

Climate change and groundwater resources Bornholm, Denmark

Interreg
Baltic Sea Region



Co-funded by
the European Union



SUSTAINABLE WATERS

WaterMan

Til: BEOF
Fra: Lars Trolldborg, Jacob Kidmose og Maria Ondracek

Notat 06-VA-25-01
J.nr. GEUS 2024-106
Ref. LTR

23.06.2025

Klimaforandringer og grundvandsressourcen på Bornholm

Dette notat opsummerer de vigtigste analyser og resultater fra den workshop som Bornholms Energi og Forsyning (BEOF) og GEUS afholdt den 18. februar 2025. Formålet med workshoppen var tredelt, herunder i) at skabe en fælles forståelse af grundvandsressurens begrænsninger og muligheder, samt udvikle anbefalinger for fremtidig forvaltning; ii) at skabe en dybere forståelse for udviklingen af Bornholms grundvandressource i et fremtidigt klima, særligt med henblik på at kunne sammenholde resultater fra den seneste vandressource opgørelsen (Henriksen et al, 2023) og diskutere valg af vandressource indikatorer i relation til BEOF's erfaringer; og iii) at afklare om det ville være nødvendigt at gennemføre yderligere modelsimuleringer for at forstå effekterne af ændringer i klima og indvinding.

Notat er udarbejdet som en del af WaterMan projektet. WaterMan-projektet promoverer en regionsspecifik tilgang til genanvendelse af vand, som har til formål at fremme tilpasningen til de skiftende forhold mellem for meget og for lidt vand, et fænomen der er blevet typisk i Østersøregionen, til at gøre de lokale vandforsyninger mere robuste, og for at understøtte kommuner og forsyningers muligheder for at tilpasse deres strategier. WaterMan projektet er medfinansieret af den EU (Den Europæiske Fond for Regionaludvikling) og gennemføres under Interreg Østersø programmet (Interreg Baltic Sea Region Programme 2021-2027).

Mere information:

eurobalt.org/WaterRecyclingToolbox

interreg-baltic.eu/project/waterman

GEUS
De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf. 38 14 20 00
CVR-nr. 55 14 50 16
EAN-nr. 5798009814814
geus@geus.dk
www.geus.dk

*GEUS er en forsknings-
og rådgivningsinstitution
i Klima-, Energi- og
Forsyningsministeriet*

NOTAT

Side 2 af 9

Klimaændringer på Bornholm

Grundvandsressourcens størrelse under et fremtidigt klima er direkte relateret til ændring i nedbørsmønstret. Derudover spiller en større evapotranspiration (fordampning + transpiration) grundet højere temperatur og evt. længere vækstsæson også en rolle.

Stigningen i årlig gennemsnitsnedbør for Bornholm estimeres af DMI (DMI Klimaatlas 2025) til at være 13 % og 18 % for hhv. mellemhøjt (RCP4.5) og højt (RCP8.5) udledningsscenario (Collins et al, 2013). Her sammenlignes den historiske reference periode 1981-2010 med prognoser for perioden 2071-2100 (fjern fremtid). Det svarer til en absolut ændring i nedbøren fra 1,80 mm/døgn (657 mm/år) i referencerperioden til hhv. 2,02 mm/døgn (737 mm/år) eller 2,10 mm/døgn (767 mm/år), for hhv. RCP 4.5 og RCP 8.5. Sammenlignet med andre danske regioner er den procentvise forøgelse af nedbøren på Bornholm henimod slutningen af det nuværende århundrede de højeste for Danmark.

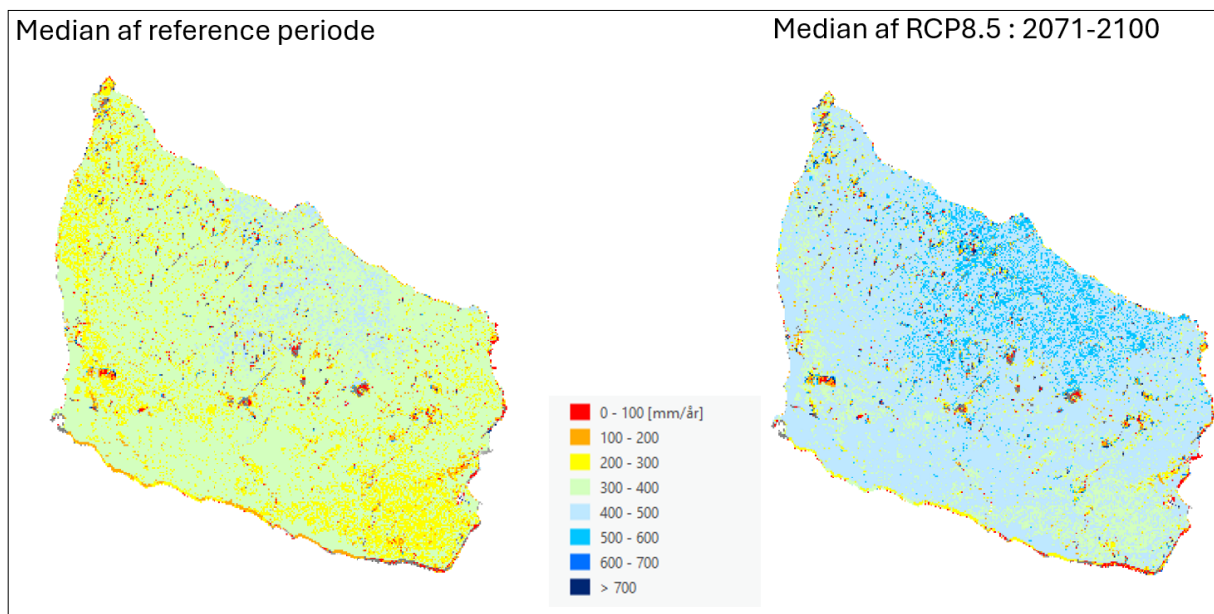
Da grundvandet primært dannes i vinterhalvåret, grundet lav fordampning om vinteren, er det i midlertidigt relevant at kigge specifikt på ændringen af nedbøren om vinteren. For vintermånederne (dec. - feb.) forøges nedbøren for Bornholm med hhv. 12 % (RCP4.5) og 22 % (RCP8.5). Den potentielle fordampning for Bornholm stiger for hele året med 3-7% og i vintermånederne med 2-8 % (RCP4.5-8.5, DMI Klimaatlas).

På portalen for det Hydrologiske Informations- og Prognosesystem (HIP, 2025) vises hydrologiske konsekvensberegninger af RCP4.5 og RCP8.5 scenarierne for nær (2041-2070) og fjern fremtid (2071-2100). Beregningerne er udført med den Nationale Hydrologiske Model (DK-modellen), som for Bornholm er opstillet i en 100m x 100m version.

HIP portalen (HIP, 2025) indeholder data for nettonedbør (udsivning fra rodzonen) og grundvandsdannelse for det nuværende og fremtidige klima. Beregningerne viser en øget nettonedbør med 100-200 mm/år for Bornholm for 2071-2100 i RCP8.5 scenariet sammenlignet med den nuværende situation (1991-2020). Data udtrukket fra RCP8.5 scenariet for fjern fremtid for de lag i DK-modellen som indeholder de primære magasiner, viser tilsvarende en øget gennemsnitlig grundvandsdannelse. Den magasin-specifikke grundvandsdannelse, specielt til de dybere magasiner på Sydbornholm, er dog ikke kun et resultat af klimaet som ovenfor beskrevet, men også geologiske forhold og arealanvendelse (fx naturlig og kontrolleret dræning af det øverste grundvand til vandløb mm). Figur 1 viser beregnet nettonedbør for den nuværende situation og den fjerne fremtid beregnet ud fra højt udledningsscenario.

NOTAT

Side 3 af 9



Figur 1 Nettonedbør beregnet med DK-modellen for nutid (venstre) og fremtid (højre)

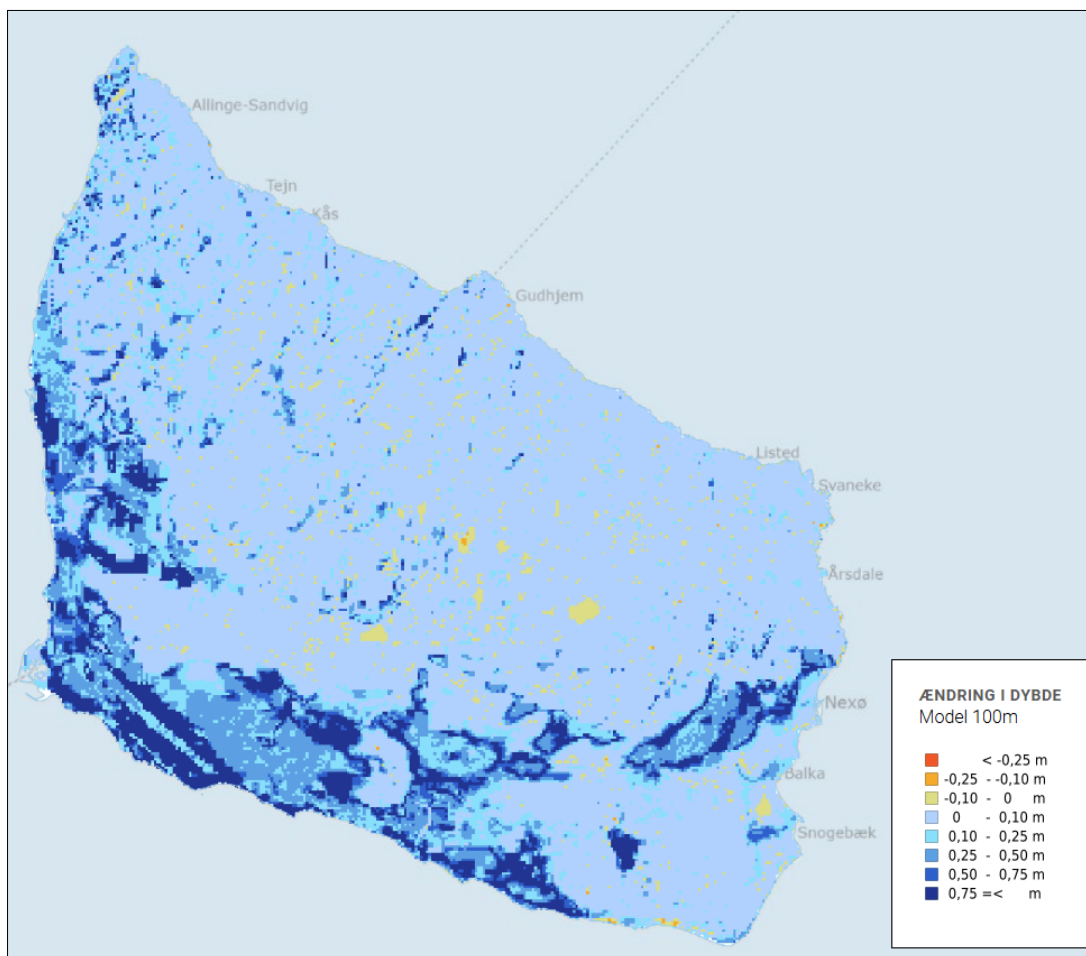
Overordnet set viser simuleringerne af dybden til grundvand og vandføring, at RCP8.5 scenariet for den fjerne fremtid er det scenarie, der giver de største ændringer sammenlignet med den nuværende situation. Statistikken for beregningerne med RCP4.5 og RCP8.5 scenarierne viser enighed om retningen af ændringerne både for den fjerne og nære fremtid.

Statistikken for vandføring fra HIP data viser et fald for median-minimum- og sommervandføring for de nord- og østlige dele af Bornholm og en stigning i samme statistikker for den vestlige og sydlige del af Bornholm. Generelt er medianvandføringen for de Bornholmske vandløb beregnet til at stige. Begge dele ses tydeligt i RCP8.5 scenariet for den fjerne fremtid.

Data for dybden til grundvandsspejlet fra HIP portalen (HIP, 2025) viser overordnet set et stigende gennemsnits grundvandsspejl for RCP8.5 scenariet frem til 2071-2100, sammenlignet med den nuværende situation (1991-2020). Dette er illustreret på Figur 2, der viser et højere øvre grundvandsspejl i den fjerne fremtid ved det høje udledningsscenario. For de mindste dybder til grundvandsspejlet ses flere områder på den nord og østlige del af Bornholm med dybere grundvandsspejl, formentlig en konsekvens af højere fordampning. Denne tendens er mest tydelig i RCP8.5 scenariet for den fjerne fremtid, men ses også for RCP4.5 og for nær fremtid. Der er ikke de store variationer i tendensen på tværs af sæsonerne.

NOTAT

Side 4 af 9



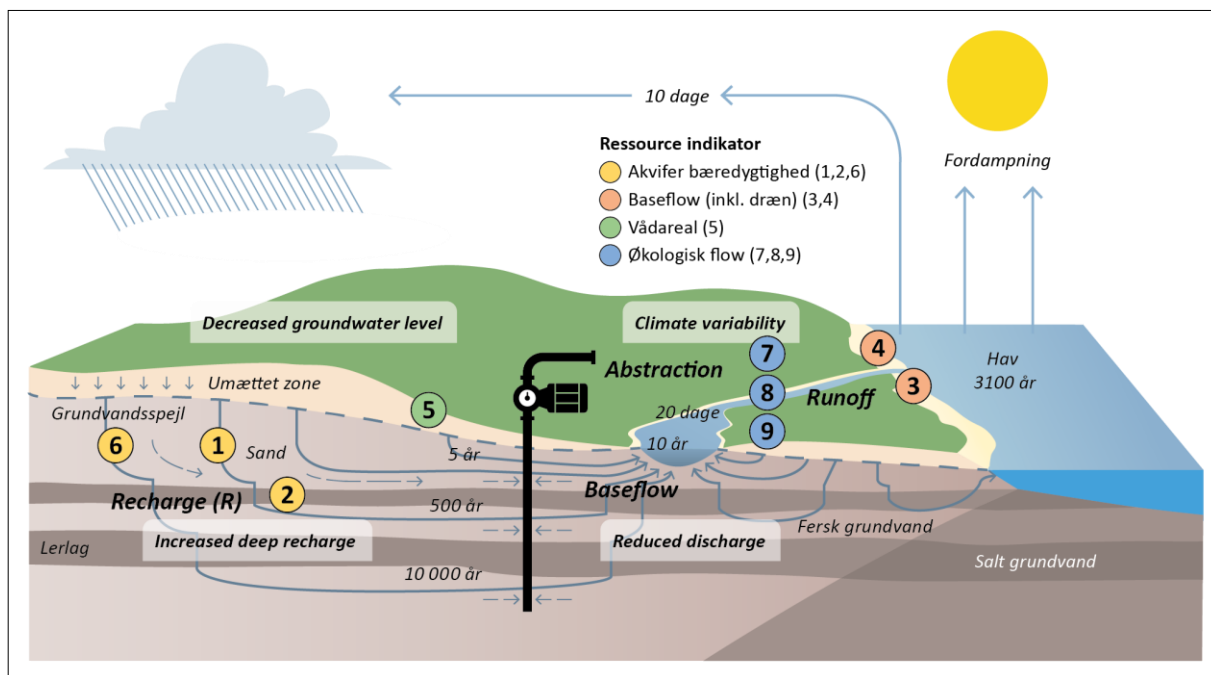
Figur 2 Ændringer i middeldybden til det terrænnære grundvandsspejl ved sammenligning mellem nutid (1991-2020) og RCP8.5 (højt udledning scenarie) for fjern fremtid (2071-2100)

Vandressourceopgørelse for Bornholm

GEUS gennemførte i 2023 en vandressourceopgørelse for hele landet, herunder Bornholm (Henriksen et al, 2023). Vandressourceopgørelsen var baseret på ni indikatorer (Figur 3), hvoraf tre indikatorer (1, 2 og 6, relateret til indvinding ift. grundvandsdannelse) fungerer som indikatorer for hvor meget grundvand, der kan indvindes før der må forventes udfordringer med naturlig forurening som fx pyrit oxidation eller saltvandsindtrængning. To indikatorer (3 og 4, relateret til reduktion af vandføring) fungerer som indikator-grænser for bæredygtig reduktion af baseflow, hvilket historisk set har været sat til 10% reduktion af baseflow, primært relateret til spildevandsproblematikker, ift. ønsket om opblanding af spildevandet. En indikator (5, relateret til ændringer i terrænnært grundvandsspejl) fungerer som proxy for potentielle udfordringer med tørlægning af vådområder og GATØ. Endelig fungerer tre indikatorer (7-9, relateret til ændringer i vandføringsdynamik/-statistik) som proxy for påvirkning af vandløbsøkologi. For hver af de ni indikatorer har GEUS fastsat grænseværdier, som indikation for hvornår, der må forventes at opstå udfordringer relateret til indvinding, indenfor det emne som de enkelte indikatorer repræsenterer. Den bæredygtige ressource er opgjort som den indvindingsmængde, der svarer til den næst laveste af de ni indikatorer.

NOTAT

Side 5 af 9



Figur 3 Principskitse med de ni indikatorer anvendt til vandressourceopgørelsen (figur fra GEUS rapport 2023/8)

GEUS har opgjort den bæredygtige ressource for Bornholm og to større topografiske oplande (nordøst Bornholm: 54 og sydvest Bornholm: 55), samt for OSD-arealerne (Områder med Særlige Drikkevandsinteresser) indenfor disse to oplande. Opgørelsen viser, at ressourcen er udnyttet 30% for Sydvest Bornholm, og 46% for Nordøst Bornholm (Tabel 1). Ressourcen er i opgørelsen bestemt af indikatorer relateret til vandløbsøkologi (ændringer i vandføringsdynamik) for Nordøst Bornholm, mens det er indikatoren relateret til naturlig forurening (indvinding ift. grundvandsdannelse), som bestemmer ressourcen for Sydvest Bornholm.

Kildepladserne på Nordbornholm henter primært grundvand fra relativt terrænnære magasiner bestående af sand og grus beliggende ovenpå sprækkedale i grundfjeldet. Ud over kildepladserne i sprækkedalene har BEOF også kildepladser, der udnytter Nyker bassinet. Vandindvindingen fra Nyker bassinet foregår fra dybe borer i grus- og sandmagasiner. For den sydlige del af Bornholm sker den primære indvinding fra sandstens- og skiferformationer. I praksis styres nogle af kildepladserne efter faste grænser for afsenkning af trykniveau. Særligt Nyker bassinet var væsentligt kraftigere udnyttet i 80'erne og erfaringerne fra den periode peger på mulige udfordringer med pyrit oxidation ved kraftige afsænkninger af grundvandsspejlet.

Flere af vandløbene, særligt for den nordøstlige del af Bornholm, har mindre oplande, og er hurtigt reagerende på klimatiske variationer og løber ofte tørre om sommeren. Ressourceopgørelsen benytter formeludtryk som beskriver sammenhængen mellem afstrømningsdynamik og EQR (Ecological Quality Ratio). EQR er et mål for afvigelser i forhold til en referencetilstand, som lidt forsimplet i Vandrammedirektiv sammenhænge kan være i fem tilstandsklasser (højt, godt, moderat, ringe og dårligt). I ressourceopgørelsen kigges der på om ændringer i EQR for vandløb med en vis sandsynlighed vil give anledning til et skift i tilstandsklasse.

NOTAT

Side 6 af 9

Tabel 1 Opgørelse af bæredygtig ressource for Bornholm og for deloplandene 54 og 55, samt for OSD områder indenfor disse. Tabellen viser grænseværdier for indvinding (opgjort for hver indikator) og den nuværende indvinding, alle opgjort i mm/år. Udnyttelsesgraden er opgjort som indvinding divideret med den næstmindste indikator (tal stammer fra Henriksen et al, 2023)

	Bornholm	Opl 54	Opl 55	OSD opl 54	OSD opl 55
Indikator 1 (top magasin)	12,2	4,3	11,1	3,3	4,5
Indikator 2 (primært magasin)	19,1	5,5	13,6	4,3	8,7
Indikator 3 (baseflow)	141,8	13,2	128,6	4,1	74,4
Indikator 4 (dræn+baseflow)	29,3	9,6	19,7	6,7	10,6
Indikator 5 (terrænnært gvs)	18,7	5,5	13,2	3,2	7,8
Indikator 6 (top mag, nul indv)	14,6	4,6	10,0	3,5	5,1
Indikator 7 (EQR < p80)	13,4	2,2	11,2	2,2	10,8
Indikator 8 (EQR < p50)	10,3	2,1	8,2	2,1	9,7
Indikator 9 (Q50 40%)	27,8	3,5	24,4	4,9	5,3
Nu Indvinding	4,5	1,1	3,4	1,0	2,9
Ressource udnyttelsesgrad	36%	46%	30%	46%	57%

EQR-formlerne, der bruges i ressourceopgørelsen, er primært udviklet på baggrund af data fra større vandløb (vandløbsbredde > 2.5m) fra områder domineret af kvartære aflejringer. GEUS vurderer, at dette udfordrer anvendeligheden af indikator 7 og 8, der er baseret på EQR-formlerne, i arbejdet med at bestemme ressourcen for Bornholm. Hvis der lægges mindre vægt på indikator 7 og 8, så er ressourcens størrelse for nordøst Bornholm (opland 54) bestemt af de indikatorer, der er relateret til udfordringer med naturlig forurening, dvs. indikatorer, der beskriver forholdet mellem indvinding og grundvanddannelse. Erfaringerne fra Nyker bassinet peger tilsvarende på, at disse forhold vil være relevante for bestemmelsen af den bæredygtige udnyttelse af grundvandsressourcen.

Klimapåvirkning på Bornholms vandressource

Klimaforandringerne øger nedbøren, nettonedbøren og grundvandsdannelsen på Bornholm. Data fra beregningerne til HIP portalen (HIP, 2025) viser, at grundvandsdannelsen øges til de terrænnære og de dybere magasiner i et fremtidigt klima. Der ligger ikke alternative indvindingsscenarier på HIP portalen (HIP, 2025), men ændringen i grundvandsdannelsen under fremtidigt klima kan sammenlignes med vandressourcens beregning af grundvandsdannelse for den nuværende indvinding. Tabel 2 viser forskellen i grundvandsdannelse mellem nuværende klima og klima for fjern fremtid under RCP8.5. Tabellen viser, at grundvandsdannelsen vil øges med 7-26 % afhængig af placering og dybde. For Sydbornholm vil grundvandsdannelsen øges 17% for det øverste magasin, hvilket svarer til, at der vil være en noget lavere udnyttelsesgrad på ca. 26% (tilsvarende 17% lavere) i gennemsnit for fjern fremtid RCP8.5, hvis indvindingen ikke ændres, mod ca. 30% for nuværende situation (Tabel 1).

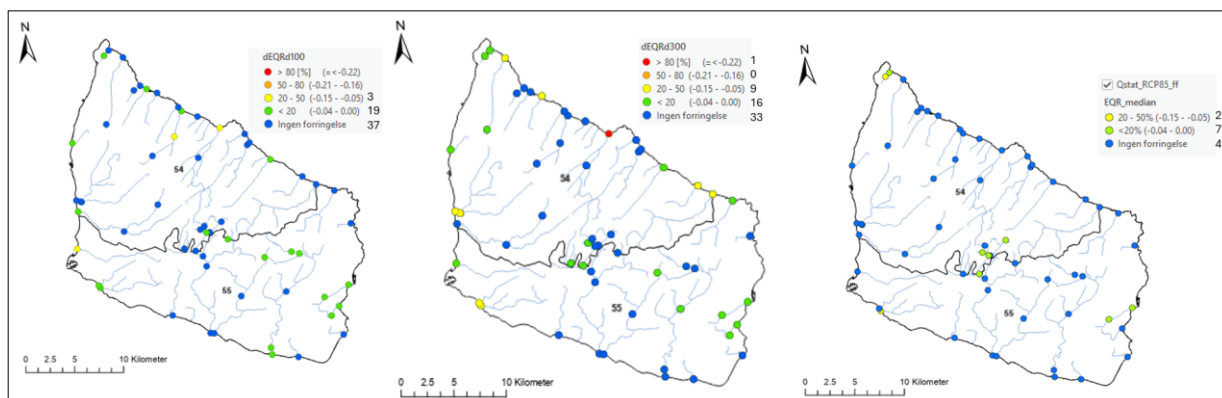
NOTAT

Side 7 af 9

Tabel 2 Ændringer i grundvandsdannelse nuværende klima og klima for fjern fremtid RCP8.5

	Bornholm	Opland 54	Opland 55
Grundvandsdannelse til top magasin			
Nuværende situation	50	30	71
Fjern fremtid RCP8.5	57	32	83
Ændring top magasin	14%	7%	17%
Grundvandsdannelse til primært magasin			
Nuværende situation	39	22	58
Fjern fremtid RCP8.5	48	26	73
Ændring primært magasin	23%	18%	26%

Beregnete afstrømningsdata fra HIP portalen (HIP, 2025) viser en øget median afstrømning for fjern fremtid (RCP8.5), men en mindsket median sommerafstrømning. GEUS har udregnet de gennemsnitlige EQR-ændringerne pr. ID15 opland for RCP8.5 fjern fremtid holdt op imod den reference situationen beregnet med klimamodellerne. Denne klimabestemte ændring er adderet de nuværende indvindingsbestemte ændringer, som et mål for forventet indvindingspåvirkning af EQR i et fremtidigt klima (fjern fremtid, RCP8.5). For langt de fleste ID15 oplande er der et forbedret EQR i et fremtidigt klima i forhold til det nuværende situation og dermed også en mindre følsomhed overfor indvindingspåvirkning. Figur 4 viser forventet EQR-påvirkning af et 100% indvindingsscenarie (som beskrevet ovenfor) ved nuværende og fremtidigt klima, samt EQR-påvirkning ved et 300% indvindingsscenarie (fra ressource opgørelsen) for nuværende klima til sammenligning. Det skal bemærkes, at trods den tilsyneladende generelle mindre følsomhed overfor indvinding i et fremtidigt klima, så er der enkelte ID15, der tilsyneladende går den anden vej. Som anført ovenfor vurderes det, at EQR-formlerne formodentligt ikke repræsentative for vandføringen for Bornholmske vandløb, men den mindre følsomhed over for indvinding i et fremtidigt klima beregnet med formlerne, peger i samme retning som beregningerne af grundvandsdannelsen.



Figur 4 EQR-påvirkning. Venstre, ved nuværende indvinding (100%) og klima. Midten ved nuværende klima men med 300% indvinding. Højre, 100% ved klimaet i fjern fremtid

Øget havvandstand indgår som randbetingelser for alle scenarier på HIPdata.dk. Den forventede havvandstandsændring for RCP8.5 er 65 cm for kysten ved Bornholm. Udfordringer med saltvand i vandforsyningsboringer er et velkendt problem, der typisk opstår under to forhold. 1) Vandindvinding fra boringer tæt ved kysten kan ved tilpas store pumperater trække saltholdigt vand fra havet, 2) Ved

NOTAT

Side 8 af 9

forøgelse af indvinding kan saltvand fra fossilt porevand forurene vandkvaliteten ved en boring. Det er vores erfaringer at det sidste forhold er årsag til de fleste af de udfordringer der ses med saltvand fra boringer i Danmark, og dette forhold forventer vi ikke vil være påvirket af øget havvandstand som følge af klimaforandringer. Det første forhold er primært afhængig af densitetsforskelle og trykgradienter, beskrevet for homogene hydrogeologiske forhold ved Ghyben-Herzberg-relationen.

Overordnet siger Ghyben-Herzberg-relationen, at forholdet mellem grundvandsspejl og saltvandkilen er 1:40, dvs. at der for hver en meter ferskvandssøjle over havniveau er 40 gange længere ned til saltvandet, fordi ferskvand er lettere end saltvand. Denne relation mellem vandtryk og placering af saltvandet betyder, at det for Bornholm, hvor der de fleste steder vil være et trykniveau på 5-10 moh, allerede nogle få hundrede meter fra kysten, vil være meget usandsynligt, at selv et øget havniveau på en meter ville kunne flytte saltvandskilen op i et niveau i nærheden af indvindingsindtag, selv tæt på kysten. Til eksempel kan nævnes vandværksboring med DGU nr. 246.617, tilknyttet Rønne vandværk Arnager, som er beliggende 2-400 meter fra kysten syd for lufthavnen. Boringen er ca. 119 meter dybde og kote sat til 16,49 moh, og blev pejlet ved etablering med et grundvandsspejl på 6,10 moh. Ghyben-Herzberg relationen placerer saltvandkilen til 260 mut. Et havniveau stigning på 1 meter ville ændre dette til 220 mut, eller godt 100 meter dybere end bunden af boringen.

Konklusion

Opgørelsen viser, at grundvandsressourcen under nuværende forhold generelt ikke er overudnyttet. De to bestemmende indikatorer fra ressourceopgørelsen var relateret til grundvandsdannelse og vandløbsdynamik. GEUS har forbehold over for gyldigheden af indikatoren for vandløbsdynamik for de Bornholmske vandløb.

Det forventes, at den bæredygtige vandressource vil øges i et fremtidigt klima. Der er lavet beregninger af påvirkning af de to styrende indikatorer på baggrund af simuleringer under et fremtidigt klima fra HIPdata.dk af RCP8.5 scenariet for den fjerne fremtid. Den generelle trend i klimafremskrivningerne går mod mere vådt for Bornholm, med øget nettonedbør, øget grundvandsdannelse og øget median vandføring. HIP udstillingen (HIP, 2025) af de nordøstlige vandløb viser lavere medianminimum vandføring, og det kan ikke afvises, at lokale vandløb reagerer anderledes end den generelle udvikling imod mere vandrige forhold. Lokale vandløbsforhold hvis detaljeringsgrad ikke indeholdes i den nuværende modelering er desuden ikke belyst. Ændringerne i grundvandsdannelse har direkte betydning for vurderingen af vandressourcen, mens beregningerne af klimarelaterede påvirkninger af EQR støtter op om denne vurdering.

De forventede ændringer i grundvandsressourcen er vurderet på baggrund af de modelberegninger som udstilles via HIP portalen (HIP, 2025). Modelberegningerne til bæredygtige vandressourceopgørelse og modelberegningerne til HIPdata.dk er begge udført med den Nationale Hydrologiske Model, som for Bornholm er opstillet i et 100x100m grid. Til trods for at modelberegningerne på HIPdata.dk ikke indeholder scenarier for ændret indvinding, så vurderes data tilstrækkelige til at kunne vurdere trenden for den bæredygtige ressource for Bornholm, da den nuværende bæredygtige ressource primært er

NOTAT

Side 9 af 9

bestemt af grundvandsdannelsen til magasinerne og EQR ændringer. Begge typer af data er udregnet på baggrund af scenariedata fra HIPdata.dk og begge datatyper peger i retning mod en øget grundvandsressource. På baggrund heraf forventes det ikke, at yderligere modelberegninger med indvindingsscenarier vil ændre på denne konklusion.

Scenarierne for et fremtidigt havniveau viser, at dette for de Bornholmske kyster vil stige 65 cm for RCP8.5 scenariet i fjern fremtid. Det forventes ikke, at et øget havniveau på mindre end en meter vil kunne give udfordringer med saltvandsindtrængning for den nuværende indvindingsstruktur, som følge af de store grundvandstandsgradienter ud mod kysten for Bornholm.

Referencer

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner (2013). Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Henriksen, H. J., Ondracek, M., & Troldborg, L. (2023). Vandressourceopgørelse – datarapport. Baggrundsrapport til Miljøstyrelsens samlede afrapportering omkring forvaltning af fremtidens drikkevandsressource. Metode, resultater, usikkerheder og forventede klimapåvirkninger. GEUS. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport Vol. 2023 No. 8 <https://doi.org/10.22008/gpub/34675>

DMI Klimaatlas (2025). Data hentet april 2025: <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klimaatlas>

HIP (2025). Hydrologisk Informations- og Prognosesystem, data hentet februar 2025: <https://HIPdata.dk>

DK-model, Den Nationale Hydrologiske Model: <https://dennationalehydrologiskemodel.dk>

The „BSR Water Recycling Toolbox” was elaborated as part of the WaterMan project, which is co-financed by the European Union (European Regional Development Fund) and implemented within the Interreg Baltic Sea Region Programme. More information:

eurobalt.org/WaterRecyclingToolbox
interreg-baltic.eu/project/waterman

WaterMan promotes a Baltic Sea Region-specific approach to water recycling, which makes use of the alternation of too much and too little water that has become typical for humid areas in the EU to strengthen the resilience of local water supply. Building on this approach, the project supports municipalities and water companies in adapting their water supply strategies.

The contents of „BSR Water Recycling Toolbox” are the sole responsibility of the authors and can in no way be taken to reflect the views of the European Union, the Managing Authority or the Joint Secretariat of the Interreg Baltic Sea Region Programme.

Interreg
Baltic Sea Region



**Co-funded by
the European Union**

 SUSTAINABLE WATERS
WaterMan