

Noise audit: analyse van ruis in waterstandsverwachtingen voor de Nederlandse kust



Noise audit: analyse van ruis in waterstandsverwachtingen voor de Nederlandse kust

Auteur(s)

Jan Verkade

Lieke Meijer

Noise audit: analyse van ruis in waterstandsverwachtingen voor de Nederlandse kust

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Dr Annette Zijderveld
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Noise audit WMCN-Kust Stormopzetverwachtingen Ruis

Documentgegevens

Versie	1.2
Datum	07-12-2023
Projectnummer	11209195-014
Document ID	11209195-014-ZKS-0001
Pagina's	20
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Jan Verkade	
	Lieke Meijer	

Samenvatting

Er zijn veel situaties waarin de oordelen van *professionals* van elkaar verschillen. Als dat ongewenst is, spreken we van *ruis* (in het Engels: *noise*): variabiliteit waar die ongewenst is.

Met een *noise audit* wordt de omvang van *ruis* vastgesteld. Bij WMCN-Kust worden met enige regelmaat waterstandsverwachtingen gemaakt voor locaties langs de Nederlandse kust. In het maken van die verwachtingen speelt het oordeel van de getijhydrologen een belangrijke rol. Er is dan ook het vermoeden dat deze waterstandsverwachtingen onderhevig zijn aan ruis. Om die reden is besloten, een *noise audit* uit te voeren.

Voorliggend document beschrijft het doel, de opzet en de resultaten van de *noise audit* die is uitgevoerd bij en voor de crisisadviesgroep WMCN-Kust

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- de totale 'fout' in subjectieve verwachtingen kan worden toegeschreven aan *bias* en aan ruis; beide bijdragen zijn significant;
- in een aantal gevallen was de reductie van *bias*, door de mens, groter dan de ruis die daarmee werd geïntroduceerd;
- gemiddeld over alle 25 casussen heeft de *human forecaster* de *bias* in de modelvoorspellingen gereduceerd, doch de daarmee geïntroduceerde ruis bleek groter dan die reductie in *bias*. Per saldo waren de modelvoorspellingen daarom beter dan de subjectieve verwachtingen.

Het loont daarom om ruis te reduceren. Dat kan middels beslisshygiëne: maatregelen die de oorzaken van ruis wegnemen danwel de effecten daarvan reduceren. De invulling daarvan valt buiten de reikwijdte van voorliggend onderzoek.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Onderzoeksopzet	3
1.2	<i>Mean squared error</i>	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Data	5
3	Ruis (<i>noise</i>) en <i>bias</i>	6
3.1	Ruis (<i>noise</i>)	6
3.2	<i>Bias</i>	7
3.3	Ruis versus <i>bias</i>	8
4	Mens versus model	12
5	Conclusies en aanbevelingen	14
5.1	Nota bene	14
5.2	Aanvullend onderzoek	14
	Appendices	15
A	Inlezen van data	15
A.1	Verwachtingen	15
A.1.1	Ruwe data	15
A.1.2	Samenvatting	17
A.2	Modelverwachtingen	18
A.3	Waarnemingen	18
B	Gebruikte literatuur	20

1 Inleiding

Uit de literatuur (Kahneman, Sibony, en Sunstein 2021) weten we dat er veel situaties zijn waarin de oordelen van *professionals* onderling van elkaar verschillen. Als dat ongewenst is, spreken we van *ruis* (in het Engels: *noise*): variabiliteit waar die ongewenst is.

Met een *noise audit* wordt de omvang van *ruis* vastgesteld. Bij WMCN-Kust worden met enige regelmaat waterstandsverwachtingen gemaakt voor locaties langs de Nederlandse kust. In het maken van die verwachtingen speelt het oordeel van de getijhydrologen een belangrijke rol. Er is dan ook het vermoeden dat deze waterstandsverwachtingen onderhevig zijn aan ruis. Om die reden is besloten, een *noise audit* uit te voeren.

Voorliggend document beschrijft het doel, de opzet en de resultaten van de *noise audit* die is uitgevoerd bij en voor de crisisadviesgroep WMCN-Kust.

De leden van WMCN-Kust maken een waterstandsverwachting op basis van:

- een *modelvoorspelling*: een waterstandsverwachting die gebaseerd is op een weersverwachting en een wiskundig model van de Noordzee;
- duiding van de meteoroloog van het KNMI; en
- hun ervaring en expertise - bijvoorbeeld over bekende modelafwijkingen.

De gedachte daarachter is dat ervaring en expertise de *bias* in de modelvoorspellingen moet verminderen. De door de WMCN-Kust-leden gemaakte verwachting is echter een (enigszins) *subjectieve* verwachting die voor elk van de leden kan verschillen. Daarmee wordt *ruis* geïntroduceerd. Die ruis moet kleiner zijn dan de bias (in de modelvoorspelling) die wordt gereduceerd, zodat de inzet van de mens per saldo leidt tot een betere (eind-)verwachting¹.

1.1 Onderzoeksopzet

In de voorliggende *noise audit* is door 13 getijhydrologen van WMCN-Kust een waterstandsverwachting gemaakt. Zij hebben daarvoor een identieke set informatie ontvangen over vijf aankomende stormen. Deze stormen betroffen stormvloedsituaties uit het verleden. Deze waren geanonimiseerd en werden in willekeurige volgorde aangeboden. De stormen betroffen zowel zware stormvloed als mildere condities; in alle gevallen echter werden wel waarschuwningsniveaus bereikt. De verwachtingen zijn ingevuld in een Excelblad. Die Excelbladen zijn middels een script ingelezen in R, alwaar de data is geanalyseerd.

¹In de praktijk wordt de eindverwachting niet vastgesteld door één individu maar wordt afgestemd met experts van WMCN-Kust, het KNMI en het Hydro-Meteocentrum.

In de analyse wordt veelvuldig gebruik gemaakt van de foutmaat *Mean squared error*. Daarmee is zowel ruis als *bias* te meten.

1.2 *Mean squared error*

De ‘foutmaat’ die in voorliggend rapport gebruikt wordt, is *mean squared error*: de gemiddelde gekwadrateerde fout.

$$\text{MSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2$$

waarbij N het aantal verwachtingen, F_i de *verwachte* waterstand en O_i de bijbehorende, *daadwerkelijk opgetreden* waterstand (de waarneming) is. De eenheid van MSE is cm^2 : hoe kleiner MSE, hoe kleiner de fout, hoe beter.

1.3 Leeswijzer

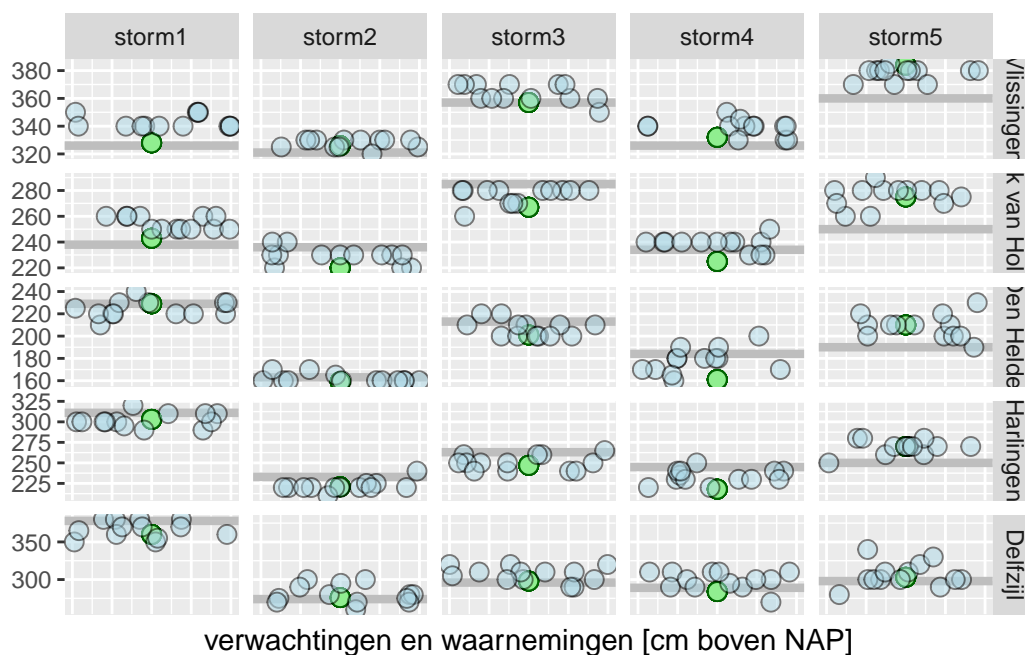
In Hoofdstuk 2 wordt de gebruikte data gevisualiseerd. In Hoofdstuk 3 worden ruis en *bias* gekwantificeerd en met elkaar vergeleken. In Hoofdstuk 4 wordt de kwaliteit van de door de mens gemaakte verwachtingen afgezet tegen die van de modelvoorspellingen. Hoofdstuk 5 bevat enkele conclusies en aanbevelingen.

2 Data

Figuur 2.1 bevat de data die in dit onderzoek gebruikt is om ruis en *bias* te berekenen:

- de lichtblauwe punten zijn de subjectieve verwachtingen die door de deelnemers zijn gemaakt;
- de lichtgroene punten zijn de modelverwachtingen; en
- de horizontale lijnen zijn de daadwerkelijk opgetreden waterstanden.

Nota bene: de horizontale assen in Figuur 2.1 zijn betekenisloos. Horizontale variatie dient alleen om alle punten zichtbaar te maken: zonder die variatie zouden sommige punten verstopt zijn achter andere punten.



Figuur 2.1: Verwachtingen en waarnemingen.

Nota bene: binnen WMCN-Kust geldt een procesafspraken die stelt dat waterstandsverwachtingen boven het formele waarschuwniveau (code geel) altijd worden afgerond op 10cm. De grafiek laat dat ook zien: de (meeste) verwachtingen van de deelnemers voor hogere stormvloed zijn afgeronde waarden.

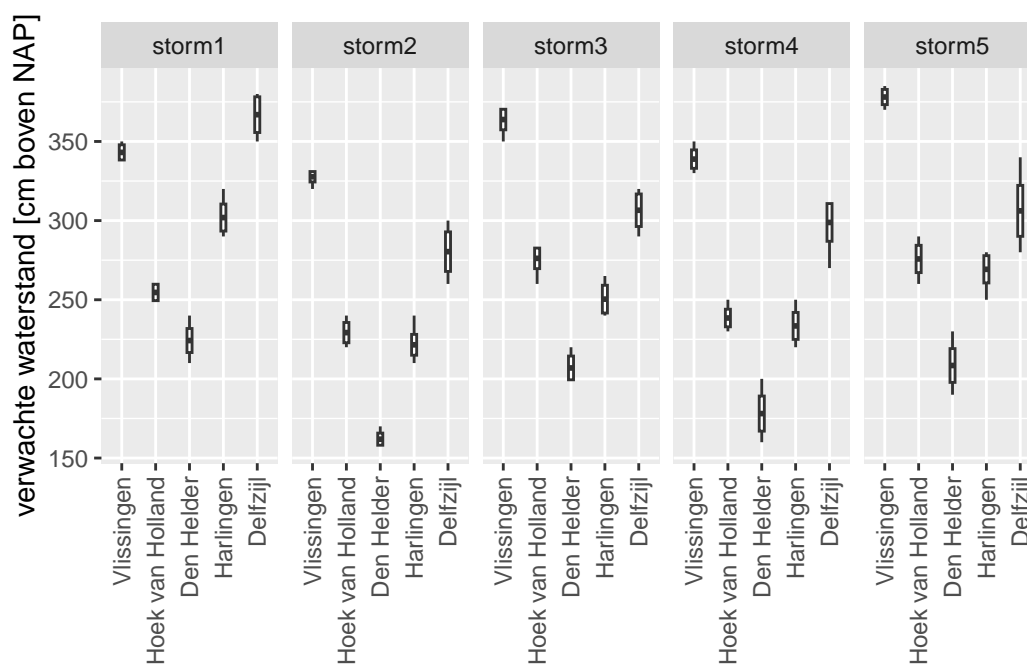
3 Ruis (*noise*) en *bias*

In dit hoofdstuk worden ruis en *bias* berekend en tegen elkaar afgezet.

3.1 Ruis (*noise*)

Ruis is variatie die ongewenst is. In het voorliggende hoofdstuk wordt de omvang van de variatie gerapporteerd: eerst grafisch, dan numeriek.

De variatie in de subjectieve verwachtingen is al zichtbaar gemaakt in Figuur 2.1. In Figuur 3.1 wordt de data in *box and whisker*-diagram gevisualiseerd, met daarin het “bereik” (het verschil tussen minimum en maximum waarde), de standaarddeviatie (gecentreerd op het gemiddelde) en het gemiddelde van de verwachtingen.



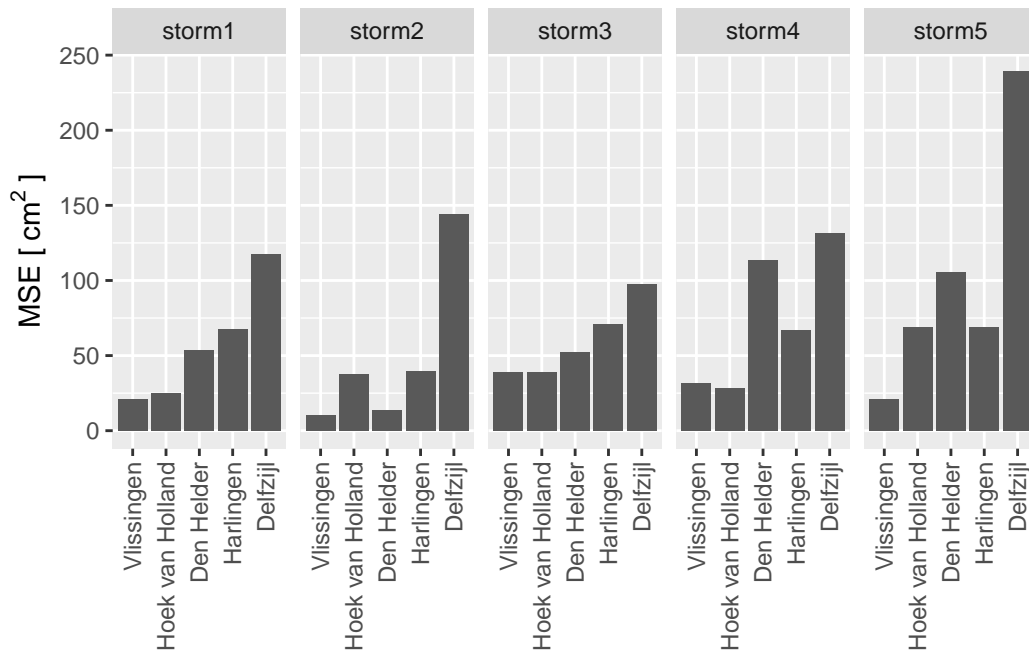
Figuur 3.1: Box-and-whiskers van subjectieve verwachtingen

De bijdrage van ruis aan MSE wordt berekend door aan te nemen dat de waarneming gelijk is aan het gemiddelde van alle subjectieve verwachtingen. Effectief elimineren we dan *bias*.

De bijdrage van ruis aan MSE wordt eerst numeriek (Tabel 3.1) en dan grafisch (Figuur 3.2) getoond.

Tabel 3.1: MSE [cm^2] als gevolg van ruis

locatie	storm1	storm2	storm3	storm4	storm5
Vlissingen	21.3	10.1	39.1	31.4	21.3
Hoek van Holland	24.9	37.9	39.1	28.4	68.6
Den Helder	53.3	13.6	52.1	113.6	105.3
Harlingen	67.5	39.9	71.0	66.9	68.6
Delfzijl	117.5	144.1	97.6	131.4	239.1



Figuur 3.2: MSE als gevolg van ruis

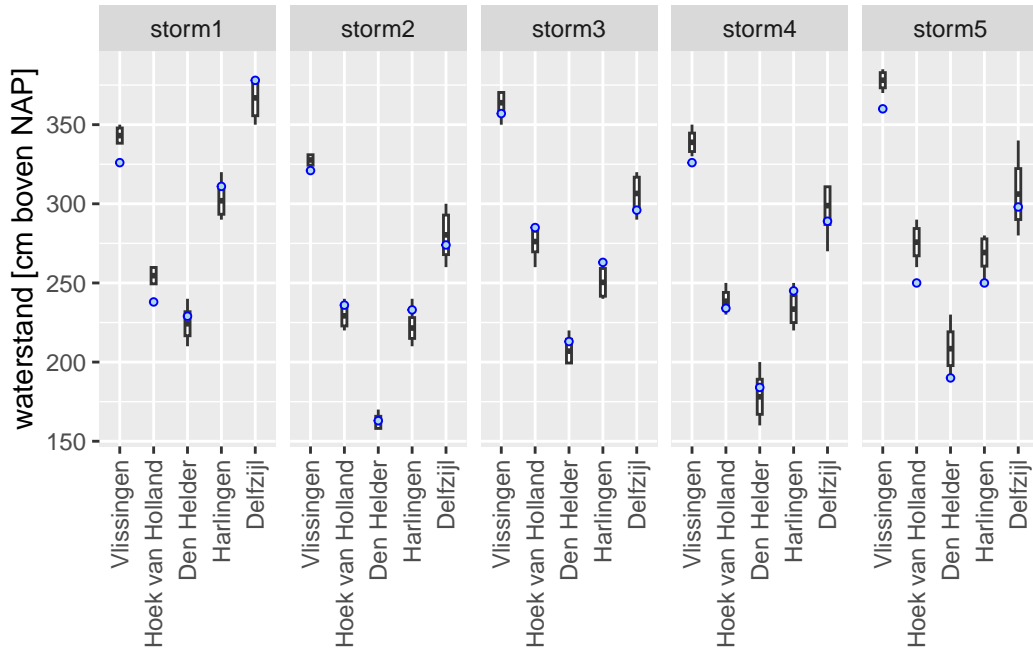
3.2 Bias

Bias is een maat voor het verschil tussen de verwachtingen en de waarnemingen:

$$\text{bias} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (3.1)$$

waarbij N het aantal verwachtingen, F_i de *verwachte* waterstand en O_i de bijbehorende, *daadwerkelijk opgetreden* waterstand (de waarneming) is. De eenheid van *bias* is cm. In de berekening van *bias* kan de ‘fout’ ($F_i - O_i$) zowel positief als negatief zijn. Positieve fouten kunnen daarom ‘wegmiddelen’ tegen negatieve fouten.

Figuur 3.3 is vergelijkbaar met Figuur 3.1 doch bevat ook de daadwerkelijk opgetreden waterstanden.



Figuur 3.3: Waarnemingen en *box-and-whiskers* van subjectieve verwachtingen

De bijdrage van *bias* aan MSE kan berekend worden door de ruis te elimineren: voor elke storm en elke locatie separaat worden de subjectieve verwachtingen vervangen door het gemiddelde daarvan (Figuur 3.4).

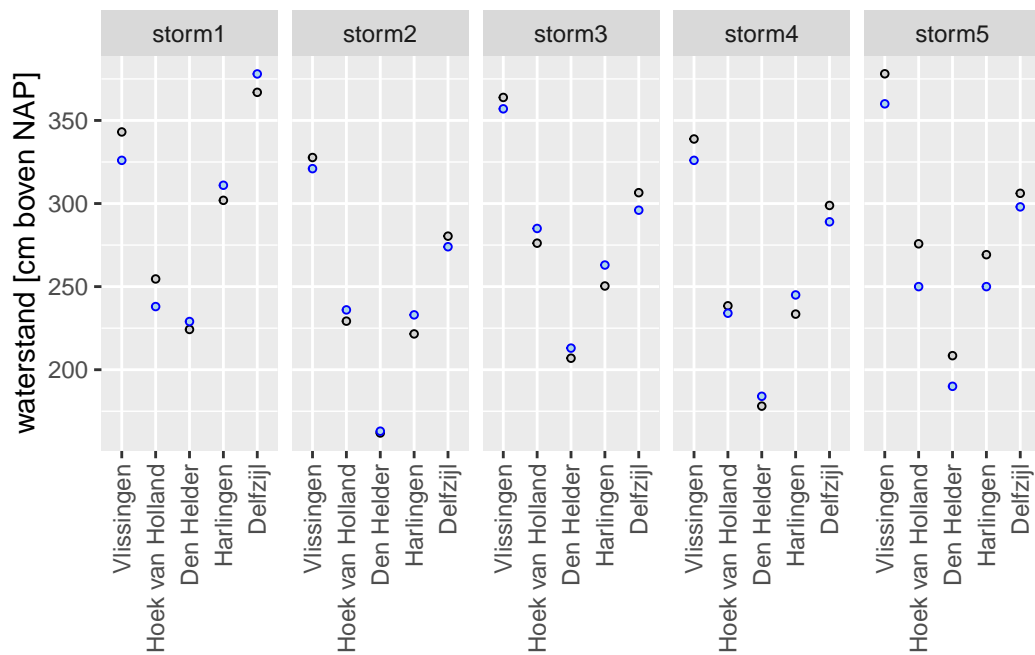
De op basis van de data uit Figuur 3.4 berekende MSE is opgenomen in Tabel 3.2 en Figuur 3.5.

Tabel 3.2: MSE [cm^2] als gevolg van *bias*

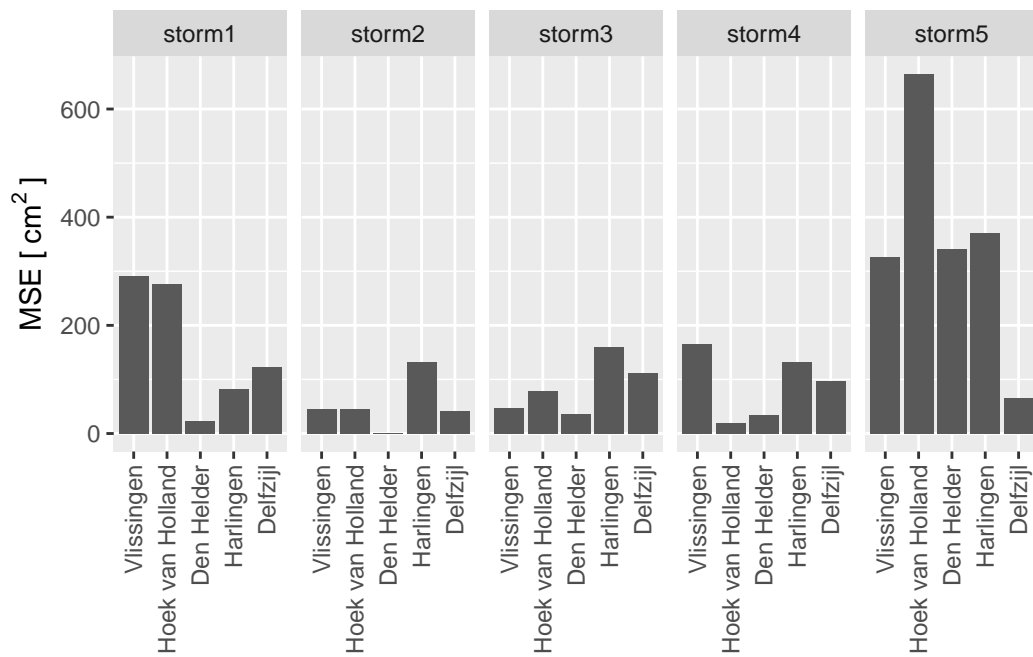
locatie	storm1	storm2	storm3	storm4	storm5
Vlissingen	291.6	44.8	46.9	165.0	326.8
Hoek van Holland	276.1	45.8	78.3	19.9	664.1
Den Helder	22.7	1.2	36.9	35.1	340.8
Harlingen	82.4	131.4	159.1	133.1	369.8
Delfzijl	122.7	40.8	111.1	96.9	66.5

3.3 Ruis versus *bias*

MSE wordt berekend voor drie gevallen:



Figuur 3.4: Waarnemingen (blauw) en van ruis ontdane subjectieve verwachtingen (zwart)



Figuur 3.5: MSE als gevolg van *bias*

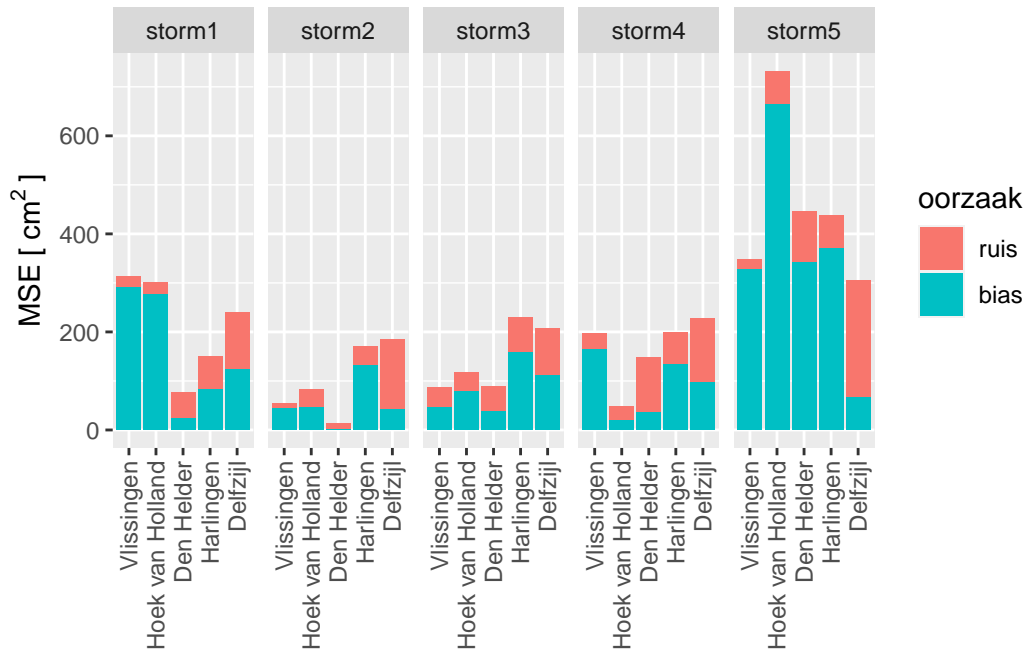
- alléén ruis: van elk van de verwachtingen wordt *bias* (Vergelijking 3.1) afgetrokken; de *bias* van deze gecorrigeerde verwachtingen is dan 0. Daarna wordt de MSE berekend op deze gecorrigeerde verwachtingen en hun corresponderende waarnemingen. MSE is dan enkel en alleen het gevolg van ruis.
- alléén *bias*: de verwachtingen worden ontdaan van ruis. MSE wordt berekend op de gemiddelde verwachting (gemiddeld over alle stormen en alle locaties) en de gemiddelde waarneming. MSE is dan enkel en alleen het gevolg van *bias*.
- totale MSE, voor onaangepaste subjectieve verwachtingen. Hier is MSE het gevolg van zowel ruis als *bias*.

Tabel 3.3: MSE als gevolg van ruis en *bias* in subjectieve verwachtingen

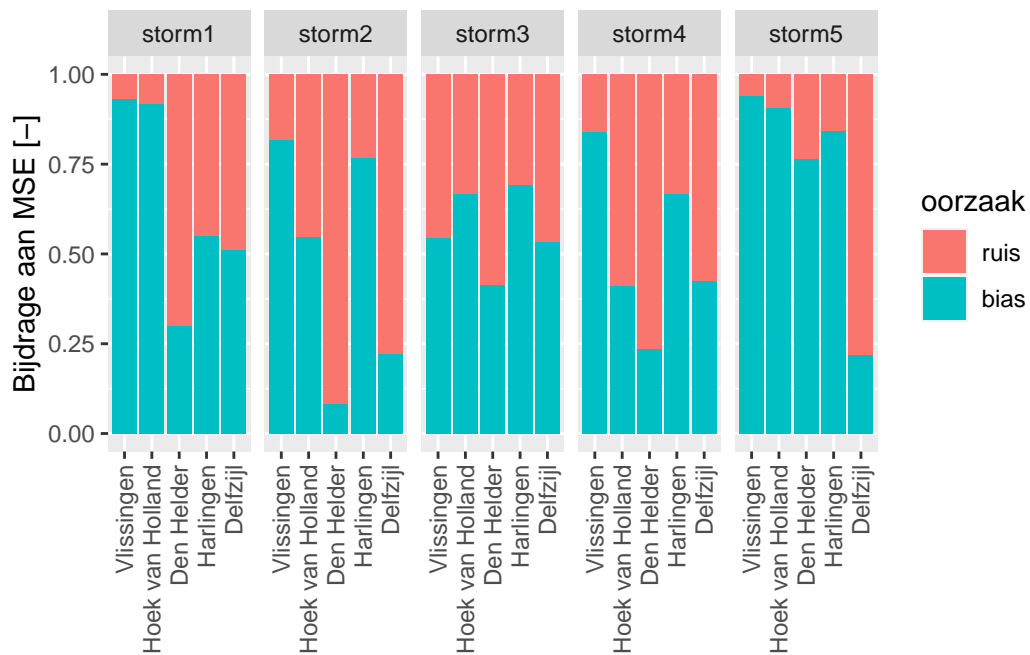
oorzaak	MSE
ruis	68.1
bias	148.4
totaal	216.5

Tabel 3.3 laat ook zien dat de totale fout, uitgedrukt in MSE, een **som** is van de fouten als gevolg van ruis respectievelijk *bias*.

Bovenstaande analyse wordt nog eens herhaald voor elke combinatie van storm en locatie. De resultaten worden in onderstaande tabel en figuren getoond. Figuur 3.6 toont de bijdragen van ruis en *bias* aan MSE in absolute waarden (dat is, in cm^2). Figuur 3.7 toont de relatieve bijdragen.



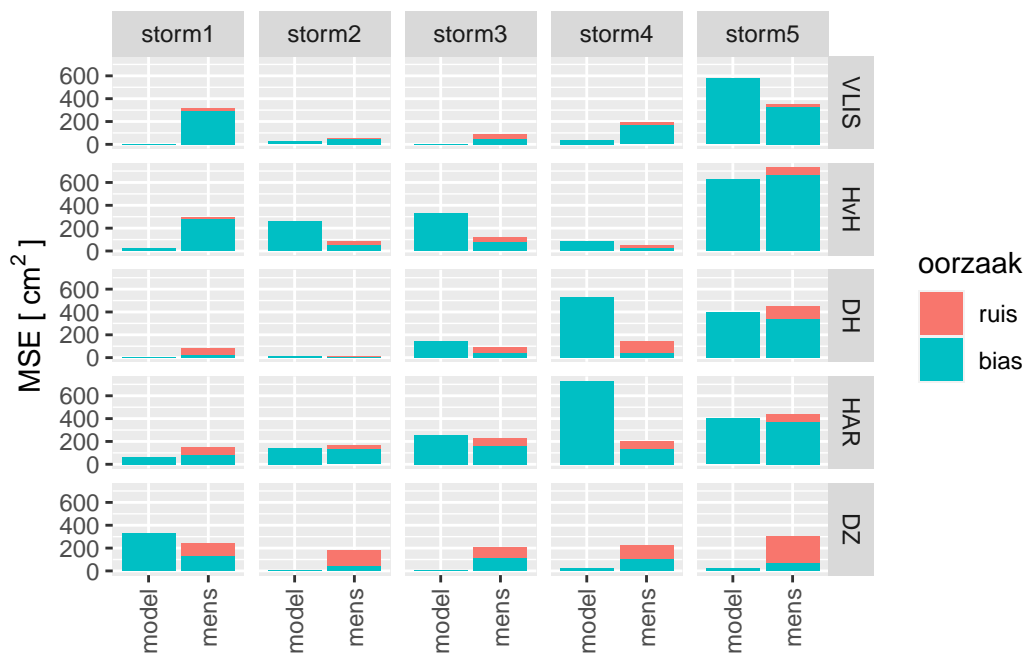
Figuur 3.6: MSE van subjectieve verwachtingen



Figuur 3.7: Relatieve bijdragen van ruis en *bias* aan MSE van subjectieve verwachtingen

4 Mens versus model

Figuur 4.1 toont de waarden van MSE voor de subjectieve verwachtingen en de modelvoorspellingen. De (totale) hoogte van de kolommen geeft de (totale) fout, uitgedrukt in MSE, weer. Bij modelvoorspellingen is die fout enkel en alleen het gevolg van *bias*; bij subjectieve verwachtingen is dat het gevolg van zowel *bias* als ruis.



Figuur 4.1: MSE van subjectieve verwachtingen en van modelvoorspellingen

Uit de figuur kan een aantal conclusies worden getrokken:

- In 13 (van 25) gevallen heeft de mens de *bias* van het model gereduceerd. De fout (MSE) van de modelvoorspelling is daar groter dan de fout als gevolg van *bias* van de mens.
 - Die reductie van *bias* introduceert ruis. In 10 van die gevallen bleef de totale MSE onder die van het model: de mens reduceert méér *bias* dan dat ze ruis introduceert.
 - In de andere 3 gevallen bleek de geïntroduceerde ruis groter dan de *bias* die werd gereduceerd.

- Per saldo was de subjectieve verwachting in 10 van de 25 gevallen beter dan de modelvoorspelling; in 15 gevallen bleek de modelvoorspelling beter dan die van de mens.

Als we alle stormen en locaties op één hoop gooien (Tabel 4.1), zien we dat de MSE als gevolg van *bias* in subjectieve verwachtingen kleiner is dan die van de modelvoorspellingen. Echter, de ruis maakt de totale MSE van de subjectieve verwachtingen groter dan die van de modelvoorspellingen. De *human forecasters* hebben *bias* gereduceerd doch de prijs die daarvoor betaald is (ruis) bleek groter dan die *bias*reductie. Per saldo komt het model er beter uit.

We merken wel op dat dit een experiment van beperkte omvang was; we moeten daarom terughoudend zijn om hier conclusies van algemene aard uit te destilleren.

Tabel 4.1: MSE door mens en door model, uitgesplitst naar *bias* en ruis

oorzaak	model	mens
ruis	0.0	68.1
bias	200.6	148.4
totaal	200.6	216.5

5 Conclusies en aanbevelingen

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- de totale ‘fout’ in subjectieve verwachtingen kan worden toegeschreven aan *bias* en aan ruis; beide bijdragen zijn significant;
- in een aantal gevallen was de reductie van *bias*, door de mens, groter dan de ruis die daarmee werd geïntroduceerd;
- gemiddeld over alle 25 casussen heeft de *human forecaster* de *bias* in de modelvoorspellingen gereduceerd, doch de daarmee geïntroduceerde ruis bleek groter dan die reductie in *bias*. Per saldo waren de modelvoorspellingen daarom beter dan de subjectieve verwachtingen.

Het loont daarom om ruis te reduceren. Dat kan middels *beslissinghygiëne*: maatregelen die de oorzaken van ruis wegnemen danwel de effecten daarvan reduceren. De invulling daarvan valt buiten de reikwijdte van voorliggend onderzoek.

5.1 Nota bene

In dit onderzoek zijn de subjectieve verwachtingen beschouwd als ensembleverwachting, waarin aan elk van de verwachtingen een gelijk gewicht is gegeven. In de praktijk is de waterstandsverwachting gebaseerd op consensus en is er dus geen sprake van ruis. Echter, deze ruis is weer wél aanwezig als de verwachtingen van/voor meerdere zittingen/stormen worden beschouwd. Daarmee is het onderzoek naar de omvang van de ruis wel degelijk valide.

5.2 Aanvullend onderzoek

Er is een aantal interessante aanvullingen op voorliggend onderzoek denkbaar.

- analyse van multi-model-verwachtingen. Dan is de modelverwachting óók gekarakteriseerd door ruis;
- analyse van (door mens gemaakte) *kansverwachtingen* in plaats van *deterministische* verwachtingen;
- alternatieve weging van de subjectieve verwachtingen;
- herhaling van voorliggend onderzoek ná invoering van beslissinghygiëne; en
- voortdurende monitoring van *bias* en ruis door tijdens elke zitting de individuele oordelen vast te leggen.

A Inlezen van data

```
rm(list = objects())
library(readxl)
library(knitr)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(reshape2)
```

A.1 Verwachtingen

Met de code hieronder worden de verwachtingen uit de ingediende .xlsx-bestanden gedestilleerd.

A.1.1 Ruwe data

De data wordt als volgt geanonimiseerd:

- allereerst wordt een lijst gemaakt van .xlsx-bestanden met inzendingen. Die lijst is alfabetisch geordend op bestandsnaam. Veel mensen hebben het bestand hernoemd.
- de lijst met bestandsnamen wordt daarna in willekeurige volgorde ‘geschud’
- in de uiteindelijke data wordt (met de variabele *i*) vastgelegd uit het hoeveelste bestand (uit die willekeurig geordende lijst) de data afkomstig is

```
all_files <- list.files(path="./forms", pattern="xlsx")
all_files <- sample(all_files,length(all_files),replace=F)
fcst <- vector('list', length = length(all_files))

ranges_loc <- c('A12:A16', 'A11:A15', 'A11:A15', 'A11:A15', 'A11:A15')
ranges_fcst <- c('BI12:BI16', 'BG11:BG15', 'AQ11:AQ15', 'AA11:AA15', 'AG11:AG15')

for (storm in 1:5) {
  mijn_storm <- paste0('storm',storm)
  storm_files <- all_files[grep(mijn_storm, all_files, ignore.case = T)]
  for (my_file in storm_files) {
    print(my_file)
    i <- which(all_files == my_file)
```

```

tmp_loc <- read_xlsx(path = paste0('./forms/',my_file),
                    sheet = 'Waterstand', range=ranges_loc[storm], col_names = F)
tmp_fcst <- read_xlsx(path = paste0('./forms/',my_file),
                     sheet = 'Waterstand', range=ranges_fcst[storm], col_names = F)
df <- data.frame(i = i, loc = tmp_loc, fcst = tmp_fcst[,1], storm = mijn_storm)
names(df)[2:3] <- c('loc', 'fcst')
fcst[[i]] <- df
} #my_file
} #storm

fcst <- do.call('rbind',fcst)
fcst <- fcst %>% mutate(loc = factor(loc,levels=c('Vlissingen','Hoek van Holland','Den

```

De data ziet er dan als volgt uit:

```
kable(head(fcst,10))
```

i	loc	fcst	storm
1	Vlissingen	370	storm3
1	Hoek van Holland	280	storm3
1	Den Helder	210	storm3
1	Harlingen	260	storm3
1	Delfzijl	320	storm3
2	Den Helder	220	storm1
2	Harlingen	300	storm1
2	Delfzijl	370	storm1
2	Vlissingen	350	storm1
2	Hoek van Holland	260	storm1

Ter verificatie toetsen we of hier alle informatie in zit die we verwachten:

- aantal unieke waarden voor *i* moet gelijk zijn aan aantal gevonden .xlsx-bestanden;
- elke inzending zou vijf verwachtingen moeten bevatten: één voor elke locatie
- we testen dat door de standaarddeviatie uit te rekenen voor aantal stormen per inzending: gemiddelde zou 5 moeten zijn en standaarddeviate 0.

```
length(all_files)
```

```
[1] 65
```

```
length(unique(fcst$i))
```

```
[1] 65
```

```
fcst %>% group_by(i) %>% count(storm)
```

```
# A tibble: 65 x 3
# Groups:   i [65]
   i storm      n
  <int> <chr> <int>
1     1 storm3     5
2     2 storm1     5
3     3 storm1     5
4     4 storm1     5
5     5 storm2     5
6     6 storm5     5
7     7 storm4     5
8     8 storm4     5
9     9 storm3     5
10    10 storm2     5
# i 55 more rows
```

```
fcst %>% group_by(i) %>% count(storm) %>% ungroup() %>% summarize(n = mean(n))
```

```
# A tibble: 1 x 1
   n
  <dbl>
1     5
```

```
fcst %>% group_by(i) %>% count(storm) %>% ungroup() %>% summarize(sd = sd(n))
```

```
# A tibble: 1 x 1
   sd
  <dbl>
1     0
```

Tenslotte slaan we de data op in een bestand, zodat deze gemakkelijk hergebruikt kan worden in de andere hoofdstukken.

```
saveRDS(fcst, file='verwachtingen.rds')
```

A.1.2 Samenvatting

```

samvat <- fcst %>% ungroup() %>% group_by(storm,loc) %>%
  summarize(sd = sd(fcst), gemiddelde=mean(fcst), min=min(fcst), max=max(fcst), mediaan=
    bereik = max-min) %>%
  relocate(storm,loc,min,max,bereik,gemiddelde,mediaan,sd)

```

`summarise()` has grouped output by 'storm'. You can override using the `.groups` argument.

```

saveRDS(samvat, 'verwachtingen_samengevat.rds')

```

A.2 Modelverwachtingen

```

my_file <- 'modelverwachtingen.xlsx'
ranges_loc <- c('A16:A20', 'A32:A36', 'A53:A57', 'A73:A77', 'A95:A99')
ranges_mod <- gsub('A','K',ranges_loc)

mod <- vector('list',length=5)
for (storm in 1:5) {
  mijn_storm <- paste0('storm',storm)
  tmp_loc <- read_xlsx(path = my_file, sheet = 'Blad1', range=ranges_loc[storm], col_nam
  tmp_mod <- read_xlsx(path = my_file, sheet = 'Blad1', range=ranges_mod[storm], col_nam
  df <- data.frame(loc = tmp_loc, mod = tmp_mod, storm = mijn_storm)
  names(df)[1:2] <- c('loc', 'mod')
  mod[[storm]] <- df
} #storm

mod <- do.call('rbind',mod)
mod <- mod %>% mutate(loc = factor(loc,levels=c('Vlissingen','Hoek van Holland','Den H

saveRDS(mod, file='modelverwachtingen.rds')

```

A.3 Waarnemingen

```

my_file <- 'waarnemingen.xlsx'
ranges_loc <- c('A16:A20', 'A32:A36', 'A53:A57', 'A73:A77', 'A95:A99')
ranges_obs <- gsub('A','K',ranges_loc)

obs <- vector('list',length=5)
for (storm in 1:5) {

```

```

mijn_storm <- paste0('storm',storm)
tmp_loc <- read_xlsx(path = my_file, sheet = 'Blad1', range=ranges_loc[storm], col_nam
tmp_obs <- read_xlsx(path = my_file, sheet = 'Blad1', range=ranges_obs[storm], col_nam
df <- data.frame(loc = tmp_loc, obs = tmp_obs, storm = mijn_storm)
names(df)[1:2] <- c('loc', 'obs')
obs[[storm]] <- df
} #storm

obs <- do.call('rbind',obs)
obs <- obs %>% mutate(loc = factor(loc,levels=c('Vlissingen','Hoek van Holland','Den H

```

De data ziet er dan als volgt uit:

```
kable(head(obs,10))
```

loc	obs	storm
Den Helder	229	storm1
Harlingen	311	storm1
Delfzijl	378	storm1
Vlissingen	326	storm1
Hoek van Holland	238	storm1
Vlissingen	321	storm2
Hoek van Holland	236	storm2
Den Helder	163	storm2
Harlingen	233	storm2
Delfzijl	274	storm2

Vervolgens slaan we de verwachtingen op in een .rds-bestand.

```
saveRDS(obs, file='waarnemingen.rds')
```

Tenslotte worden de verwachtingen gepaard aan de waarnemingen en wordt dat bestand als .csv geëxporteerd.

```
fcst <- fcst %>% left_join(obs,by=c('loc','storm'),keep=F) %>% select(-i)
write.csv(fcst,file='verwachtingen_en_waarnemingen.csv',row.names = F)
```

B Gebruikte literatuur

Kahneman, Daniel, Olivier Sibony, en Cass R. Sunstein. 2021. *Noise: a flaw in human judgment*. New York: Little, Brown and Company.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl