



**Silkeborg Kommune**

# Opmåling af Gudenå 2020

**Rapport om opmåling af strækningen fra Silkeborg til Tange  
Sø**

08-07-2020

Silkeborg Kommune

# Opmåling af Gudenå 2020

Rapport om opmåling af strækningen fra Silkeborg til Tange Sø

---

<b>Kunde</b>	Silkeborg Kommune Teknik og Miljø Søvej 1 8600 Silkeborg
<b>Rådgiver</b>	Orbicon WSP Jens Juuls Vej 16 8260 Viby
<b>Projektnummer</b>	1322000034
<b>Dokument ID</b>	Opmåling af Gudenå 2020_Afrapportering.docx
<b>Projektleder</b>	Christian Petersen
<b>Databearbejdning og beregninger</b>	Anders Lund Jensen Klaus Schlüsen
<b>Kvalitetssikret af</b>	Bjarne Moeslund
<b>Godkendt af</b>	Rasmus Bang
<b>Version</b>	1
<b>Udgivet</b>	08-07-2020

# Indholdsfortegnelse

<b>1.</b>	<b>Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Metode</b>	<b>6</b>
2.1	Udvælgelse af tværprofiler	6
2.2	Tværfilopmåling med GPS	7
2.3	Tværfilopmåling med dronebåd	7
2.4	Opmåling af vandspejl	8
<b>3.</b>	<b>Resultater af opmålingen</b>	<b>9</b>
3.1	Tværfilopmåling med GPS	9
3.2	Tværfilopmåling med dronebåd	11
3.3	Opmåling af vandspejl med drone	12
<b>4.</b>	<b>Betydning af profilændringer og grødevækst</b>	<b>13</b>
4.1	Ændring af vandføringsevnen fra 2011 til 2020	13
4.2	Ændringer i bundniveau 1922-2020	13
4.3	Grødens betydning for vandstanden	14
<b>5.</b>	<b>Konklusion</b>	<b>15</b>

# Bilagsfortegnelse

<b>Bilag 1</b>	<b>1</b>
Sammenligning af tværprofiler 2011 og 2020	
<b>Bilag 2</b>	<b>2</b>
Opmåling af grøde mellem Svostrup Bro og Tvilum Bro	
<b>Bilag 3</b>	<b>3</b>
Opmåling af grøde mellem Nebelgårde og Alling Å	
<b>Bilag 4</b>	<b>4</b>
Længdeprofil 2020 med beregnet og opmålt vandspejl	
<b>Bilag 5</b>	<b>5</b>
Længdeprofil 2020 med betydning af profilændringer og antal tværprofiler	
<b>Bilag 6</b>	<b>6</b>
Længdeprofil 2020 med opmålt bund i 1997 og 1922	
<b>Bilag 7</b>	<b>7</b>
Længdeprofil med grøde mellem Nebelgårde og Alling Å	
<b>Bilag 8</b>	<b>8</b>
Tværprofiler med fiktiv indsnævring og bundhævning ved Svostrup	
<b>Bilag 9</b>	<b>9</b>
Længdeprofil med fiktiv indsnævring og bundhævning ved Svostrup	

## 1. Indledning

Silkeborg Kommune har besluttet at lade gennemføre en opmåling af Gudenå på strækningen fra Ringvejsbroen i Silkeborg til Borre Å i den opstrøms ende af Tange Sø, svarende til den regulativmæssige strækning opstrøms Tange Sø, st. 0 – 20.849 m.

Opmålingen blev gennemført i perioden fra den 14. april til den 29. maj 2020. Opmålingen blev gennemført som bådopmåling med deltagelse af en gruppe på 3 personer bestående af 1 landmåler fra Orbicon/WSP samt 1 måleassistent og 1 bådfører udlånt af Randers Kommune.

På baggrund af opmålingen har Orbicon/WSP i denne rapport foretaget analyser og vurderinger af profilændringerne siden opmålingen af strækningen i 2011 og deres betydning for vandførings- evnen. I tillæg hertil er der foretaget vurderinger af de mulige årsager til de konstaterede forhøjede vandstande i Gudenåen i de senere år.

## 2. Metode

Orbicon/WSP's opmåling af Gudenåen i foråret 2020 blev gennemført efter de samme principper, som har ligget til grund for vandløbsopmåling i mere end 100 år, nemlig detaljerede tværprofilopmålinger med en tæthed, der under iagttagelse af vandløbets fysiske variation kan sammenstykes til et retvisende billede af vandløbet i forhold til vandføringsevnen.

En opmålings evne til at kunne beskrive de faktiske forhold i vandløbet retvisende er et tilbagevendende tema i dialogen og til tider konflikten mellem lodsejere og vandløbsmyndigheder. I 2013 blev der derfor af flere kommuner, interessent- og brancheorganisationer og specialister på vandløbsområdet udarbejdet en fælles *Guideline for opmåling af vandløb*, som siden har fungeret som en form for dansk standard for vandløbsopmåling. Denne guideline beskriver en *traditionel opmåling af vandløb*, hvor der i vandløbet opmåles tværprofiler med en passende indbyrdes afstand, og hvor der bl.a. fastlægges forskrifter for måleudstyr og placering samt tæthed af tværprofiler og målepunkter. Orbicon/WSP's opmåling af Gudenåen i foråret 2020 er som udgangspunkt gennemført i fuld overensstemmelse med denne *Guideline for opmåling af vandløb*. Gudenåen kræver dog, på grund af dens størrelse, en særlig tilgang til både udvælgelse af placering af de enkelte tværprofiler, til den praktiske gennemførelse og til den efterfølgende kvalitetssikring af opmålingen, en tilgang der i meget vid udstrækning baserer sig på både erfaring og kendskab til Gudenåen.

### 2.1 Udvalgelse af tværprofiler

Standarderne for placering af tværprofiler bygger på erfaring med profilopmålingernes betydning for kvaliteten af de vandspejlsberegninger, der gennemføres i forbindelse med regulativer med bestemmelser om vandføringsevnen. Vandløb er imidlertid forskellige med hensyn til forhold, der spiller ind på vandføringsevnen, hvorfor kvaliteten af opmålingen beror på viden om de form- og faldforhold, som er af betydning for vandløbets vandføringsevne.

Der ligger en længere proces bag udvælgelsen og placeringen af tværprofilerne i 2020-opmålingen. På den ene side er det vigtigt, at der netop er nok profiler til at kunne redegøre for vandløbets skikkelse og beskrive vandføringsevnen retvisende, og på den anden side er det ressourcekrævende at opmåle profiler i et så stort vandløb, hvorfor der ikke skal opmåles flere profiler end nødvendigt.

Gudenåen mellem Silkeborg og Tange Sø blev senest målt op i 2011. Alle tværprofilerne fra 2011 er blevet målt igen i 2020, hvorved det ved direkte sammenligning er muligt at vurdere Gudenåens formstabilitet, det vil sige vurdere, hvor meget Gudenåens skikkelse (fysiske form) har ændret sig i tidsrummet mellem de to opmålinger.

På grundlag af hydrauliske analyser på grundlag af 2011-opmålingen, gennemgang af luftfotos og opmåling af vandspejl med en flyvende drone, blev der forud for opmålingen i 2020 udpeget steder til opmåling af supplerende tværprofiler.

Der er i tillæg til tværprofilerne gennemført opmåling af alle fem broer på strækningen og målt tværprofiler ca. 10 meter før og efter bygværket i de enkelte broer. Der er ligeledes gennemført indmåling af eksisterende skalapæle og måling af bundkote og rørdimensioner af tilløb.

Der er i 2020-opmålingen opmålt i alt 165 tværprofiler på strækningen mellem Ringvejsbroen i Silkeborg og Borre Å i den øvre ende af Tange Sø, svarende til en gennemsnitlig afstand mellem tværprofilerne på ca. 130 m. Ved opmålingen i 2011 var den gennemsnitlige afstand mellem tværprofilerne ca. 200 m.

Inden målearbejdets gennemførelse blev der udarbejdet et oversigtskort over placeringen af de tværprofiler, der skulle måles op. Placeringen af tværprofiler blev derudover overført til landmålerens felt-tablet. Positionen for de 2011-tværprofiler, der blev genopmålt, blev ikke genfundet med GPS i felten, men derimod visuelt lokaliseret ved brug af oversigtskortet. Dette indebærer, at der ikke i alle tilfælde er foretaget genopmåling i præcist samme tværprofiler. Usikkerheden ved denne fremgangsmåde er dog meget begrænset i et vandløb som Gudenåen og beskrives nærmere i Afsnit 3.1.

## **2.2 Tværprofilopmåling med GPS**

Der blev anvendt Leica differential-GPS-udstyr til opmålingen af Gudenå. På kortere strækninger medførte høj trævegetation langs Gudenåens bredder, at det ikke var muligt at modtage tilstrækkeligt nøjagtigt GPS-signal. På disse strækninger blev tværprofilerne i stedet opmålt ved anvendelse af Leica totalstation ud fra kendte fikspunkter.

Tværprofilopmålingen blev gennemført ved, at der blev spændt en stramt opspændt wire over vandløbet vinkelret på strømrretningen, og langs denne blev bundkoten målt for hver ca. 0,5 meter. Hvert tværprofil blev opmålt med nulpunkt i venstre side af vandløbet svarende til niveauet af Trækstien. På højre side blev der målt til 1-2 m ud over kronekanten/brinkkanten. Det er generelt ikke prioriteret at måle den brede ådal op, da det vil være for tidskrævende at opnå en nøjagtighed, der er større end den, der kan opnås ved at beskrive forlængelsen af opmålte tværprofiler ved brug af den digitale højdemodel.

Opmålingsdata er efterfølgende bearbejdet i programmet VASP-GPS og importeret i programmet VASP. Opmålingen er leveret til Silkeborg Kommune i VASP-format (vex-fil), hvilket betyder, at tværprofilerne og andre opmålte punkter alle er geokodede. Ved opmålingen havde vandløbet omtrent samme længde som angivet i det gældende regulativ, men stationeringen for broer, skalapæle og tilløb afviger en anelse fra regulativstationeringen. I den leverede opmåling er stationeringen tilpasset stationeringen i regulativet.

## **2.3 Tværprofilopmåling med dronebåd**

I forbindelse med opmålingen i 2020 blev to udvalgte strækninger af vandløbet samtidig opmålt med en M9-dronebåd, som ved hjælp af ekkolod scanner bunden. Denne opmålingsmetode giver brugbar information om bundens topografi og grødeforekomsterne. Ulempen ved denne metode i forhold til den traditionelle GPS-opmåling er, at der kræves en subjektiv tolkning af måledata. Specielt er der store udfordringer forbundet med vurderingerne af, hvad der er grøde og hvad der er fast/løs bund. Da de fleste danske vandløb, Gudenåen inklusive, er grøderige, er teknologien endnu langt fra at kunne erstatte den traditionelle GPS-opmåling. Den kan dog supplere en samtidig traditionel opmåling med information i forhold til grødens udbredelse og højde.

De to strækninger, hvor der er foretaget opmåling med M9-dronebåd, er Svostrup – Tvilum (St. 8.700 – 10.800) og Nebelgårde – Alling Å (St. 13.500 – 16.800). Opmålingerne er foretaget i de

tværprofiler, hvor der også er foretaget traditionel GPS-opmåling. Droneopmålingen af tværprofiler på de to strækninger er sammenlignet med de GPS-opmålte tværprofiler.

#### **2.4 Opmåling af vandspejl**

For at sikre, at den resulterende opmåling er fyldestgørende i henseende til en retvisende beskrivelse af vandløbets vandføringsevne, blev vandspejlet nivelleret i hvert tværprofil, så det målte vandspejl efterfølgende kan sammenholdes med det vandspejl, som kan beregnes på grundlag af de opmålte tværprofiler. Afvigelser kan betyde, at fysiske forhold af betydning for vandføringsevnen ikke er blevet opmålt tilstrækkelig detaljeret, det være sig ved f.eks. broer, stryg eller profilindsnævninger.

Opmålingen af Gudenåen mellem Silkeborg og Tange Sø er foregået i løbet af 1,5 måned, hvorfor åens vandstand og vandføring har varieret i løbet af opmålingen. Derfor kan det vandspejl, som nivelleres i forbindelse med opmålingen af tværprofiler, ikke danne grundlag for en traditionel kontrol og kvalitetssikring af, om opmålingen er fyldestgørende.

Både som grundlag for planlægning af opmålingen og som grundlag for den efterfølgende kvalitetssikring af opmålingen mht. antal og placering af tværprofilerne, blev der d. 7. maj 2020 i samarbejde med DTU og firmaet Dronesystems gennemført en kortlægning af vandspejlet på strækningen fra Silkeborg Langsø til Tange Sø under anvendelse af en helt ny radarteknologi fra en flyvende drone. En sådan drone-opmåling kan gennemføres i løbet af så kort tid, at vandføringen kan antages at være konstant, hvorfor knæk på vandspejlet kan relateres til fysiske eller andre forhold i vandløbet. En sådan kortlægning af vandspejlet kan dermed give en indikation af, hvor tværprofiler bør placeres for at kunne beskrive de forhold, der afføder knæk på vandspejlet.



### 3. Resultater af opmålingen

#### 3.1 Tværprofilopmåling med GPS

Med henblik på at belyse, hvorvidt der er sket en udvikling af vandløbsprofilen, er der foretaget en sammenligning af den nye opmåling i 2020 med 2011-opmålingen.

I Bilag 1 ses et samplot af tværprofilerne fra 2020-opmålingen og 2011-opmålingen. Vandspejlet på tværprofilerne er fra 2020-opmålingen og er gældende for opmålingsdagen. Vandspejlet er kun indtegnet mellem de afsatte kantmærker i vandløbsprofilen.

I Tabel 1 er oplistet en række forskelle, som er blevet konstateret ved gennemgangen af tværprofilerne. Nogle af forskellene gør sig også gældende i andre tværprofiler end de nævnte, men disse er udvalgt som repræsentative i forhold til at kunne forklare årsagerne.

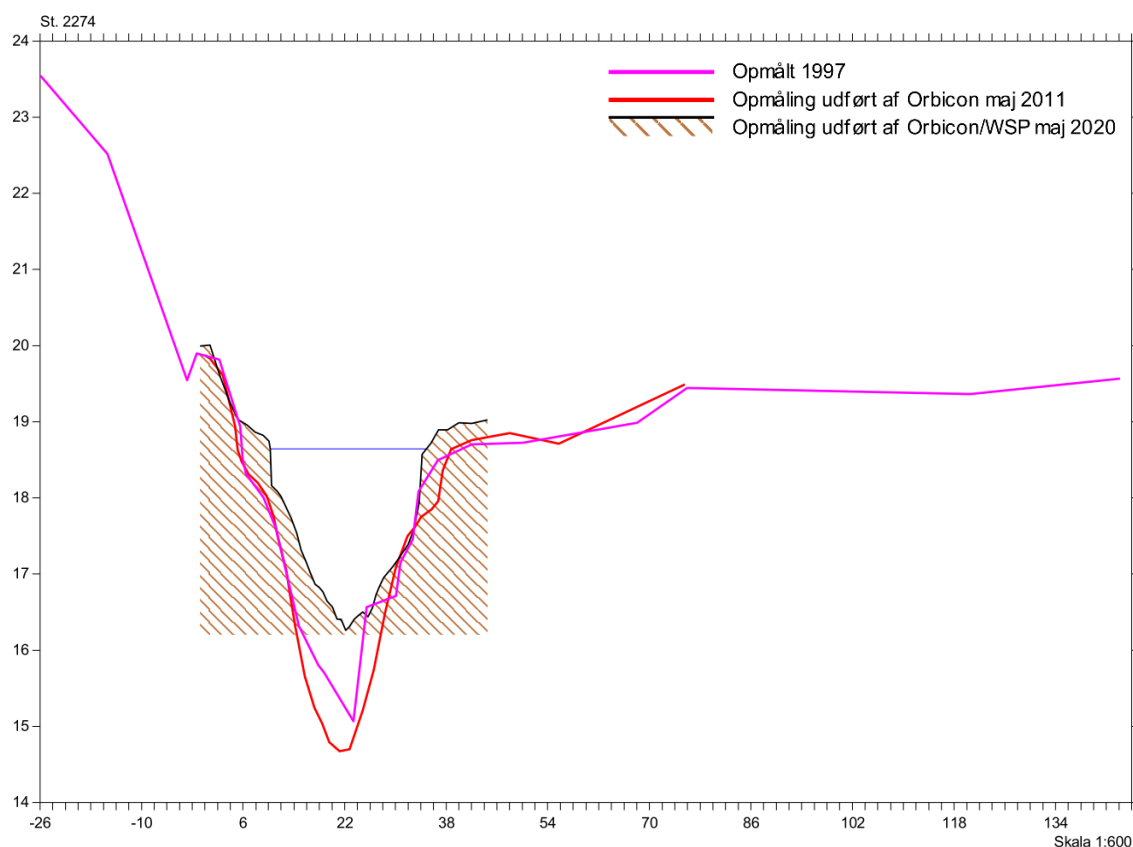
Tabel 1. Konstaterede forskelle mellem opmåling 2020 og 2011.

Tværprofil	Forhold
St. 2.274	Mulig aflejring af sediment siden 2011
St. 2.743	Mulig brinkfod i venstre side
St. 5.749	Terrænmæssig forhøjning i højre side
St. 6.019	Terrænmæssig forhøjning i højre side
St. 6.453	Afvigelser i profiludformning
St. 6.622	Afvigelser i profiludformning
St. 14.681	Ændringer på vandløbs bund

De observerede forskelle blev for norges vedkommende undersøgt i forbindelse med kontrollen af grødeskæringen d. 24. juni 2020. Nedenfor forklares de observerede forskelle mellem opmålingen i 2020 og 2011. I Afsnit 4.1. redegøres for de vandføringsevnmæssige konsekvenser af de observerede forskelle.

#### St. 2.274

Tværprofilen i St. 2.274 m var i 2011 næsten 1,5 m dybere end i 2020, hvilket er en væsentlig forskel. Ved sammenligning med regulativopmålingen af Gudenåen i 1997, se Figur 1, viser det sig, at profilen i 1997 var i niveau med profilen i 2011. Det er således ikke usandsynligt, at forskellen mellem 2011 og 2020 kan skyldes aflejring af sediment i profilen.



Figur 1. Sammenligning af tværprofil i St. 2.274 m i år opmåling 2020, 2011 og 1997.

### St. 2.743

Der er en brinkfod i venstre side i 2020-opmålingen, der ikke blev observeret i 2011. Der er på strækningen omkring denne station meget tætte og veludviklede bevoksninger af tagrør. Disse har med de senere års forhøjede vandstande i åen fået forbedrede vækstbetingelser, og det er efter visuel undersøgelse af tværprofilet vurderingen, at den konstaterede ændring kan skyldes dannelse af en meget kompakt "rodage". På grund af den kompakte struktur er det vanskeligt/umuligt at pejle den underliggende mineralske vandløbsbund. Dertil kommer, at fronten af "rodagen" er meget ujævn, hvorfor der ikke skal megen afvigelse mellem placeringen af de to profiler til, for at der registreres en forskel i profilformen.

### St. 5.749 og 6.019

De senere års forhøjede vandstand i åen har bevirket en markant ændring af vækstbetingelserne for sumpvegetationen langs åens bredder. Hvor den tidligere var begrænset til en bræmme i profilet, vokser den nu mange steder langt ind på de vandløbsnære arealer. Foruden tagrør består denne sumpvegetation også af arter af dunhammer samt sø-kogleaks m.fl., og de danner alle, i lighed med tagrør, en tyk og kompakt "rodage", dels i og dels oven på den faste, mineralske jordbund. Hertil kommer, at disse højere og kraftige sumplanter hvert år aflejrer betydelige mængder døde plantedele i bunden af bevoksningerne. På grund af den kompakte struktur er det vanskeligt/umuligt at pejle den underliggende mineralske bund, hvorfor oversiden af "rodagen" og dens aflejringer af dødt plantemateriale registreres som terrænets overflade i sådanne bevoksninger. Fænomenet er vidt udbredt langs åen, men er særlig udtalt, hvor de ånære arealer ligger lavt i

forhold til åens vandspejl, og hvor der derfor er de bedste muligheder for udvikling af højt voksende sumpvegetation på de ånære arealer.

Det kan for fuldstændighedens skyld nævnes, at denne af sumpvegetationen skabte terrænhævning er en naturlig respons på våde forhold, og den vil med tiden forårsage fortsatte hævnings, indtil der opstår en balance i forhold til de ændrede vandstandsforhold. Det skal også nævnes, at når vandstanden i sådanne organiske lag sænkes, så sker der sætninger som følge af mikrobiologisk omsætning af lagene, det vil sige sænkninger af terrænoverfladen.

#### **St. 6.453 og 6.622**

Ved eftersynet er der ikke fundet nogen forklaring på, hvorfor profilerne afviger fra hinanden på disse stationer. For alle observerede forskelle i tværprofiler gør det sig dog gældende, at de kan være resultater af, at tværprofilerne ikke er opmålt i eksakt samme position. Dette kan særligt give forskelle på strækninger, hvor vandløbet ændrer form, f.eks. ved indsnævring og før og efter et høl (dybt parti i sving). Selvom Gudenåen på strækningen fra Silkeborg til Tange Sø overordnet set har vist sig at være meget formstabil over tid, så er den også meget formvariabel, både på langs og på tværs. Det betyder, at selv to tætliggende tværprofiler vil kunne udvise forskelle, som, med det foreliggende kendskab til åen, blot må karakteriseres som naturlige.

#### **St. 14.681**

I forbindelse med kontrollen af grødeskæringen den 24. juni blev der foretaget en grundig undersøgelse af de mulige årsager til de konstaterede forskelle i dette tværprofil. Der er på strækningen omkring tværprofilet konstateret forekomst af mellemstore sten på bunden, og det er vurderingen, at disse kan være årsagen til forskellene, idet der ikke har kunnet konstateres andre forhold, der kan forklare disse. Forekomsten af sten indikerer ligeledes, at det ikke er sandsynligt, at der vil aflejres sand på denne strækning.

### **3.2 Tværprofilopmåling med dronebåd**

På strækningerne Svostrup – Tvilum (d. 15. april 2020) og Nebelgårde – Alling Å (d. 5. maj 2020) blev der foretaget supplerende opmåling af tværprofiler med ekkolod (M9-dronebåd). Strækningerne var udvalgt ud fra tidligere konstateringer af, at grøden her er særlig veludviklet og tæt voksende.

I Bilag 2 og 3 er vist samplot af GPS-opmålte tværprofiler og M9-opmålte tværprofiler på de to strækninger. Der er både vist rådata og udtydende data fra M9-dronebåden for at illustrere den effekt, grøden har på opmålingsresultatet.

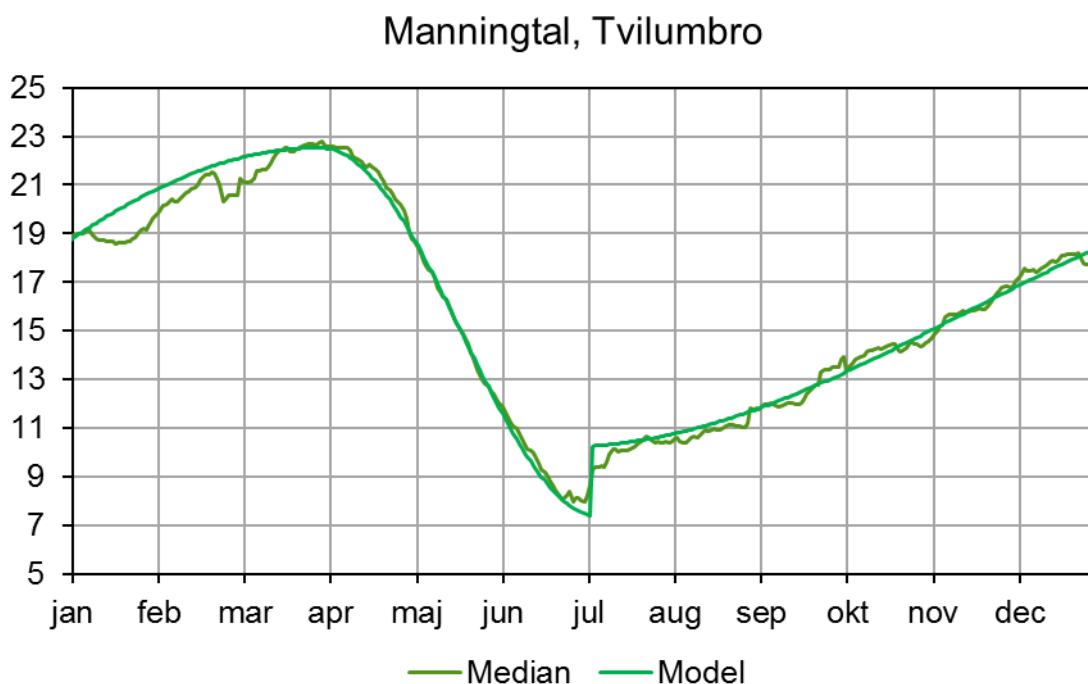
Droneopmålingerne bekræfter med stor tydelighed, at der er meget grøde i Gudenåen på netop disse to strækninger, særlig mellem Nebelgårde og Alling Å. Det forhold, at der er registreret mere grøde på denne strækning end på strækningen Svostrup – Tvilum, kan dog også skyldes, at droneopmålingen mellem Nebelgårde og Alling Å blev foretaget 20 dage senere end mellem Svostrup og Tvilum, idet der i den mellemliggende periode må formodes at være sket en markant stigning i grødens vækst. Ved kontrollen af grødeskæringen den 24. juni var der ingen synlige forskelle i grødens udvikling mellem de to strækninger, og der er derfor ingen grund til at antage, at der er grundlæggende forskelle mellem de to strækningers grødetilstand.

Resultaterne bekræfter, at det ikke med droneopmåling er muligt at skelne mellem den faste bund og overfladen af grøden. Droneopmåling kan derfor ikke erstatte traditionel opmåling for så vidt angår beskrivelse af det fysiske profil, men kan i modsætning til den traditionelle opmåling kortlægge den vertikale udbredelse af grøden. Til sammen kan de to opmålinger til gengæld give et mere detaljeret billede af forholdene i profilet, end de to typer opmålinger kan hver for sig.

### 3.3 Opmåling af vandspejl med drone

Det drone-opmålte vandspejl i Gudenå d. 7. maj 2020 er vist på længdeprofilet i Bilag 4. Afstrømningen i Gudenåen var denne dag relativt stabil på hele den opmålte strækning ( $11 \text{ l/s/km}^2$ ), hvilket muliggør direkte sammenligning af det opmålte vandspejl med det beregnede vandspejl. Vandspejlsberegningerne er udført på grundlag af de opmålte tværprofiler fra 2020 henholdsvis 2011. Der er anvendt et fast Manningtal på 17 på hele strækningen, svarende til medianværdien for de seneste 8 års Manningtal primo maj ved Tvilum, se Figur 2. De beregnede vandspejl fremgår ligeledes af Bilag 4. Forskellen mellem de to modelberegnete vandspejle er diskuteret i Afsnit 4.1.

Det fremgår af beregningerne, at der på særligt to strækninger er stor forskel mellem de beregnede vandspejle og det droneopmålte vandspejl d. 7. maj 2020. Det drejer sig om strækningerne St. 5.000 – 12.000 og St. 14.000 – 17.000, det vil sige også de to delstrækninger, hvor der er konstateret meget tæt og veludviklet grøde i forbindelse med M9-droneopmålingen. Forskellen mellem det beregnede vandspejl og det opmålte vandspejl er diskuteret i Afsnit 4.3.



Figur 2. Årsvariation for Manningtal (median og model) for Gudenåen ved Tvilum. Grødeskæringen ligger primo juli.

## 4. Betydning af profilændringer og grødevækst

### 4.1 Ændring af vandføringsevnen fra 2011 til 2020

De konstaterede profilændringer på strækningen, se Afsnit 3.1, betyder en mindre beregnet vandføringsevne, udtrykt som en lidt højere vandstand i 2020 end i 2011 ved samme vandføring. Ved hjælp af sammenlignende vandspejlsberegninger er det muligt at beregne ændring i vandføringssevne fra 2011 til 2020 som følge af profilændringer.

Ved de sammenlignende vandspejlsberegninger anvendes en afstrømning på 11 l/s/km<sup>2</sup> og et Manningtal på 17, der omtrentligt giver et vandspejl svarende til brinkfyldt vandløbsprofil. Indledningsvis er der foretaget en frasortering af de tværprofiler fra 2020-opmålingen, der ikke blev opmålt i 2011, så sammenligningen foretages på samme grundlag. Det vil således ikke være retvisende at benytte alle tværprofiler fra 2020-opmålingen til at vurdere ændring i vandføringsevne fra 2011 til 2020, da det ikke vides, hvordan de nye tværprofiler i 2020 så ud i 2011.

Resultatet af de sammenlignende vandspejlsberegninger er vist i Bilag 5. Det grønne differenceplot angiver ændringen af vandføringsevnen som følge af de profilmæssige ændringer fra 2011 til 2020, angivet som cm forhøjet vandstand. Det fremgår heraf, at forskellen er maksimalt 7 cm mellem St. 14.000 og St. 15.000. Netop på denne strækning blev der jf. Afsnit 3.1 konstateret bundhævning i perioden fra 2011 til 2020, som ved visuel gennemgang dog ikke vurderes at skyldes aflejring af sand.

Effekten af at supplere med ekstra tværprofiler i 2020-opmålingen i forhold til 2011-opmålingen er vist med blå differenceplot i Bilag 5. De supplerende tværprofiler bidrager til en mere fyldestgørende og retvisende fysisk beskrivelse af Gudenåen på strækningen. På flere strækninger viser vandspejlsberegninger under anvendelse af de supplerende tværprofiler op til 10 cm højere vandstand, sammenlignet med beregninger på grundlag alene af de i 2020 genopmålte profiler fra 2011-opmålingen.

Som det fremgår af det blå differenceplot i Bilag 5, er effekten af de supplerende tværprofiler på det beregnede vandspejl generelt lille, om end varierende fra -5 cm til + 10 cm. De supplerende profiler giver således nogle steder en lavere beregnet vandstand, mens de andre steder giver en højere vandstand. Selvom de supplerende profiler således har givet et mere detaljeret billede af vandstandsforholdene, er der tale om små ændringer, set i forhold til den forhøjelse af vandstanden, der er registreret i de senere år. Opmåling af de supplerende profiler i 2020 kan dermed ikke bekræfte antagelser om, at profilændringer (indsnævninger og bundhævninger) har betydende andel i de forhøjede vandstande, der er registreret i de senere år.

### 4.2 Ændringer i bundniveau 1922-2020

Den seneste opmåling af Gudenåen blev, som tidligere nævnt, udført i 2011. Derudover blev Gudenåen opmålt i 1997 i forbindelse med udarbejdelsen af det gældende regulativ fra 2000. Der blev foretaget opmåling af bygværker og tilløb i både 2011 og 1997.

Desuden foreligger der en opmåling fra 1922 af strækningen fra St. 0 til St. 18.300 (opstrøms Kongensbro). Tværprofiler er i denne opmåling opmålt med en tæthed på ca. 100 – 300 m, men der er ikke opmålt bygværker eller tilløb.

Der er udtegnet et længdeprofil med samplot af det dybeste punkt i tværprofilerne for den nye opmåling fra 2020 og opmålingerne fra henholdsvis 1997 og 1922, se Bilag 6.

Det fremgår af længdeprofilet, at Gudenåens bundniveau overordnet set er meget stabilt. Umiddelbart nedstrøms Ringvejsbroen, ca. St. 1.000 – 3.000, ser det dog ud til, at der er sket en bundhævning fra 1997 til 2020. Bunden i 1922 lå dog i samme niveau som i 2020.

#### 4.3 Grødens betydning for vandstanden

Ved sammenligning af opmålt vandspejl med beregnet vandspejl ved et fast Manningtal på 17, jf. Afsnit 3.3, kan det anskueliggøres, hvordan ruheden i forhold til vandets frie løb varierer. Hvis ruheden var den samme på hele strækningen, ville der være en konstant forskel mellem det opmålte og det med Manningtal 17 beregnede vandspejl. Hvis forskellen varierer, er det udtryk for, at den varierende ruhed på strækningen altovervejende skyldes grøde og ikke indsnævring eller bundhævninger i profilet. For at illustrere dette er der udført to beregninger:

##### *Eftervisning af grødens effekt på vandstand:*

På strækningen Nebelgårde – Alling Å er de GPS-opmålte tværprofiler i opmålingen fra 2020 udskiftet med de droneopmålte tværprofiler, hvori gennemstrømningsarealet er reduceret pga. stor grødevækst. Der er efterfølgende udført en vandspejlsberegning med det modificerede længdeprofil ved en afstrømning på 11 l/s/km<sup>2</sup> og et Manningtal på 17 svarende til en antagelse om, at der ikke strømmer vand gennem grøden. De indlagte tværprofiler med grøde kan med stor nøjagtighed forklare den forhøjede vandstand på strækningen, se længdeprofil med beregnet og målt vandspejl på Bilag 7. Det vil sige, at denne tætte grøde på strækningen har en effekt på vandføringsevnen, der er større end hvad der svarer til Manningtal 17. Eller sagt på en anden måde, så skulle der ved vandspejlsberegningerne på grundlag af opmålingen i 2020 anvendes et mindre Manningtal end 17, for på denne strækning at nå op på det faktisk målte vandspejl. Dermed er det vist, at den altovervejende årsag til, at der i 2020 er forhøjede vandstande i åen, på nogle strækninger tilmed mere forhøjede vandstande end på andre, er den mere veludviklede og tæt voksende grøde. Disse beregninger bekræfter dermed rigtigheden af de observationer af stedvis særlig veludviklet grøde, som er gjort ved flere lejligheder, og de antagelser om særlig veludviklet, overvintrende grøde, der er gjort om årsagen til stedvise overskridelser af regulativets kravkoter.

##### *Analyse af mulig effekt af indsnævring og bundhævning:*

Det har været påpeget, at profilet nedstrøms Svostrup Bro er indsnævret i en grad, så det må formodes at forringe vandføringsevnen og bevirke forhøjet vandstand.

Til belysning af dette mulige problem er der i opmålingen fra 2020, nedstrøms Svostrup, indlagt en fiktiv og meget markant indsnævring og bundhævning på en 500 m lang strækning, se tværprofiler i Bilag 8. Der er efterfølgende udført en vandspejlsberegning med det således modificerede profil ved benyttelse af en afstrømning på 11 l/s/km<sup>2</sup> og et Manningtal på 17.

Den indlagte indsnævring og bundhævning kan isoleret set forklare den forhøjede vandstand ved Svostrup Kro, se længdeprofil med beregnet og målt vandspejl på Bilag 9. Det er imidlertid ikke muligt at overse en indsnævring af denne størrelse i forbindelse med opmålingsarbejdet. Indsnævring og bundhævning kan derfor udelukkes som årsag til den forhøjede vandstand ved Svostrup Kro, mens denne, i overensstemmelse med gentagne konstateringer af meget stor tæthed af grøde på strækningen, må tilskrives grøden og dermed lave Manningtal på strækningen.

## 5. Konklusion

Sammenligning af 2020-opmålingen med 2011-opmålingen viser en meget høj grad af overensstemmelse, hvilket ses som en bekræftelse af opfattelsen af Gudenåen som et meget formstabilt vandløb.

Dermed udelukker 2020-opmålingen ved direkte sammenligning med 2011-opmålingen profilforandringer og aflejringer som de primære årsager til de forhøjede vandstande, der har kunnet registreres i de senere år.

Sammenlignende vandspejlsberegninger på grundlag af de to opmålinger bekræfter sammenligningen af de fysiske profiler ved de to opmålinger og viser, at kun en lille brøkdel af den forhøjede vandstand, der er registreret i de senere år, kan tilskrives profilforandringer i perioden 2011-2020. Betydende aflejringer og profilforandringer er ikke identificeret gennem opmålingen i 2020. På baggrund af opmålingen kan det derfor afvises, at der optræder aflejringer, der medfører overskridelser af regulativets kravkoter, som kan udløse oprensning efter regulativets bestemmelser på den opmålte strækning af Gudenåen.

Tilbage står grøden og grødeudviklingen som den primære og eneste betydende årsag til de forhøjede vandstande. Der er med dronebådsopmålinger tilvejebragt data, der viser forekomsten af grøde direkte, tilmed så tidligt i vækstperioden, at der for en stor dels vedkommende er tale om overvintrende grøde. De tilvejebragte data udpeger, når de lægges til grund for vandspejlsberegninger, grøden som den enkeltfaktor, der i langt højere grad end profilændringer er den primære årsag til de forhøjede vandstande, der har kunnet registreres i de senere år.

De beregninger og analyser, der har kunnet gennemføres på grundlag af opmålingerne i 2020 og 2011, viser og dokumenterer dermed samlet set, at grøden er den helt afgørende årsag til de forhøjede vandstande på strækningen fra Silkeborg til Tange Sø. Beregningerne bekræfter dermed de observationer af grøden som værende meget tæt og veludviklet, der er gjort både i vækstperioden og i vinterperioden.