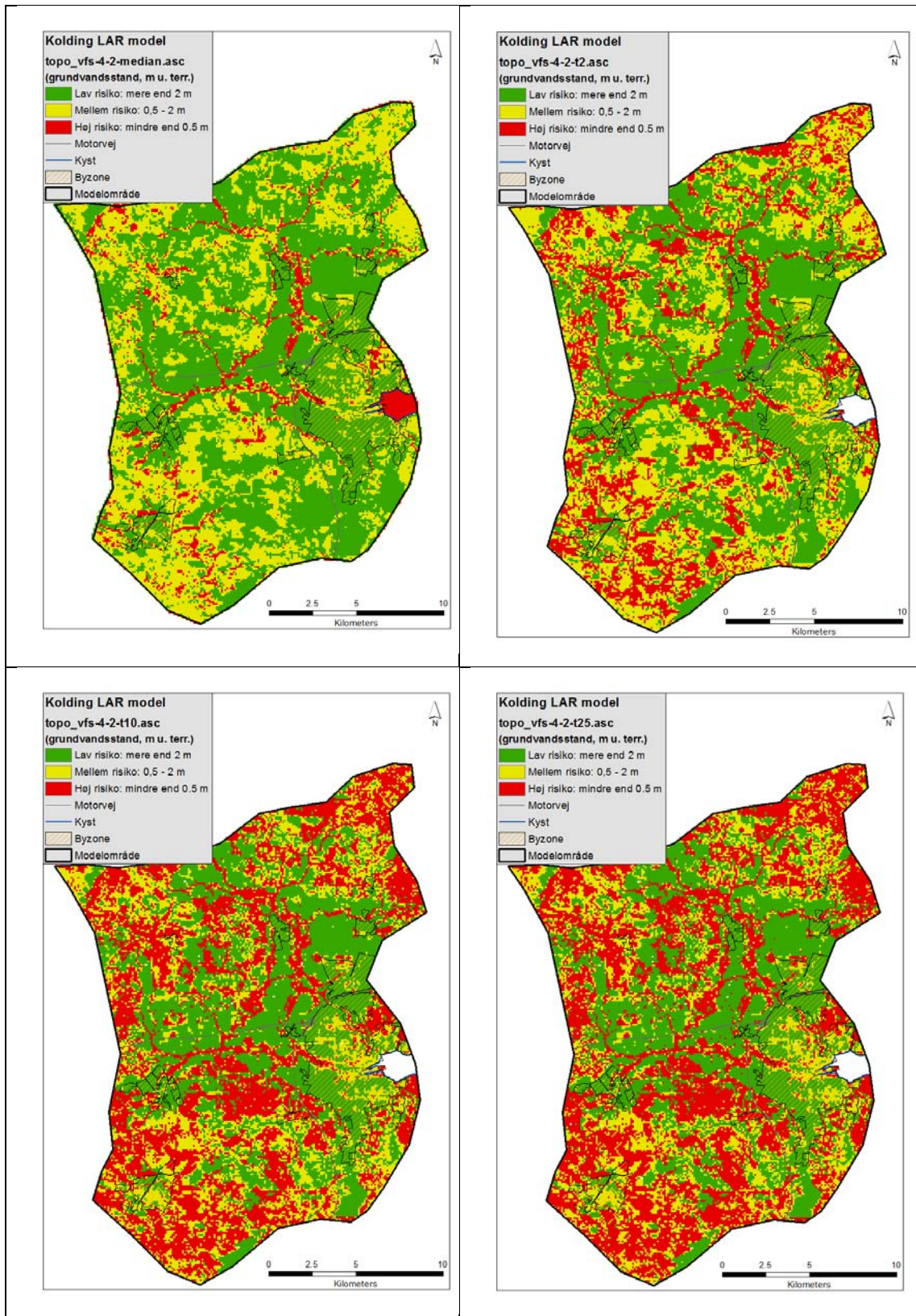
Figur 4-42. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 3.2 'Områder med lav risiko for høj grundvandsstand'. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 75% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



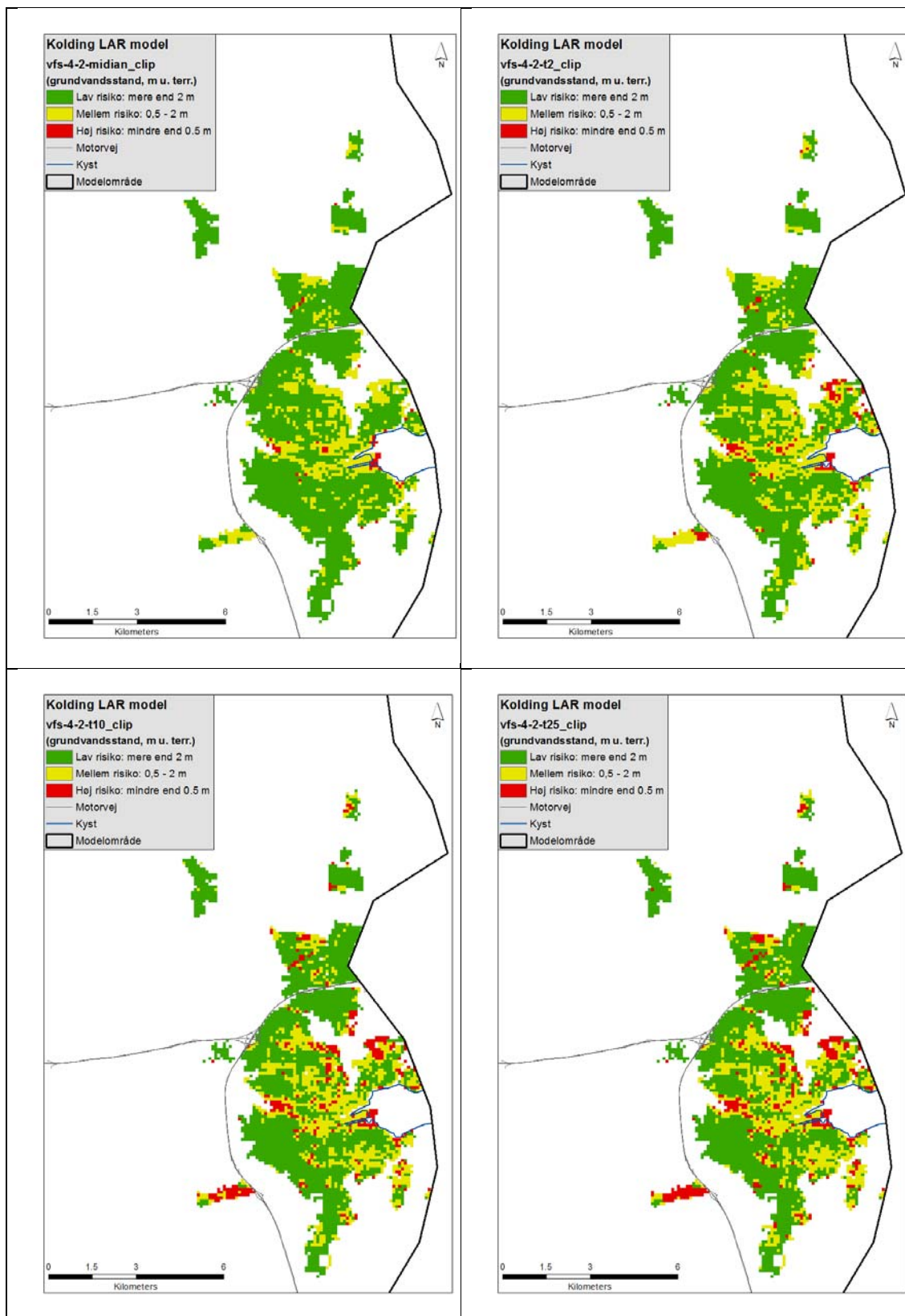
Figur 4-43. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 4.1 'Områder med lav til mellem risiko for høj grundvandsstand'. Nutid, LAR 50% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse.



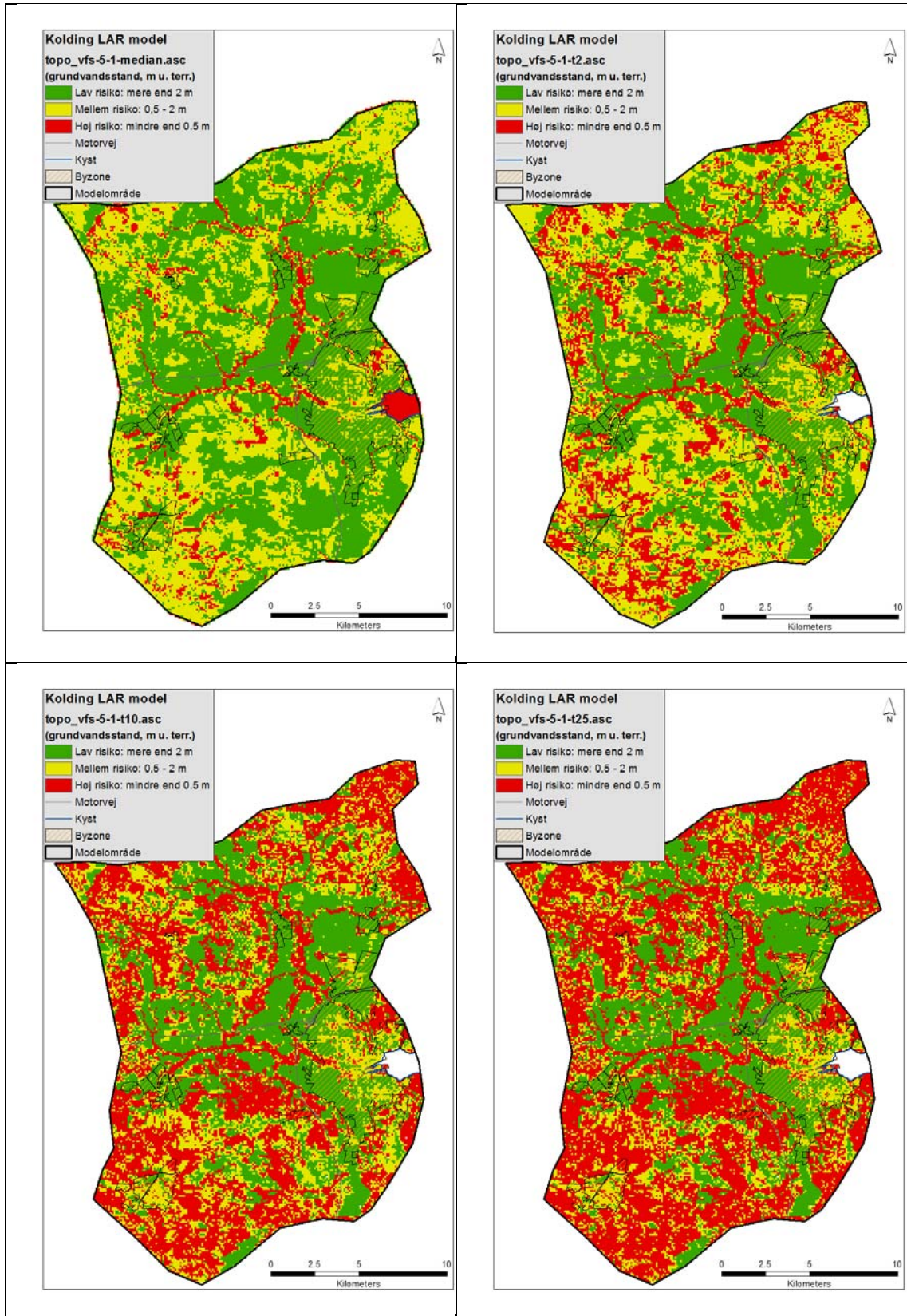
Figur 4-44. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 4.1 'Områder med lav til mellem risiko for høj grundvandsstand'. Nutid, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



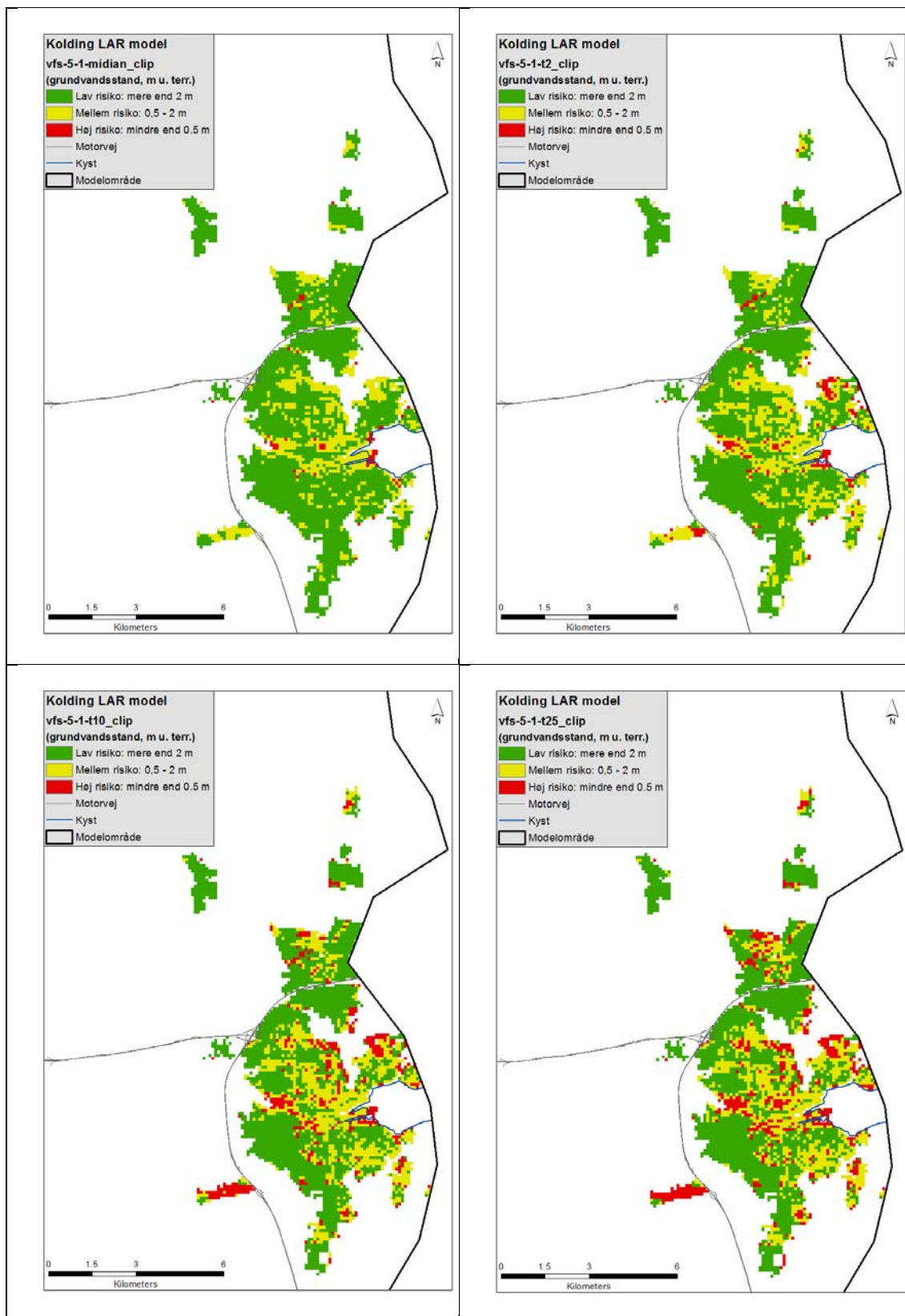
Figur 4-45. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 4.2 'Områder med lav til mellem risiko for høj grundvandsstand'. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse.



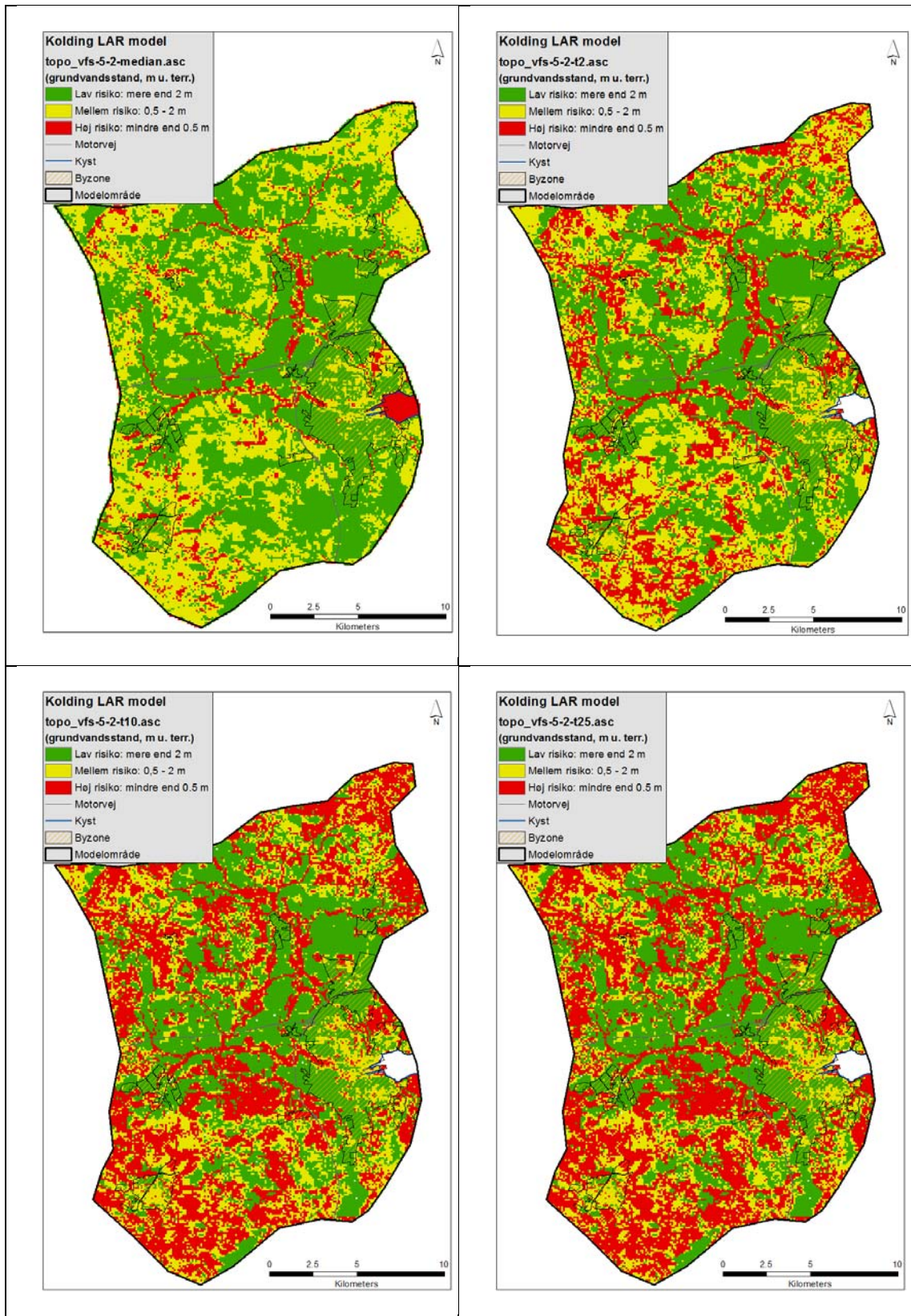
Figur 4-46. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 4.2 'Områder med lav til mellem risiko for høj grundvandsstand'. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 50% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



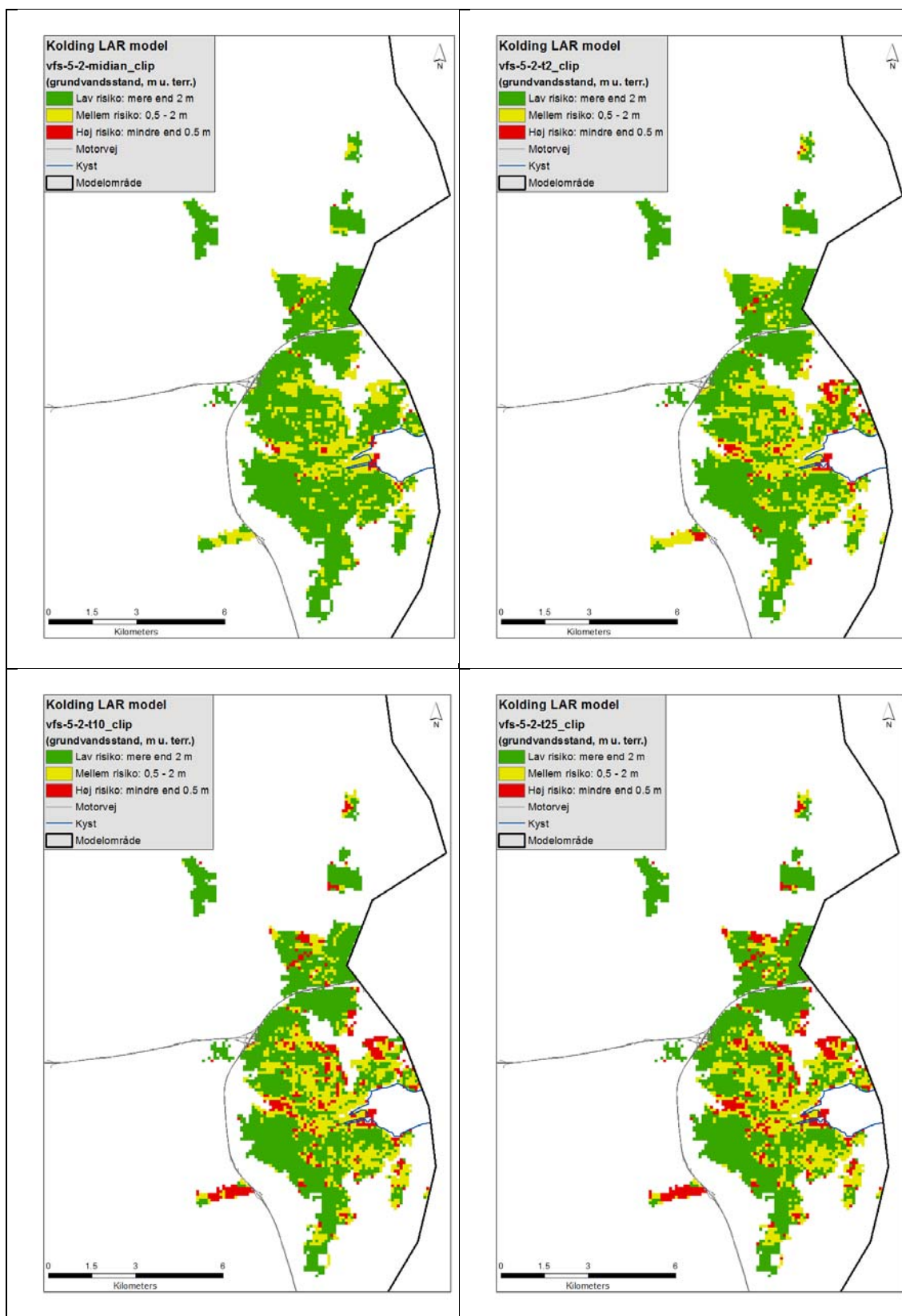
Figur 4-47. Dybde til grundvandsspejl. Valgtrit scenarium 5.1 'Områder med lav til mellem risiko for høj grundvandsstand'. Nutid, LAR 75% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse.



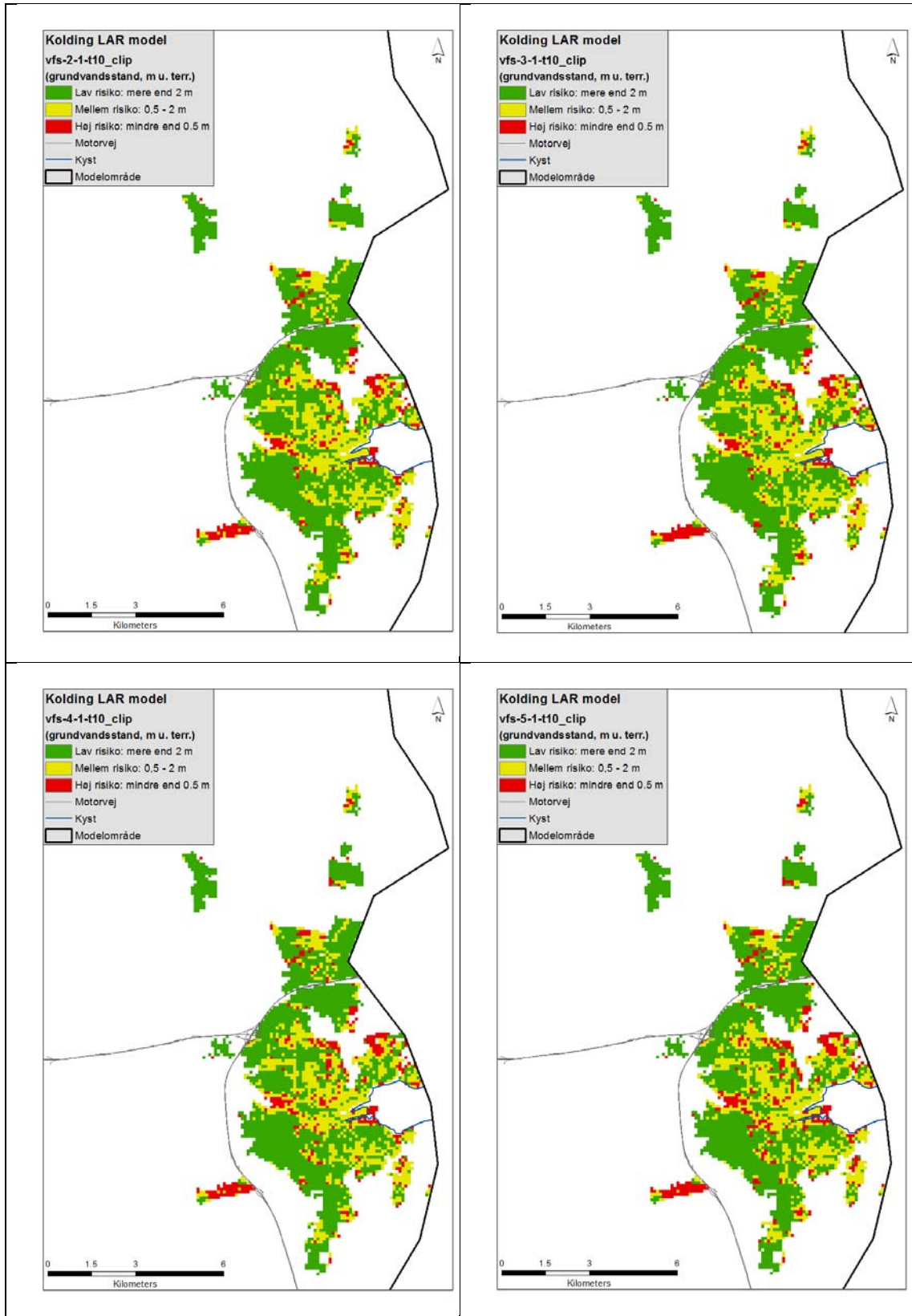
Figur 4-48. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 5.1 'Områder med lav til mellem risiko for høj grundvandsstand'. Nutid, LAR 75% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



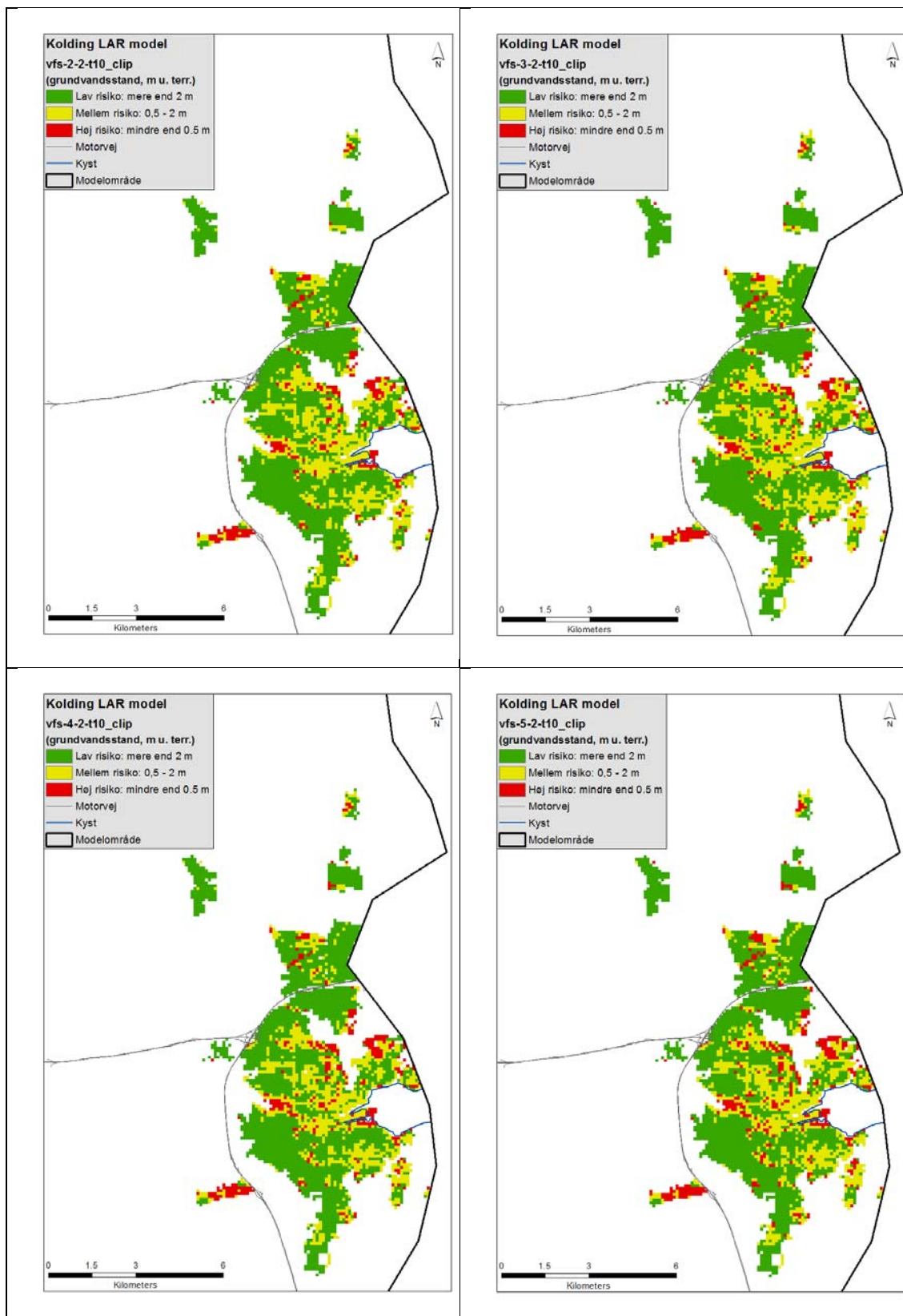
Figur 4-49. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 5.2 'Områder med lav til mellem risiko for høj grundvandsstand'. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 75% infiltration: Middelt, 2-, 10- og 25-års hændelse.



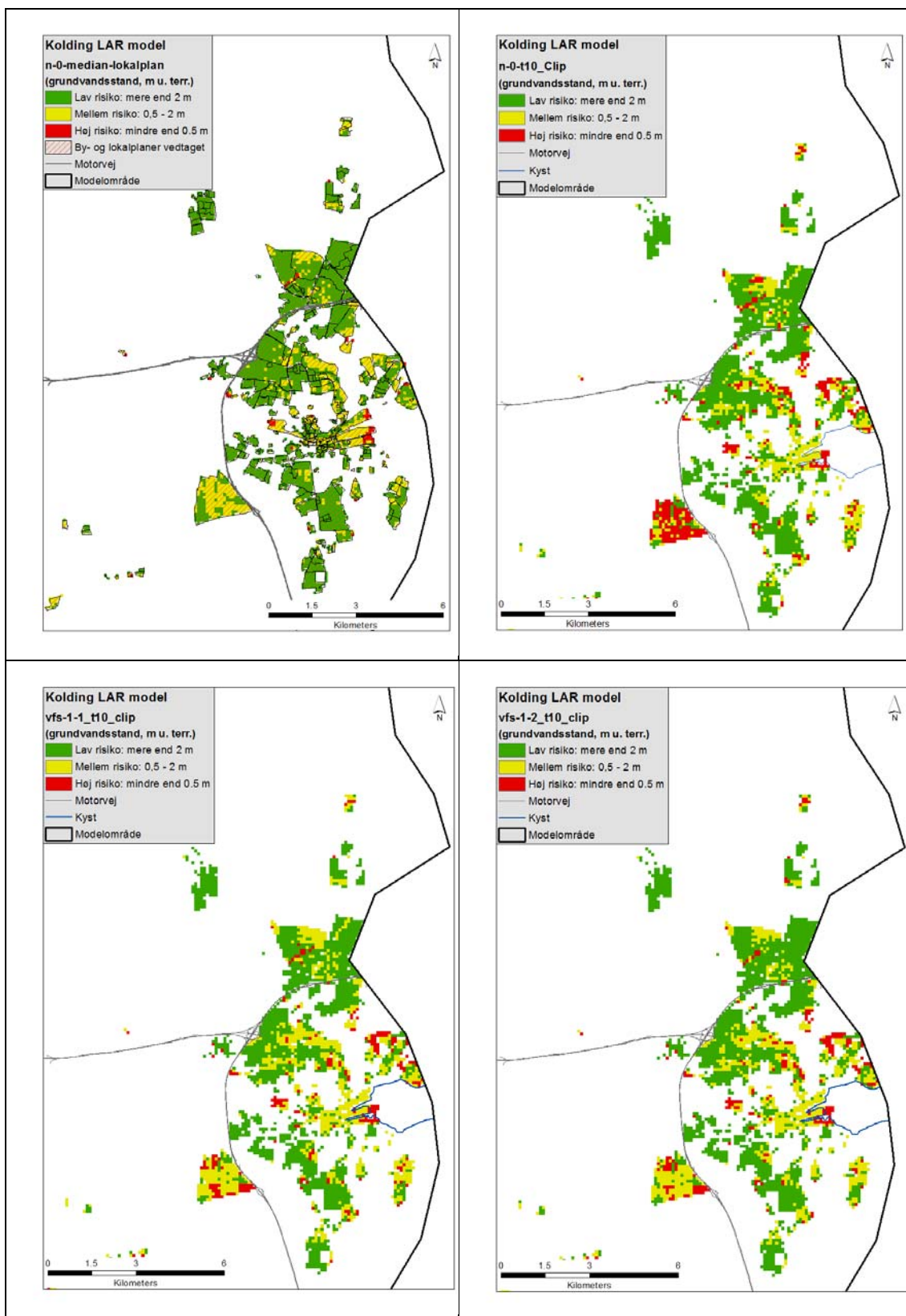
Figur 4-50. Dybde til grundvandspejl. Valgfrit scenarium 5.2 'Områder med lav til mellem risiko for høj grundvandsstand'. Nær fremtid, middelvådt klima, LAR 75% infiltration: Middel, 2-, 10- og 25-års hændelse. Zoom på Kolding by.



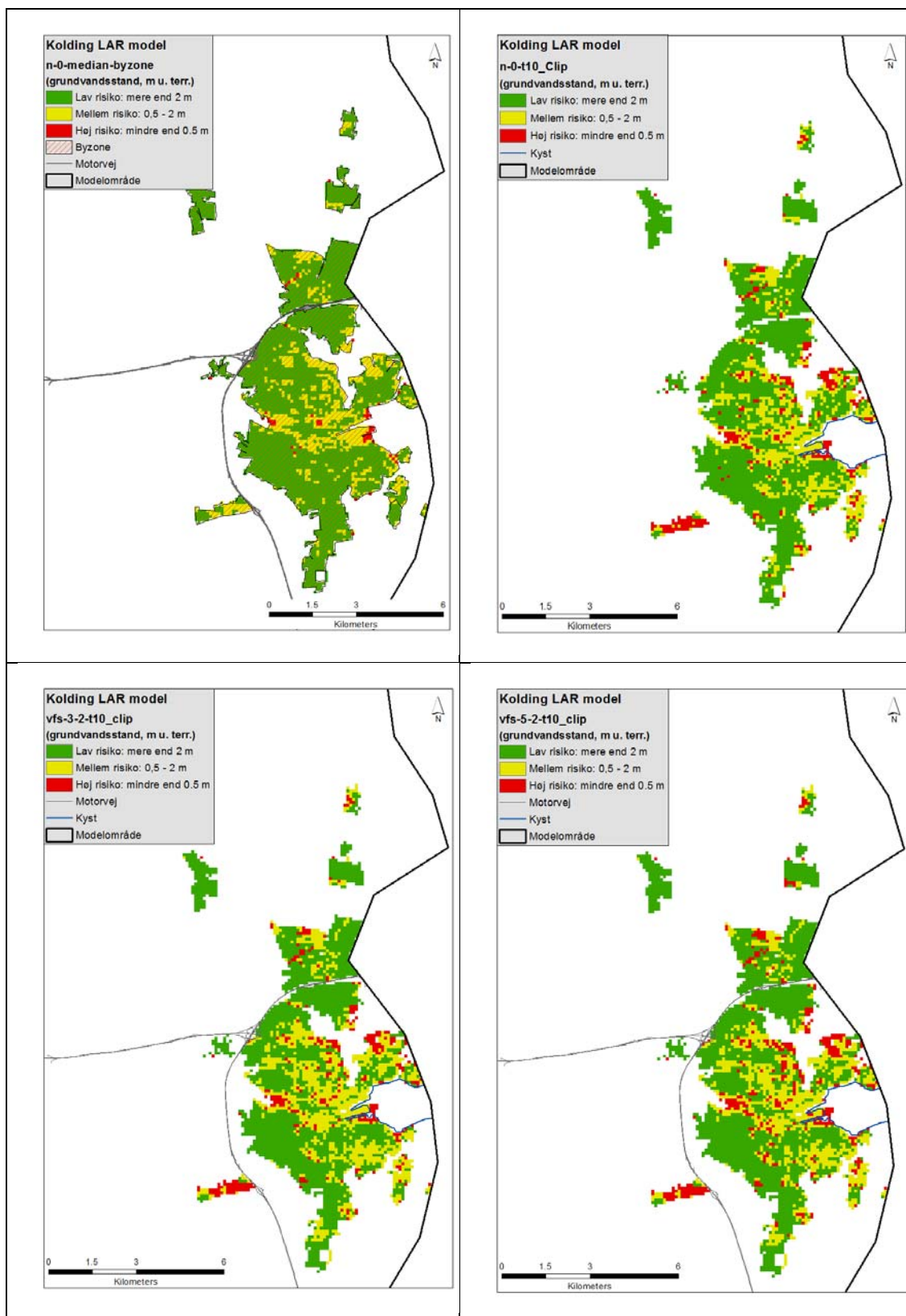
Figur 4-51. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 2.1, 3.1, 4.1 og 5.1. Nutid, 10-års-hændelse. Zoom på Kolding by.



Figur 4-52. Dybde til grundvandsspejl. Valgfrit scenarium 2.2, 3.2, 4.2 og 5.2. Nær fremtid, middelvådt klima, 10-års-hændelse. Zoom på Kolding by.



Figur 4-53. Dybde til grundvandsspejl. Nutid, ingen LAR, middel grundvandsstand. Nutid, ingen LAR, 10-års-hændelse. Valgfrie scenarium 1.1 (nutid) og valgfrie scenarium 1-2 (nær fremtid), 10-års-hændelse.



Figur 4-54. Dybde til grundvandsspejl. Nutid, ingen LAR, middel grundvandsstand. Nutid, ingen LAR, 10-års-hændelse. Valgfrie scenarium 3.2 (nær fremtid) og valgfrie scenarium 5-2 (nær fremtid), 10-års-hændelse.

5. Konklusion

På basis af kombination af en omfattende database for grundvandsstand og en integreret hydrologisk model er der foretaget beregninger, der viser udbredelsen af områder, som er sårbare overfor højtstående grundvand ved en øget anvendelse af LAR under nuværende og fremtidige klimaforhold. Der er gennemført analyser for både nutidigt klima, den nære fremtid (2021-2050) og den fjerne fremtid (2071-2100). Der er gennemført en ekstremværdi-analyse af dybden til grundvandsspejlet svarende til en 2-, 10- og 25-års-nedbørshændelse for de enkelte LAR- og klimascenarier.

Den klima-hydrologiske LAR-model for Kolding er opdateret i forhold til 2012-modellen (Sonnenborg og Kidmose, 2012) med en detaljering af drændybder, dræneffektivitet og befæstelsesgrader i byområder.

Resultaterne viser, at der i den nære fremtid, med det middelvåde klimascenarium, kun sker beskedne udvidelser af de områder, som er påvirket af højtstående grundvand. Der ses lidt større udbredelse af områder med middel og højtstående grundvand ved det våde klima scenarium i nær fremtid. De største ændringer med højere grundvandsstand ses ved det våde scenarium i fjern fremtid (ses ved sammenligning af Figur 4-6 og Figur 4-18).

De mest markante ændringer af den terrænnære grundvandsstand som følge af klimaændringer ses i landområder. Grundvandsstanden i byområderne påvirkes i mindre grad af de våde klimascenarier, og den øgede nedbør resulterer dermed ikke i samme tendens til højere grundvandsstand i byområder som i landområder. Det skyldes, at befæstelsesgraden i byområder er større end på landet, og at en større del af den øgede nedbør derfor strømmer overfladisk af til kloak og vandløb og ikke bidrager til grundvandsdannelsen. Derudover fungerer kloakkerne i byerne som dræn. Kapaciteten til at bortlede vand (dræn-kapacitet) er større i byer med utætte kloakker end på landet, hvor der er installeret markdræn. Dette kommer til udtryk i, at drænene i byerne har en større drænkostant end drænene på landet og de dræner dermed vandet mere effektivt væk (Tabel 4-2). Desuden ligger drænene i visse områder i byerne dybere end på landet (Figur 3-3), hvilket bidrager til at holde grundvandsstanden relativt langt under terræn.

Der ses en gradvis øgning i grundvandsstanden ved stigende LAR. Der ikke tale om en voldsom øgning i grundvandsstanden, men i visse områder ændres risikoen fra lav til mellem for høj grundvandsstand, og i andre områder ændres risikoen fra mellem til høj for høj grundvandsstand (Figur 4-19). Der er dog tale om en signifikant ændring mod større risiko for høj grundvandsstand når 0% LAR sammenlignes med 75% LAR (Figur 4-19).

Den kombinerede effekt af stigende LAR og stigende nedbør som følge af klimaændringer medfører højere grundvandsstand i Kolding by med signifikant større udbredelse af områder både med middel risiko og med høj risiko for høj grundvandsstand (Figur 4-21). Mod nordvest og sydvest er der fortsat større områder med mere end 2 m til grundvandsspejlet, hvorimod der mere centralt i Kolding by er større områder med middel og høj risiko for høj grundvandsstand. I disse områder vil det være svært at udpege områder, som er velegnede til LAR.

For alle valgfrie scenarier ses, at især områder med mellem risiko men også områder med høj risiko for høj grundvandsstand får større udbredelse med stigende T-års-hændelse. De mest markante ændringer ses når man går fra 2-års-hændelsen til 10-års-hændelsen (Figur 4-50), hvor der både centralt i Kolding og i bydelen sydvest for motorvejen er flere arealer, hvor risikoen ændres fra middel til høj. Et middelvådt klimascenarium for nær fremtid viser stort set ingen ændringer på risikokortene for dybden til grundvandsspejlet for middel grundvandsstanden og for T2, T-10 og T-25 hændelser i forhold til nutidsklima.

I det valgfrie scenarium 1 er befæstelsen i visse områder øget og i andre reduceret (Figur 4-28). En øget befæstelse vil resultere i mindre grundvandsdannelse mens en reduceret befæstelse vil give højere grundvandsdannelse. Hvor befæstelsen er øget og der anvendes LAR, er der en lavere grundvandsstand og dermed en mindre risiko for høj grundvandsstand sammenlignet med situationen uden LAR (Figur 4-53). Det vil sige at en relativt større del af nedbøren ledes væk med en øget befæstelsesgrad i forhold til den vandmængde som via LAR ledes til grundvandet lokalt. Dette ses i bydelen sydvest for motorvejen, hvor områder med høj risiko ændres til områder med mellem risiko for høj grundvandsstand. I områder i den nordlige del af det centrale Kolding ændres risikoen ligeledes fra høj til mellem. Hvor befæstelsen er reduceret findes en uændret eller højere risiko for høj grundvandsstand (Figur 4-53).

Ved anvendelse af LAR i de grønne risikoområder (områder med lav risiko for høj grundvandsstand i nutidssituationen (Figur 4-30), scenarium 2 og 3) ses, at især områder med middel risiko får større udbredelse. Dette ses mest tydeligt i den centrale del af Kolding. Grønne risikoområder mod sydvest, nordvest og nordøst er i mindre grad påvirket af en øget LAR (Figur 4-54). Anvendelse af LAR i både grønne og gule risikoområder (scenarium 4 og 5) giver en lidt større udbredelse af områder med høj risiko for høj grundvandsstand især i den centrale del af Kolding (Figur 4-54).

6. Referencer

Diks, C. G. H., and J. A. Vrugt (2010). Comparison of point forecast accuracy of model averaging methods in hydrologic applications, *Stochastic Environ. Res. Risk Assess.*, 24(6), 809–821.

Højberg A.L., L. Trolborg, P. Nyegaard, M. Ondracek, S. Stisen og B.S.B Christensen (2010). DK-model2009 - Sammenfatning af opdateringen 2005 - 2009. GEUS rapport 2010/81, København.

IPCC (2000). Special report on emissions scenarios (SRES). A special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

Madsen, H. (2005). EVA. Extreme Value Analysis, User Guide. DHI.

Olesen, S. E. (2009). Kortlægning af - Potentielt dræningsbehov på landbrugsarealer opdelt efter landskabselement, geologi, jordklasse, geologisk region samt høj/lavbund. Intern rapport Markbrug. Foulum, Det Jordbrugsvidenskabelige fakultet. 21: 1-31.

Sonnenborg, T.O. og J. Kidmose (2012). Undersøgelse af klimabetingede grundvandsstigninger i pilotområde Kolding. Region Syddanmark og GEUS.

Van der Linden P. and J.F.B. Mitchell (2009). ENSEMBLES: climate change and its impacts: summary of research and results from the ENSEMBLESproject. Technical Report, Met Office Hadley Centre, Exeter, 1–160.