

## KKP HV02 2022 - Versterking Onderzoek Waterveiligheid - Damwanden

Verkenning naar het meenemen van bewezen sterkte bij de beoordeling van  
bestaande damwanden in regionale waterkeringen - Probabilistische analyses



## **KKP HV02 2022 - Versterking Onderzoek Waterveiligheid - Damwanden**

Verkenning naar het meenemen van bewezen sterkte bij de beoordeling van bestaande damwanden in regionale waterkeringen - Probabilistische analyses

### **Auteur(s)**

Hans Brinkman

## KKP HV02 2022 - Versterking Onderzoek Waterveiligheid - Damwanden

Verkenning naar het meenemen van bewezen sterkte bij de beoordeling van bestaande damwanden in regionale waterkeringen - Probabilistische analyses

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	de heer G. Harmsen
<b>Referenties</b>	Zie literatuur
<b>Trefwoorden</b>	Damwanden, damwandconstructies, bestaande, regionale waterkeringen, probabilistische analyses, bewezen sterkte, waterveiligheid

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	2.0
<b>Datum</b>	16-12-2022
<b>Projectnummer</b>	11208034-004
<b>Document ID</b>	11208034-004-ZWS-0001
<b>Pagina's</b>	194
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Hans Brinkman	

# Samenvatting

In de komende jaren naderen veel bestaande damwanden in het buitentalud van regionale keringen het einde van hun beoogde ontwerplevensduur, waardoor programma's voor beoordeling en renovatie zullen gaan starten. Het op een juiste wijze beoordelen van de tijdsafhankelijke betrouwbaarheid van dit type constructies is essentieel om de levensduur van deze damwanden veilig en verantwoord te kunnen verlengen en om proportionele maatregelen te treffen.

In 2022 is een onderzoek van TNO en Deltares afgerond naar het tijdsafhankelijke betrouwbaarheidsverloop van stalen damwand- en kadeconstructies, waarbij rekening is gehouden met zowel bewezen sterkte als degradatie door corrosie. Binnen dit onderzoek zijn probabilistische analyses voor 2 verankerde kadeconstructies met respectievelijk een kerende hoogte van 8 en 23 m uitgevoerd. Het uiteindelijke doel van dit TNO-Deltares onderzoek is te komen tot een wijze waarop bestaande kademuren kunnen worden beoordeeld met in achtname van de bewezen sterkte en corrosie, vastgelegd in een norm die aansluit op de norm voor bestaande bouw NEN 8707.

De gehanteerde aanpak van het TNO-Deltares onderzoek lijkt een goede basis om ook tot een verfijndere beoordeling van bestaande damwanden in het buitentalud van regionale waterkeringen te komen. Echter de situatie van damwanden in het buitentalud van regionale waterkeringen is sterk afwijkend van wat is onderzocht door TNO-Deltares: de waterdiepte en kerende hoogte zijn veelal significant kleiner. Daarnaast zijn bij regionale waterkeringen een groot aantal damwanden onverankerd en verder speelt het aspect grondwaterstroming een grotere rol.

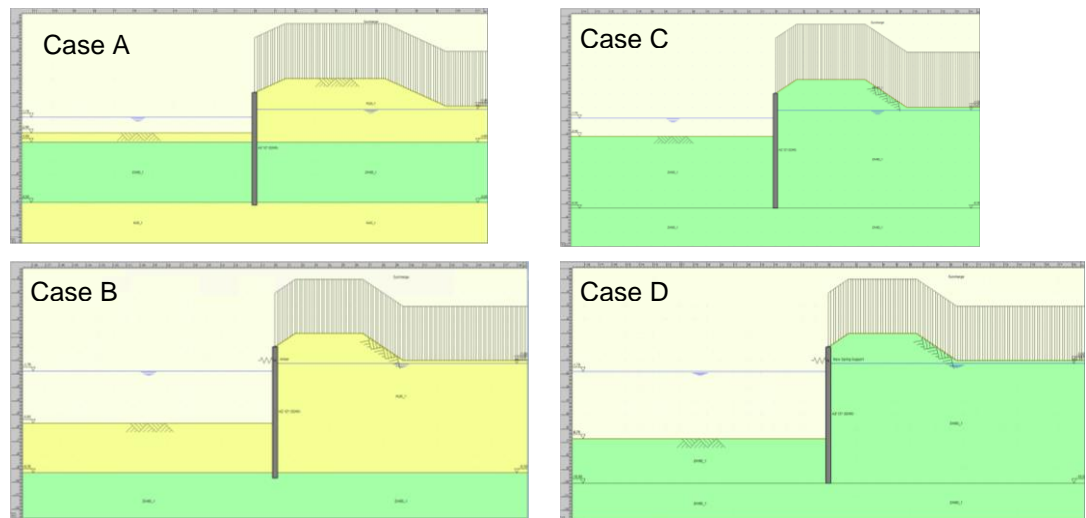
Doel van dit meerjarige onderzoek is een eerste inzicht krijgen in het tijdsafhankelijke betrouwbaarheidsverloop van bestaande damwanden in het buitentalud van regionale waterkeringen rekening houdend met een daling van de faalkans door bewezen sterkte en een toename van de faalkans door degradatie. Om vervolgens te bepalen of en hoe bewezen sterkte zou kunnen worden gebruikt bij beoordelingen van deze damwanden.

Het onderzoek is opgedeeld in 4 stappen waarvan 1 en 2 in 2022 zijn afgerond en gerapporteerd zijn in onderhavige rapportage:

- **Stap 1 “Definitie cases en opstellen uitgangspunten”**: in deze stap worden vier voor bestaande damwanden in regionale waterkeringen realistische casussen voorbereid. Deze cases zijn ontworpen volgens klasse II van het stappenplan van handboek Damwandconstructies [CUR166]. Voor ieder van de 4 cases worden er ook 3 varianten voorbereid met een kleinere variatie van de bodemdiepte, de corrosie en van beide.
- **Stap 2 “Berekeningen”**: de berekening van de betrouwbaarheidsindex van de vier casussen wordt in deze stap uitgevoerd. Hierbij worden analyses uitgevoerd voor de bepaling van de betrouwbaarheidsindex over de gehele ontwerplevensduur van 50 jaar gemaakt. Daarnaast worden analyses voor de bepaling van het verloop van de à-priori betrouwbaarheidsindex per jaar (jaarkans benadering) over een periode van totaal 76 jaar gemaakt met en ongeacht het effect van bewezen sterkte.
- **Stap 3 “Analyse/ Handelingsperspectief”**: in deze stap die start in 2023 worden de resultaten van stap 2 geanalyseerd om aanbevelingen op te stellen of en hoe bewezen sterkte zou kunnen worden gebruikt bij beoordeling.
- **Stap 4 “Rapporteren kennisontwikkeling”**: het opstellen van eindrapport is het resultaat van stap 4.

In stap 1 van het onderzoek zijn 4 cases met ieder 3 varianten opgesteld van bestaande damwanden in regionale waterkeringen. Deze damwanden zijn conform de CUR166 ontworpen voor CUR-klasse II voor een levensduur van 50 jaar. Deze cases zijn zo samengesteld dat er sprake is van een volledig uitgenut ontwerp:

1. De damwandlengte minimaal is. Dat houdt in dat een 5 cm kortere damwand leidt tot instabiliteit door passief bezwijken (100% gemobiliseerde passieve weerstand bij verankerde damwanden).
2. Een AZ12 met staalkwaliteit S240 voldoet juist. Dat wil zeggen de rekenwaarde ligt tussen de 97,5 en 100% van de gecorrodeerde momentcapaciteit van een AZ12 met staalkwaliteit S240. Er is bij de ontwerpberekening rekening gehouden met 1,5 mm dikteafname door corrosie aan het einde van de levensduur van 50 jaar.



*Figuur 1 Cases A t/m D. Links zonder grondwaterstroming en rechts met grondwaterstroming. Onder verankerd en boven onverankerd.*

Voor case A t/m D, zie Figuur 1, zijn naast de basis case ook nog 3 varianten op de basis case opgesteld. In variant 1 is de onzekerheid van de bodemligging gehalveerd en in variant 2 variatiecoëfficiënt van de dikteafname van de damwand gereduceerd van 0,5 naar 0,3 (dit om het effect van inspectie met diktemetingen inzichtelijk te maken) en variant 3 is de combinatie van varianten 1 en 2.

In stap 2 van het onderzoek zijn voor de 4 cases en hun varianten diverse probabilistische berekeningen uitgevoerd om in de volgende fase van dit onderzoek te analyseren om aanbevelingen op te stellen of en hoe bewezen sterkte zou kunnen worden gebruikt bij beoordeling. De probabilistische berekeningen zijn voor 3 grenstoestanden uitgevoerd het bezwijken van:

- 1) De grond (passieve weerstand).
- 2) De stalen damwand.
- 3) De ankerstang.

Voor deze grenstoestanden zijn 3 grenstoestandsfuncties opgesteld voor de probabilistische analyses. De probabilistische berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de laatste inzichten, waaronder het meenemen van modelonzekerheid, onzekerheid in degradatie en Gumbelverdelingen voor de belastingen en ligging van de onderwaterbodem. Voor de probabilistische berekeningen is gebruikgemaakt van de Probabilistische Toolkit die D-Sheet Piling berekeningen aanstuurt.

Voor de 4 cases en hun varianten zijn als eerste, ter vergelijking met de CUR166-aanpak, probabilistische berekeningen voor de drie grenstoestandsfuncties afzonderlijk uitgevoerd voor een levensduurfaalkans van 50 jaar. Vervolgens is de overstap gemaakt naar het verloop van jaarkansen over een periode van 76 jaar met en zonder bewezen sterkte. Hierbij is in de probabilistische analyse met bewezen sterkte vanaf het 2<sup>e</sup> jaar in de bepaling van de à-priori betrouwbaarheid van een jaar op basis van jaarkansen meegenomen dat er geen falen is opgetreden in de periode tot aan dat jaar.

Het resultaat van het 2022 onderzoek is een buitengewoon grote hoeveelheid resultaten van probabilistische analyses voor een brede range voor regionale keringen relevante situaties. Op basis van deze analyses kan in de volgende fase gedegen worden onderzocht of en zo ja, hoe bewezen sterkte zou kunnen worden gebruikt bij beoordelingen van bestaande damwanden in regionale keringen.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>10</b>
1.1	Achtergrond	10
1.2	Doelstelling van het onderzoek	10
1.3	Leeswijzer rapportage	11
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>12</b>
2.1	Inleiding	12
2.2	Scope	12
2.3	Aanpak voor het bepalen van de betrouwbaarheid	12
2.3.1	Betrouwbaarheid op levensduurbasis	12
2.3.2	Betrouwbaarheid op jaarbasis	12
2.3.3	Bewezen sterkte	12
2.3.4	Uit te voeren analyses	12
2.3.4.1	Deterministische ontwerpberekeningen	12
2.3.4.2	Probabilistische analyses	13
2.4	Grondopbouw en geometrie	13
2.4.1	Algemeen	13
2.4.2	Case A - Onverankerde damwand zonder grondwaterstroming	14
2.4.3	Case B - Verankerde damwand zonder grondwaterstroming	15
2.4.4	Case C - Onverankerde damwand met grondwaterstroming	15
2.4.5	Case D - Verankerde damwand met grondwaterstroming	16
2.5	Belastingen en bodemniveau	17
2.6	Damwand	17
2.7	Verankering	17
2.8	Corrosie modellering	17
2.9	Stochasten en correlaties tussen stochasten	17
2.10	Grenstoestandfuncties	18
<b>3</b>	<b>Berekeningsresultaten</b>	<b>20</b>
3.1	Inleiding	20
3.2	Case A	20
3.2.1	Betrouwbaarheidsindex	20
3.2.2	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-GEO	22
3.2.3	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-WAND	24
3.3	Case B	26
3.3.1	Betrouwbaarheidsindex	26
3.3.2	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-GEO	28
3.3.3	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-WAND	30
3.3.4	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-ANKER	33

3.4	Case C	35
3.4.1	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-GEO	37
3.4.2	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-WAND	39
3.5	Case D	41
3.5.1	Betrouwbaarheidsindex	41
3.5.2	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-GEO	44
3.5.3	Invloedsfactoren en waarde in ontwerppunt GTF-WAND	45
3.5.4	Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-ANKER	48
	<b>Literatuur</b>	<b>50</b>
<b>A</b>	<b>Probabilistische aanpak voor het bepalen van de constructieve veiligheid op jaarbasis</b>	<b>51</b>
<b>B</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>55</b>
B.1	Algemeen	55
B.2	Waterstanden en stijghoogten	55
B.3	Grondwaterdrukverdeling Case C en D	57
B.3.1	Case C	57
B.3.2	Case D	58
B.4	Waterbodemniveau	60
B.5	Damwandeigenschappen	61
B.6	Verankering	69
B.7	Corrosie	70
B.7.1	Dikteafname van de damwand	70
B.7.2	Diameterafname van de ankerstang	72
B.8	Stochasten	75
B.9	Correlaties tussen stochasten	77
<b>C</b>	<b>Convergentie</b>	<b>78</b>
<b>D</b>	<b>Resultaten probabilistische analyses met en zonder bewezen sterkte</b>	<b>82</b>
D.1	Resultaten probabilistische analyses met en zonder bewezen sterkte	82
D.1.1	Case A – Onverankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie GEO	82
D.1.1.1.	GTF-GEO Basis case A:	82
D.1.1.2.	GTF-GEO Variant 1 Case A:	86
D.1.2	Case A Onverankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie WAND	90
D.1.2.1.	GTF-WAND Basis case A:	90
D.1.2.2.	GTF-WAND Variant 1 case A:	94
D.1.2.3.	GTF-WAND Variant 2 case A:	98
D.1.2.4.	GTF-WAND Variant 3 case A:	102
D.1.3	Case B – Verankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie GEO	106
D.1.3.1.	GTF-GEO Basis case B:	106
D.1.3.2.	GTF-GEO Variant 1 case B:	110



D.1.4	Case B – Verankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie WAND	114
D.1.4.1.	GTF-WAND Basis case B:	114
D.1.4.2.	GTF-WAND Variant 1 case B:	118
D.1.4.3.	GTF-WAND Variant 2 case B:	122
D.1.4.4.	GTF-WAND Variant 3 case B:	126
D.1.5	Case B – Verankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie ANKER	130
D.1.5.1.	GTF-ANKER Basis case B:	130
D.1.5.2.	GTF-ANKER Variant 1 case B:	134
D.1.6	Case C Onverankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie GEO	138
D.1.6.1.	GTF-GEO Basis case C:	138
D.1.6.2.	GTF-GEO Variant 1 Case C:	142
D.1.7	Case C Onverankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie WAND	146
D.1.7.1.	GTF-WAND Basis case C:	146
D.1.7.2.	GTF-WAND Variant 1 case C:	150
D.1.7.3.	GTF-WAND Variant 2 case C:	154
D.1.7.4.	GTF-WAND Variant 3 case C:	158
D.1.8	Case D Verankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie GEO	162
D.1.8.1.	D GTF-GEO Basis case:	162
D.1.8.2.	GTF-GEO Variant 1 case D:	166
D.1.9	Case D Verankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie WAND	170
D.1.9.1.	GTF-WAND Basis case D:	170
D.1.9.2.	GTF-WAND Variant 1 case D:	174
D.1.9.3.	GTF-WAND Variant 2 case D:	178
D.1.9.4.	GTF-WAND Variant 3 case D:	182
D.1.10	Case D Verankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie ANKER	186
D.1.10.1.	GTF-ANKER Basis case D:	186
D.1.10.2.	GTF-ANKER Variant 1 case D:	190

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In de komende periode naderen veel bestaande damwanden in het buitentalud van regionale keringen het einde van hun beoogde ontwerplevensduur, waardoor programma's voor beoordeling en renovatie zullen gaan starten. Het op een juiste wijze beoordelen van de tijdsafhankelijke betrouwbaarheid van dit type constructies is essentieel om de levensduur van deze damwanden veilig en verantwoord te kunnen verlengen en om proportionele maatregelen te treffen.

In het Kader van het KPP-HV02 Versterking Onderzoek Waterveiligheid is in 2021 onderzoek gedaan naar een verfijndere beoordelingsmethodiek voor bestaande damwanden in regionale waterkeringen uitgaande van een ontwerp volgens de [NEN-EN 1997-1] en [CUR166]. Dit onderzoek resulteerde in de opzet van een praktisch stroomschema voor de beoordeling van een bestaande damwandconstructie, rekening houdend met de laatste inzichten op het gebied van corrosie. Binnen dit onderzoek zijn geen probabilistische berekeningen gemaakt voor een precieze vertaling van de faalkans over een levensduur van 50 jaar naar de faalkans op jaarbasis en het effect van bewezen sterkte.

In november 2022 is een onderzoek van TNO en Deltares afgerond [TNO-Deltares 2022] naar het tijdsafhankelijke betrouwbaarheidsverloop van kadeconstructies, waarbij rekening is gehouden met zowel bewezen sterkte als corrosie van stalen damwanden en kademuren. Binnen dit onderzoek zijn probabilistische berekeningen voor 2 verankerde kadeconstructies met respectievelijk een kerende hoogte van 8 en 23 m uitgevoerd. Het uiteindelijke doel van dit TNO-Deltares onderzoek is te komen tot een wijze waarop bestaande kademuren kunnen worden beoordeeld vastgelegd in een NPR/NEN-norm die aansluit op de NEN-norm voor bestaande bouw [NEN 8707].

De in [TNO-Deltares 2022] gehanteerde aanpak lijkt in principe een goede basis om tot een verfijndere beoordeling van bestaande damwanden in het buitentalud van regionale waterkeringen te komen omdat twee belangrijke aspecten voor bestaande constructies worden meegenomen, namelijk de degradatie en de bewezen sterkte. Echter de situatie van damwanden in het buitentalud van regionale waterkeringen is sterk afwijkend van wat is onderzocht in [TNO-Deltares 2022]: de waterdiepte en kerende hoogte zijn veelal significant kleiner. Daarnaast zijn bij regionale waterkeringen een groot aantal damwanden onverankerd en verder speelt het aspect grondwaterstroming een grotere rol dan bij de cases in [TNO-Deltares 2022] waarin het aspect grondwaterstroming niet is meegenomen.

## 1.2 Doelstelling van het onderzoek

Doel van dit meerjarige onderzoek is om een eerste inzicht krijgen in het tijdsafhankelijke betrouwbaarheidsverloop van bestaande damwanden in het buitentalud van regionale waterkeringen rekening houdend met een daling van de faalkans door bewezen sterkte en een toename van de faalkans door degradatie. Om vervolgens te bepalen of en hoe bewezen sterkte zou kunnen worden gebruikt bij beoordelingen van deze damwanden.

Het onderzoek is opgedeeld in de volgende stappen waarvan 1 en 2 in 2022 worden uitgevoerd:

- **Stap 1 “Definitie cases en opstellen uitgangspunten”**: in deze stap worden vier voor bestaande damwanden in regionale waterkeringen realistische casussen voorbereid. Deze cases zijn ontworpen volgens klasse II van het stappenplan van handboek Damwandconstructies [CUR166]. Voor ieder van de 4 cases worden er ook 3 varianten voorbereid.
- **Stap 2 “Berekeningen”**: de berekening van de betrouwbaarheidsindex van de vier casussen wordt in deze stap uitgevoerd. Hierbij worden analyses uitgevoerd voor de bepaling van de betrouwbaarheidsindex over de gehele ontwerplevensduur van 50 jaar gemaakt. Daarnaast worden analyses voor de bepaling van het verloop van de betrouwbaarheidsindex per jaar (jaarkans benadering) over een periode van 76 jaar gemaakt met en zonder het effect van bewezen sterkte.
- **Stap 3 “Analyse/ Handelingsperspectief”**: in deze stap die start in 2023 worden de resultaten van stap 2 geanalyseerd om aanbevelingen op te stellen of en hoe bewezen sterkte zou kunnen worden gebruikt bij beoordeling.
- **Stap 4 “Rapporteren kennisontwikkeling”**: het opstellen van eindrapport is het resultaat van stap 4.

### 1.3 Leeswijzer rapportage

Deze rapportage betreft de eerste deelrapportage met daarin stap 1 en 2 van een meerjarig onderzoek naar de toegevoegde waarde van het meenemen van bewezen sterkte bij de beoordeling van bestaande damwanden in regionale waterkeringen. De rapportage is een “factual” rapportage van de uitgangspunten van probabilistische berekeningen en de presentatie van de resultaten. Er vindt geen interpretatie van de resultaten plaats in deze rapportage, dat vindt plaats in de volgende fase van het onderzoek.

In hoofdstuk 2 staan de uitgangspunten van de analyses.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de probabilistische analyses gepresenteerd.

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Inleiding

Het [TNO- Deltares 2022] onderzoek [4] en het lopende onderzoek naar de update van de CUR166 [Deltares 2023] vormen de basis van het voorliggende onderzoek. Voor een 4-tal cases van bestaande damwanden in het buitentalud zijn probabilistische analyses uitgevoerd zowel in lijn met de jaarkans aanpak van [TNO-Deltares 2022] onderzoek als de levensduurfaalkans van de [CUR166] / [NEN-EN 1997-1]. Om goed aan te sluiten op de praktijk is uitgegaan van 4 cases die zijn ontworpen volgens CUR166 klasse II. Op deze wijze kunnen de verschillen tussen de verschillende aanpakken goed inzichtelijk worden gemaakt. Voor ieder van de 4 cases worden er ook analyses voor 3 varianten uitgevoerd.

### 2.2 Scope

Dit verkennende onderzoek heeft betrekking op bestaande damwanden in het buitentalud van regionale waterkeringen.

### 2.3 Aanpak voor het bepalen van de betrouwbaarheid

#### 2.3.1 **Betrouwbaarheid op levensduurbasis**

Deze aanpak is gebaseerd op de evaluatie van de constructieve betrouwbaarheid over de levensduur van 50 jaar. Deze aanpak sluit aan op die in de [CUR166] en de [NEN-EN 1997-1]. Deze gaan beide uit van de faalkans binnen de gehele levensduur van 50 jaar.

#### 2.3.2 **Betrouwbaarheid op jaarbasis**

Deze aanpak is gebaseerd op de evaluatie van de faalkansen op jaarbasis (kans op falen in een jaar, in plaats van de kans tijdens de levensduur). Deze jaarkans aanpak sluit aan op de eisen die aan waterkeringen worden gesteld. Het rekenen met jaarkansen geeft de nodige flexibiliteit om de restlevensduur van bestaande constructies beter in te schatten.

#### 2.3.3 **Bewezen sterkte**

In de nieuw te ontwikkelen beoordelingsaanpak wordt op passende wijze rekening gehouden met het feit dat de constructie tot het moment van de beoordeling succesvol heeft gefunctioneerd. Dat wil zeggen, dat de beschouwde grenstoestand niet is overschreden tot het moment van beoordelen. Dit concept is in dit rapport "bewezen sterkte" genoemd. De toegepaste probabilistische aanpak voor bewezen sterkte is in detail beschreven in Bijlage A.

#### 2.3.4 **Uit te voeren analyses**

##### 2.3.4.1 **Deterministische ontwerpberekeningen**

Voor de 4 cases en hun 3 varianten zijn als eerste ontwerpberekeningen conform de [CUR166] uitgevoerd waarbij zoals in de 1<sup>e</sup> t/m 5<sup>e</sup> druk van de CUR166 de rekenwaarde van de bodemdiepte afhankelijk is van de CUR-klasse. De ontwerpberekeningen zijn met [D-Sheet Piling] uitgevoerd.

#### 2.3.4.2 Probabilistische analyses

Voor de 4 cases en hun varianten zijn diverse probabilistische berekeningen uitgevoerd om in de volgende fase van dit onderzoek de verschillen tussen de betrouwbaarheid over de levensduur van 50 jaar en een betrouwbaarheid op jaarbasis met en zonder het effect van bewezen sterkte te bepalen. De probabilistische berekeningen zijn voor 3 grenstoestanden uitgevoerd voor het bezwijken van de:

- Grond (passieve weerstand).
- Stalen damwand.
- Ankerstang.

Voor deze grenstoestanden zijn respectievelijk 3 grenstoestand functies (GTF) opgesteld:

- GTF-GEO.
- GTF-WAND.
- GTF-ANKER.

De probabilistische berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de laatste inzichten van [TNO-Deltares 2022] en [Deltares 2023], waaronder het meenemen van modelonzekerheid, degradatie door corrosie. Voor de probabilistische berekeningen is gebruikgemaakt van de Probabilistische Toolkit [Deltares 2020] en die de D-Sheet Piling berekeningen aan stuurt.

Voor de 4 cases en hun varianten zijn als eerste probabilistische berekeningen uitgevoerd over de levensduur van 50 jaar, in lijn met de CUR166-aanpak. Dus voor de bepaling van de 50-jaars levensduurkansen zijn per case en hun varianten probabilistische analyses uitgevoerd voor de 3 grenstoestandfuncties.

Vervolgens is de overstap gemaakt naar het verloop van jaarkansen over een periode van 76 jaar in lijn met [TNO-Deltares 2022]. Hierbij zijn probabilistische berekeningen nu uitgevoerd met en zonder mee name van bewezen sterkte:

- 1-jaars à-priori betrouwbaarheid voor ieder jaar tot een leeftijd van 76 jaar ongeacht het feit dat de constructie niet gefaald is tot het moment van beoordelen (voor het gemak in deze rapportage omschreven als 'zonder bewezen sterkte').
- 1-jaars à-priori betrouwbaarheid voor ieder jaar tot een leeftijd van 76 jaar met bewezen sterkte waarbij wordt meegenomen dat over de periode tot het jaar waar de berekening voor wordt uitgevoerd geen falen is opgetreden.

## 2.4 Grondopbouw en geometrie

### 2.4.1 Algemeen

Er zijn 4 cases waarvan de ontwerpen zijn gemaakt conform de CUR166 voor CUR klasse II voor een levensduur van 50 jaar. De 4 cases zijn zo samengesteld dat er sprake is van een volledig uitgenut ontwerp:

1. De damwandlengte minimaal is. Dat houdt in dat een 5 cm kortere damwand leidt instabiliteit door tot passief bezwijken (100% gemobiliseerde passieve weerstand bij verankerde damwanden).
2. Een AZ12 met staalkwaliteit S240 voldoet juist. Dat wil zeggen de rekenwaarde ligt tussen de 97,5 en 100% van de gecorrodeerde momentcapaciteit van een AZ12 met staalkwaliteit S240. Er is bij de ontwerpberekening rekening gehouden met 1,5 mm dikteafname door corrosie aan het einde van de levensduur van 50 jaar.

De ontwerpen zijn gebaseerd op dezelfde gegevens als die de voor de probabilistische berekeningen zijn gebruikt, zie Bijlage B.

De bovenzijde van de damwand ligt bij de 4 cases op een niveau van 0,0 m. De configuratie aan de hoge zijde betreft voor alle 4 de cases een dijkje met een 5 m brede kruin met taluds onder 2:3 en de kruinhoogte ligt op +1 m. Het horizontale maaiveld bij de teen van het binnentalud ligt op -1,0 m, zie Figuur 2 t/m Figuur 5.

In de gehanteerde cases komen in het totaal 2 grondsoorten voor: kei en zand. De eigenschappen van klei en zand zijn voor alle cases hetzelfde. De frequentieverdeling van de waterstand (links) en de grondwaterstand (rechts) zijn voor alle cases en varianten gevallen hetzelfde.

Voor het eenvoudig aansturen van de D-Sheet Piling berekeningen [D-Sheet Piling 2021] vanuit de Probabilistische Toolkit [PRK 2020] is uitgegaan van een horizontale onderwaterbodem. Verder is de waterstand statistiek van Amsterdam-Rijnkanaal gebruikt zoals in [Deltares 2023]. De dagelijkse gemiddelde waterstand en grondwaterstand is -1,5 m. Voor de bodemligging is de decimeringswaarde van [Deltares 2023] gebruikt. In Figuur 2 t/m Figuur 5 met de 4 cases zijn de karakteristieke waarde van de bodem-, water en grondwaterstandniveaus met een herhaaltijd van 50 jaar weergegeven. Hierbij is het karakteristieke bodemniveau case afhankelijk. Het karakteristieke niveau met een herhaaltijd van 50 jaar van het water (links) van -1,79 m en van de grondwaterstand (rechts) van -1,21 m is voor alle cases gelijk. De grondopbouw, damwandlengte, bodemniveau en grondwaterdrukverdeling varieert per case.

Twee van de cases zijn verankerd en twee zijn onverankerd en verder treedt in twee van de cases grondwaterstroming op en in 2 cases is de grondwaterdrukverdeling hydrostatisch. De 4 cases zijn:

- A. Onverankerde damwand zonder grondwaterstroming.
- B. Verankerde damwand zonder grondwaterstroming.
- C. Onverankerde damwand met grondwaterstroming.
- D. Verankerde damwand met grondwaterstroming.

Voor case A t/m D zijn naast de basis case ook nog 3 varianten geanalyseerd. Het damwandontwerp van de varianten is overeenkomstig van die van de basis cases. Hierbij is voor de varianten namelijk de rekenwaarde van de bodemdiepte gelijk gehouden en verder heeft een verandering van de spreiding van de dikteafname invloed want die wordt in de CUR166 niet meegenomen. Per case A t/m D zijn probabilistische analyses voor 4 situaties gemaakt:

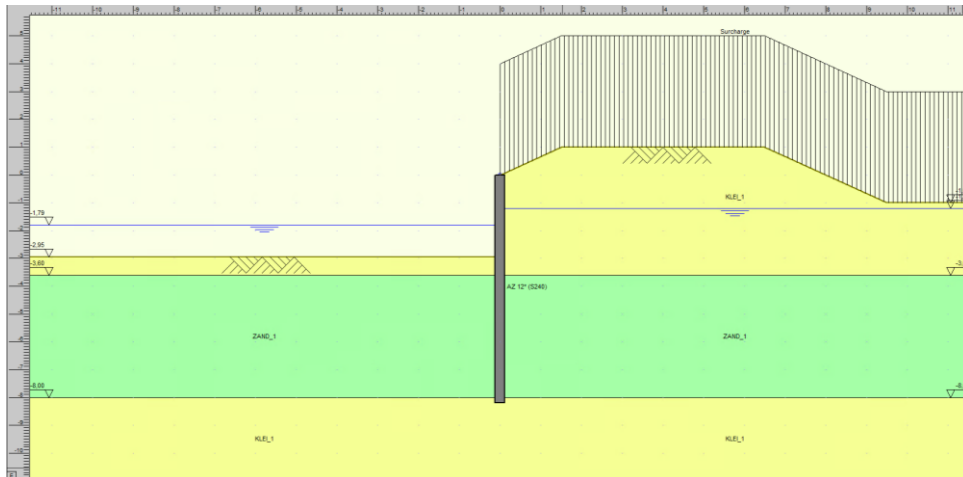
- 1) **Basis case.**
- 2) **Variant 1** Halvering onzekerheid van de bodemligging.
- 3) **Variant 2** Reductie van de variatiecoëfficiënt van de dikteafname van de damwand naar 0,3.
- 4) **Variant 3** Halvering onzekerheid van de bodemligging + Reductie van de variatiecoëfficiënt van de dikteafname van de damwand naar 0,3.

Bij 1) en 2) zijn alle grenstoestandsfuncties onderzocht en bij 3) en 4) alleen GTF-WAND omdat de verandering van de variatiecoëfficiënt van de dikteafname van de damwand alleen deze grenstoestandsfunctie significant beïnvloed.

#### 2.4.2 Case A - Onverankerde damwand zonder grondwaterstroming

Basis case A, zie Figuur 2, betreft een onverankerde damwand met een lengte van 8,2 m, de bovenzijde van de damwand ligt op een niveau 0,0 m. De ondergrond bij case A bestaat uit 3 grondlagen. De bovenste grondlaag bestaat uit klei met de onderzijde op -3,6 m met daaronder een zandlaag met de onderzijde op -8 m en de onderste grondlaag bestaat uit klei. De grondwaterspanning aan weerszijde van de damwand is hydrostatisch. De karakteristieke waarde (herhaaltijd 50 jaar) van het bodemniveau is -2,95 m. Bij case A, varianten 1 en 3 is

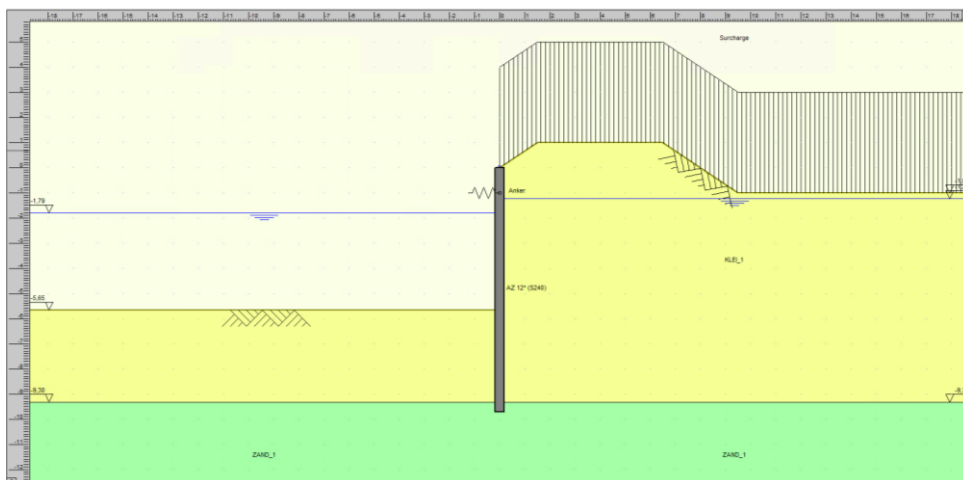
karacteristieke waarde (herhaaltijd 50 jaar) van het bodemniveau -3,11 m, zodat de rekenwaarde van de bodemligging gelijk is aan die van de basis case A.



Figuur 2 Basis case A.

### 2.4.3 Case B - Verankerde damwand zonder grondwaterstroming

Basis case B, zie Figuur 3, betreft een verankerde damwand met een lengte van 9,7 m. De bovenzijde van de damwand ligt op een niveau van 0,0 m en het ankerniveau ligt op -1,0 m. De ondergrond bestaat uit 2 grondlagen. De bovenste grondlaag bestaat uit klei met de onderzijde op -9,3 m hieronder bevindt zich een zandlaag. De grondwaterspanning aan weerszijde van de damwand is hydrostatisch. De karakteristieke waarde (herhaaltijd 50 jaar) van het bodemniveau is -5,65 m. Bij case B, varianten 1 en 3 is karakteristieke waarde (herhaaltijd 50 jaar) van het bodemniveau -5,81 m, zodat de rekenwaarde van de bodemligging gelijk is aan die van de basis case B.



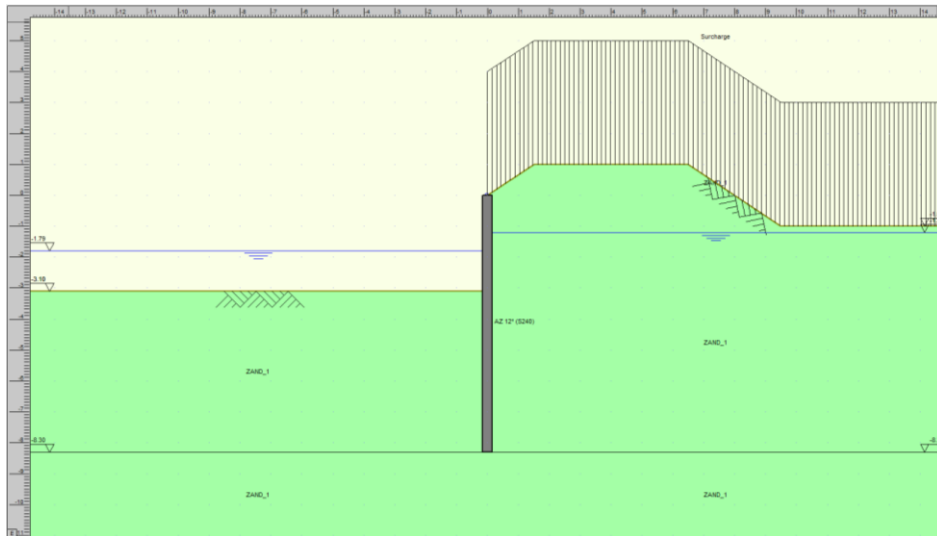
Figuur 3 Basis case B.

### 2.4.4 Case C - Onverankerde damwand met grondwaterstroming

Basis case C, zie Figuur 4, betreft een onverankerde damwand met een lengte van 8,3 m, de bovenzijde van de damwand ligt op een niveau 0,0 m. De ondergrond bij Case C bestaat volledig uit zand. De karakteristieke waarde (herhaaltijd 50 jaar) van het bodemniveau is -3,1 m. In deze case is rekening gehouden met grondwaterstroming. Voor het bepalen van de toe te passen grondwaterdrukverdeling zijn voor de karakteristieke grondwatersituatie (herhaaltijd 50 jaar) voor twee bodemdiepten grondwaterstromingsberekeningen gemaakt. In

Bijlage B.3.1 wordt nader ingegaan op de wijze waarop de resultaten van de grondwaterstromingsberekeningen zijn gebruikt in de toegepaste grondwaterdrukverdeling.

Bij case C, varianten 1 en 3 is karakteristieke waarde (herhaaltijd 50 jaar) van het bodemniveau -3,26 m, zodat de rekenwaarde van de bodemligging gelijk is aan die van de basis case C.

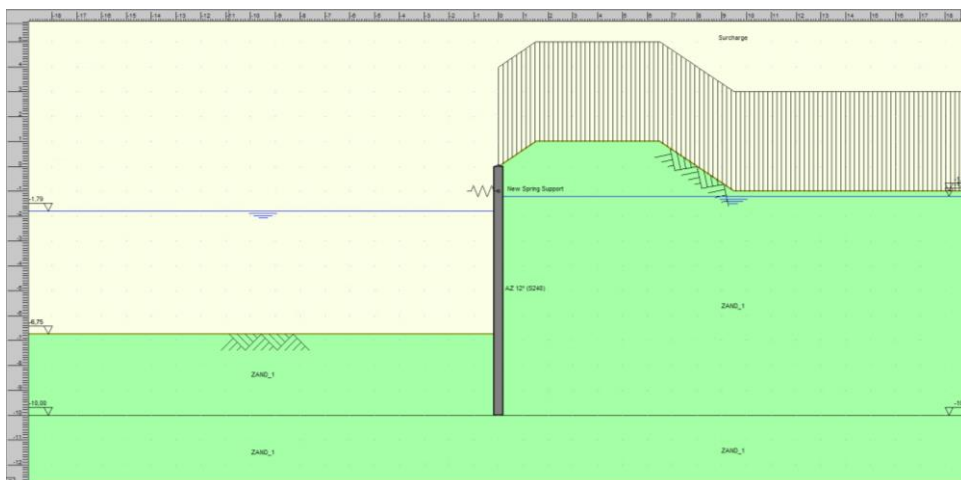


Figuur 4 Basis case C.

#### 2.4.5 Case D - Verankerde damwand met grondwaterstroming

Case D, zie Figuur 5, betreft een verankerde damwand met een lengte van 10 m. De bovenzijde van de damwand ligt op een niveau van 0,0 m en het ankerniveau is -1,0 m. De ondergrond bij Case C bestaat volledig uit zand. De karakteristieke waarde (herhaaltijd 50 jaar) van het bodemniveau is -6,75 m. In deze case is rekening gehouden met grondwaterstroming. Voor de karakteristieke grondwatersituatie (herhaaltijd 50 jaar) zijn voor twee bodemdiepten grondwaterstromingsberekeningen gemaakt. In Bijlage B.3.2 wordt nader ingegaan op de wijze waarop de resultaten van de grondwaterstromingsberekeningen zijn gebruikt in de toegepaste grondwaterdrukverdeling.

Bij case D, varianten 1 en 3 is karakteristieke waarde (herhaaltijd 50 jaar) van het bodemniveau -6,91 m, zodat de rekenwaarde van de bodemligging gelijk is aan die van de basis case C.



Figuur 5 Basis case D.



## 2.5 Belastingen en bodemniveau

Voor de alle cases is voor de stochasten maaiveldbelasting, (grond)waterstanden en het bodemniveau uitgegaan van een Gumbelverdeling. De gemiddelde waarde van de maaiveldbelasting met een herhaaltijd van 50 jaar is 10 kPa, in lijn met wat de NEN1997-1 en de CUR166 adviseren voor dit type damwandconstructies en die voor een herhaaltijd van 1 jaar is de maaiveldbelasting 7,41kPa beide met een standaardafwijking van 1 kPa.

In Bijlage B.2 wordt nader ingegaan op de toegepaste verdeling van de (grond)waterstanden en Bijlage B.4 wordt nader ingegaan op de toegepaste verdeling van het bodemniveau.

## 2.6 Damwand

In de berekeningen voor het opstellen van het handboekdamwanden is circa 30 jaar geleden uitgegaan van een vaste relatie tussen traagheidsmoment en weerstandsmoment [GD 1990]. Voor de probabilistische berekening van case A t/m D is door de extra stochasten van dikteafname, de invloed van de vloeispanning de situatie complexer dan in 1990. In [Deltares 2023] is voor de range van damwand weerstandsmomenten waarbinnen de berekeningen zijn uitgevoerd een linearisatie opgesteld op basis van een reeks ArcelorMittal Z-profielen die is toegepast in de berekeningen. Deze aanpak is ook in dit onderzoek toegepast, zie bijlage B.5.

## 2.7 Verankering

In de cases met een verankerde damwand is het anker binnen de D-Sheet Piling berekeningen als oplegging met een stochastische veerconstante gemodelleerd. In de GTF-ANKER is uitgegaan van een ankerstaaf met een stochastische diameter en stochastische vloeisterkte, deze waarden zijn niet gecorreleerd aan de stochastische veerconstante. In Bijlage B.6 wordt nader ingegaan op de veerconstante en de initiële diameter van de ankerstaaf.

## 2.8 Corrosie modellering

In de probabilistische berekeningen is rekening gehouden met dikteafname van de damwand en de diameterafname van de ankerstaaf en de onzekerheid daarvan. De [NEN 6766] geeft verwachtingswaarden en de variatiecoëfficiënt gegeven voor de dikteafname van damwanden. In Bijlage B.7.1 wordt nader ingegaan op de wijze de dikteafname van de damwand is meegenomen.

In tegenstelling tot de dikteafname van damwanden door corrosie zijn ankerstangen weinig praktijkmetingen beschikbaar. Dat is de achtergrond waarom in de [NEN 6766] voor ankerstangen alleen rekenwaarden van de diameterafnamen worden gegeven. In Bijlage B.7.2 wordt nader ingegaan op de wijze de dikteafname toch als stochast in de probabilistische berekeningen is meegenomen.

## 2.9 Stochasten en correlaties tussen stochasten

Het aantal stochasten per probabilistische berekening verschilt. Het aantal stochasten hangt sterk af van het aantal grondlagen in een case. Het aantal stochasten per zandlaag is 4 en per kleilaag 5. In Bijlage B.8 is een overzicht en toelichting van de stochasten gegeven. Verder wordt Bijlage B.8 een overzicht per stochast gegeven of er sprake is van wel of geen autocorrelatie in de tijd bij een bewezen stekte analyse.

De stochasten per grondlaag zijn onderling gecorreleerd in Bijlage B.9 wordt een overzicht gegeven in welke mate deze stochasten zijn gecorreleerd.

## 2.10 Grenstoestandfuncties

Er zijn grenstoestandfuncties (GTF) gedefinieerd voor de volgende faalmechanismen:

- GTF-GEO = Bezwijken passieve wig/grondweerstand (GEO).
- GTF-WAND = Bezwijken damwand (STR).
- GTF-ANKER = Bezwijken ankerstang (STR).

De grenstoestandfuncties voor de probabilistische analyses van cases A t/m D staan gegeven in Tabel 1. De grenstoestandfunctie functie GFT-GEO heeft drie varianten:

- GFT-GEO-1 is voor passief bezwijken van verankerde wanden van case B en D. Bezwijken is gedefinieerd waarbij 99% van de passieve weerstand in D-Sheet Piling als grens is aangehouden. Voorbij de grens van 99% is de kans op numerieke instabiliteit in D-Sheet Piling te groot en zouden verstoringen werken op de probabilistische analyses.
- GFT-GEO-2 is voor passief bezwijken van de onverankerde wand van case A, waarbij 75,8 het percentage gemobiliseerde passieve weerstand in de CUR166-Klasse II berekening was waarbij de wand nog net stabiel was<sup>1</sup>.
- GFT-GEO-3 is voor passief bezwijken van de onverankerde wand van case C, waarbij 80,5 het percentage gemobiliseerde passieve weerstand in de CUR166-Klasse II berekening was waarbij de wand nog net stabiel was<sup>1</sup>.

Bij de grenstoestandfunctie van de GTF-WAND is het aandeel van de normaalkracht niet meegenomen. Opgemerkt wordt dat deze vereenvoudiging bij de 4 cases is toegestaan in [NEN 1993-5] indien het aandeel van de normaalkracht in de spanningen minder is dan 10%. De Tabel 2 staat de toelichting op de in Tabel 1 toegepaste symbolen.

Tabel 1 Grenstoestandfuncties (GTF) voor de Cases A t/m D.

GTF-naam	Limit state
GEO-1	$Z_{GEO;passive} = 99 - \theta_{m;MobP} MobPassive$
GEO-2	$Z_{GEO;passive} = 75,8 - \theta_{m;MobP} MobPassive$
GEO-3	$Z_{GEO;passive} = 80,5 - \theta_{m;MobP} MobPassive$
WAND	$Z_{STR;yield} = f_y - \theta_{m;MN} \times \frac{abs(M'_{max})}{W'_{wall;corr}}$
ANKER	$Z_{STR;anchor} = f_{y;a} - \theta_{m;F} F_{anchor} / A'_{anchor;corr}$

<sup>1</sup> Bij een onverankerde damwand is de volledige passieve weerstand niet beschikbaar voor het horizontale krachtenevenwicht omdat ook aan het momentenevenwicht moet worden voldaan via het contrapassief over het onderste deel van de damwand. Deze aanpak, met een case specifiek maximaal mogelijk mobiliseerbaar percentage passieve weerstand waarbij de damwand nog net stabiel is, is in lijn met de aanpak die in [GD 1990] voor onverankerde wand is toegepast

Tabel 2 Symbolenlijst voor de grenstoestandsfuncties.

Symbol	Eenheid	Toelichting
<b>Rood</b>		Stochastische variabelen
<b>Oranje</b>		Doorsnede eigenschappen afhankelijk van stochasten
<b>Groen</b>		Deterministische waarden
<b>Blauw</b>		Uitvoerwaarden van D-Sheet Piling
$Z_{STR;yield}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	Grenstoestandsfunctie maximum vloeit uiterste vezel damwandprofiel bij volplastisch moment bij Class 1 of ingeval van een Class 1 t/m 3 damwandprofiel bij het maximaal mogelijke moment
$Z_{STR;anchor}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	Grenstoestandsfunctie maximum ankerkracht
$Z_{GEO;passive}$	[%]	Grenstoestandsfunctie maximum gemobiliseerde passieve weerstand
$f_y$	[kN/m <sup>2</sup> ]	Vloeisterkte damwandstaal
$f_{y,a}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	Vloeisterkte ankerstaal
$M_{max}$	[kNm]	Maximum (absoluut) buigend moment berekend in D-Sheet Piling per meter wand
$F_{anchor}$	[kN]	Ankerkracht uit D-Sheet Piling berekening per meter wand
$W_{wall,corr}$	[m <sup>3</sup> ]	Weerstandsmoment van de al dan niet gecorrodeerde damwand per meter wand
$A_{anchor,corr}$	[m <sup>2</sup> ]	Dwarsdoorsnede van al dan niet gecorrodeerde ankerstang per meter wand
$\theta_{m;MN/F/MobP}$	[-]	Factor voor het in rekening brengen van modelonzekerheid bij gebruik D-Sheet Piling
$MobPassive$	[%]	Gemobiliseerde passieve weerstand als percentage van de maximaal te mobiliseren passieve weerstand in D-Sheet Piling berekening

## 3 Berekeningsresultaten

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de berekeningsresultaten van de probabilistische analyses van de 4 cases en hun 3 varianten gepresenteerd. Het betreft de probabilistische analyses waarbij in lijn met de CUR166 de betrouwbaarheid over de eerste 50 jaar, de ontwerplevensduur op is bepaald de levensduurkans en de probabilistische analyses op basis van jaarkansen met en zonder het effect van bewezen sterkte. De berekeningen op basis van jaarkansen bestrijken in principe een periode van 76 jaren. Waarbij in het 2<sup>e</sup> jaar het effect van bewezen sterkte pas wordt meegenomen over de daaraan voorafgaande jaren, dus in het eerste jaar is er geen verschil tussen de betrouwbaarheid met en zonder bewezen sterkte. Opgemerkt wordt dat bij het meenemen van de bewezen sterkte over alle voorgaande jaren feitelijk de faalkans in die voorgaande jaren gelijk is aan nul. Echter worden in die grafieken wel de tussenresultaten van die jaren weergegeven.

Als door numerieke instabiliteit er in een jaar geen oplossing is gevonden dan kan in de daar opvolgende jaren het effect van bewezen sterkte niet worden bepaald. Bij GTF-WAND trad deze numerieke instabiliteit vooral op in de eerste jaren, omdat simpel gezegd te vaak niet in de buurt van het falen van de wand ( $Z_{STR,yield} < 0$ ) kon worden gerekend als gevolg een instabiele damwand door het falen van de passieve weerstand en dus D-Sheet Piling geen buigend moment kon berekenen, die nodig is om  $Z_{STR,yield}$  te bepalen. Het resultaten hiervan is dat FORM-methode betrouwbaarheid in die gevallen niet kan berekenen. Voor de analyses waarin dit probleem van de numerieke instabiliteit optrad is gekozen voor een aangepaste aanpak waarbij het bewezen sterkte effect over de eerste jaren wordt verwaarloosd. De analyse op basis van jaarkansen wordt dan gestart in het jaar na het jaar waar de numerieke problemen optraden. Op deze wijze wordt een ondergrens van het effect van bewezen sterkte verkregen. Bij GTF-WAND van de basis case A traden er numerieke instabiliteit na 38 jaar er is bij die case gekozen tot daar te rekenen. Voor de gerealiseerde convergenties van de analyses, zie Bijlage C.

### 3.2 Case A

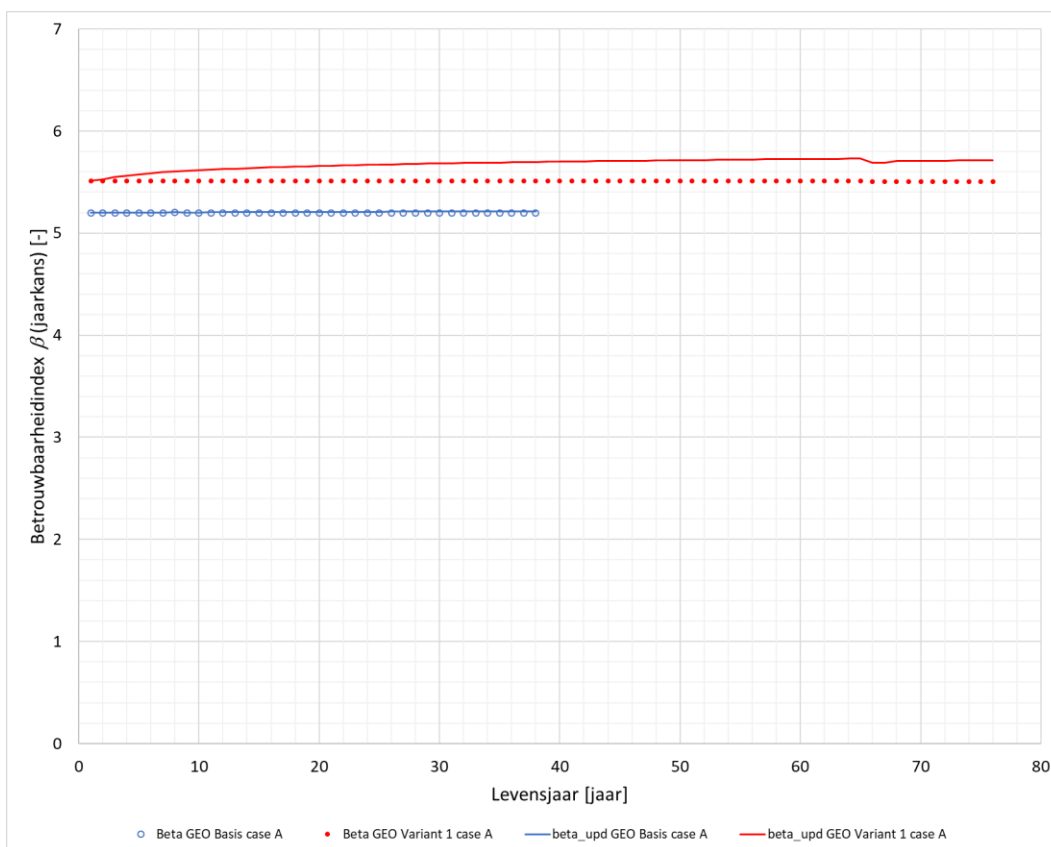
#### 3.2.1 Betrouwbaarheidsindex

In Tabel 3 zijn de in de probabilistische analyses berekende betrouwbaarheidsindices voor de twee grenstoestandsfuncties weergegeven. Door numerieke problemen was het niet mogelijk de betrouwbaarheden voor 50-jaarskans voor GTF-WAND te berekenen.

De probabilistische analyses voor GTF-GEO voor de basis case A verliepen moeizaam de berekeningen konden slechts bij een extreem kleine relaxatie factor worden uitgevoerd en dan nog resulteerde dat soms in numerieke instabiliteit. Besloten is de berekeningen te stoppen na het 38<sup>e</sup> jaar. Uit de analyse van de resultaten bleek overigens dat bewezen sterkte in dit bijzondere geval als gevolg van de dominantie van de onzekerheid van de tijdsvariante bodemdiepte geen enkel effect had op de resultaten dus het maakte achteraf niet uit niet tot met het 76<sup>e</sup> jaar was door gerekend. Het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindicie als functie van het levensjaar van GTF-GEO zijn weergegeven in Figuur 6.

Tabel 3 Betrouwbaarheidsindicie [-] uit probabilistische analyses, Case A.

Grens-toestands-functie	Basis case of variant nummer	50-jaarskans, levensduurkans over de periode van de eerste 50 levensjaren [-]	1-jaarkans					
			Zonder bewezen sterkte			Met bewezen sterkte (geen falen tot aan dat jaar)		
			1 <sup>e</sup> jaar [-]	50 <sup>e</sup> jaar [-]	76 <sup>e</sup> jaar [-]	1 <sup>e</sup> jaar [-]	50 <sup>e</sup> jaar [-]	76 <sup>e</sup> jaar [-]
GEO	basis	4,2	5,2	nb <sup>2</sup>	nb <sup>2</sup>	5,2	nb <sup>2</sup>	nb <sup>2</sup>
	variant 1	4,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,7	5,7
WAND	basis	nb <sup>2</sup>	nb <sup>2</sup>	4,0	2,5	nb <sup>2</sup>	(4,3) <sup>3</sup>	(3,2) <sup>3</sup>
	variant 1	nb <sup>2</sup>	nb <sup>2</sup>	3,8	2,3	nb <sup>2</sup>	(4,1) <sup>3</sup>	(3,1) <sup>3</sup>
	variant 2	nb <sup>2</sup>	nb <sup>2</sup>	5,3	4,0	nb <sup>2</sup>	(5,3) <sup>4</sup>	(4,2) <sup>4</sup>
	variant 3	nb <sup>2</sup>	nb <sup>2</sup>	5,6	3,7	nb <sup>2</sup>	(5,7) <sup>5</sup>	(4,0) <sup>5</sup>



Figuur 6 Case A betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO.

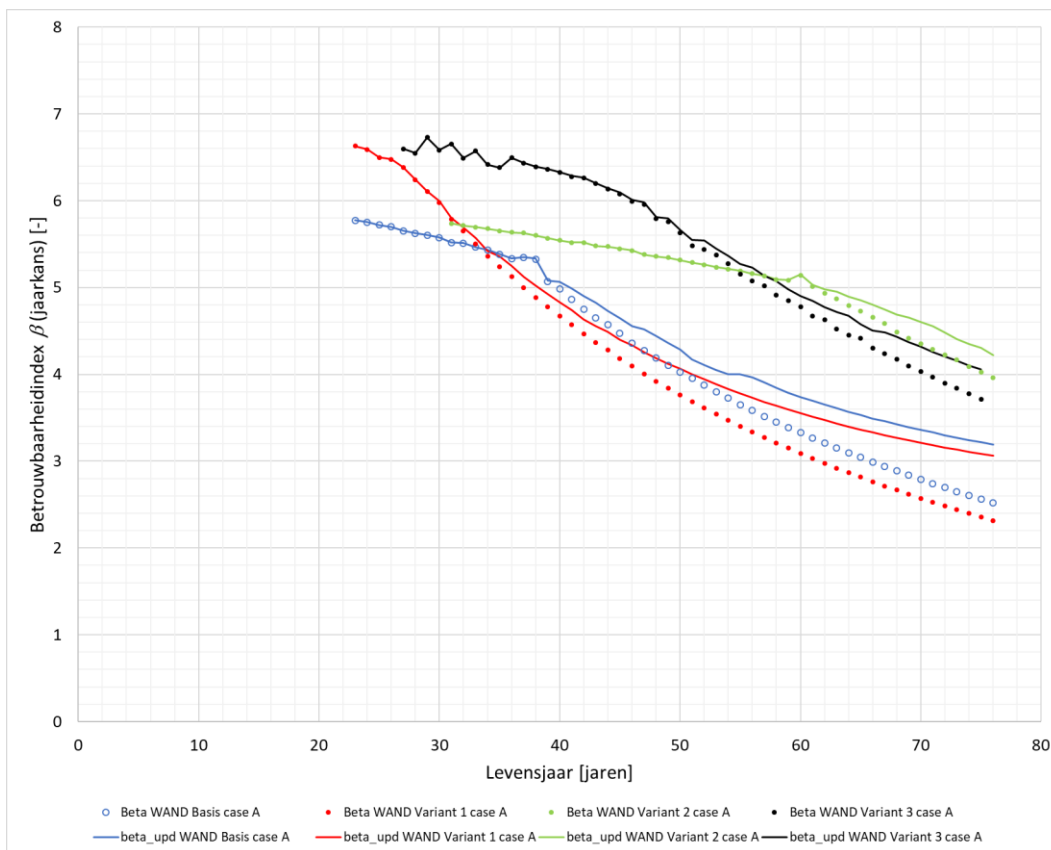
De probabilistische analyses voor GTF-WAND voor de case A verliepen moeizaam er traden in de eerste levensjaren veel numerieke problemen op alle analyse beginnen daarom niet in het eerste levensjaar. Het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindicie als functie van het levensjaar van GTF-WAND zijn weergegeven in Figuur 7.

<sup>2</sup> Niet berekend vanwege numerieke problemen

<sup>3</sup> Betreft onderschatting het effect van bewezen sterkte over eerste 22 jaar is vanwege numerieke problemen niet meegenomen

<sup>4</sup> Betreft onderschatting het effect van bewezen sterkte over eerste 30 jaar is vanwege numerieke problemen niet meegenomen

<sup>5</sup> Betreft onderschatting het effect van bewezen sterkte over eerste 26 jaar is vanwege numerieke problemen niet meegenomen



Figuur 7 Case A betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterke grenstoestandsfunctie WAND.

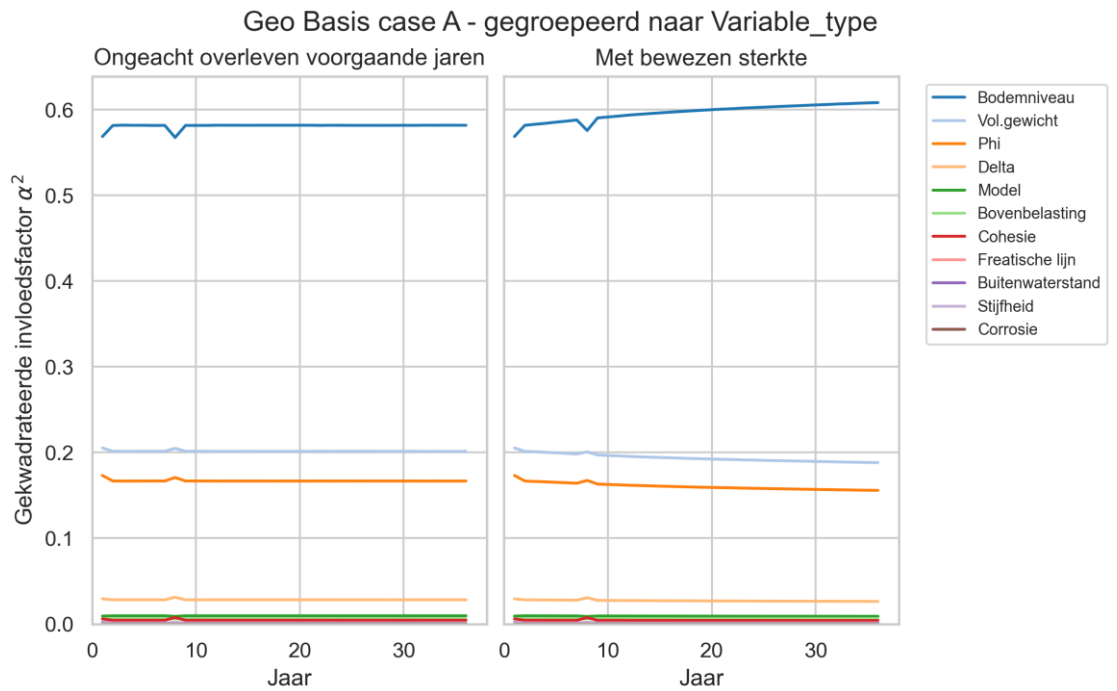
### 3.2.2 Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-GEO

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie GEO staan voor de basis case A in Figuur 8 en van variant 1 in Figuur 9.

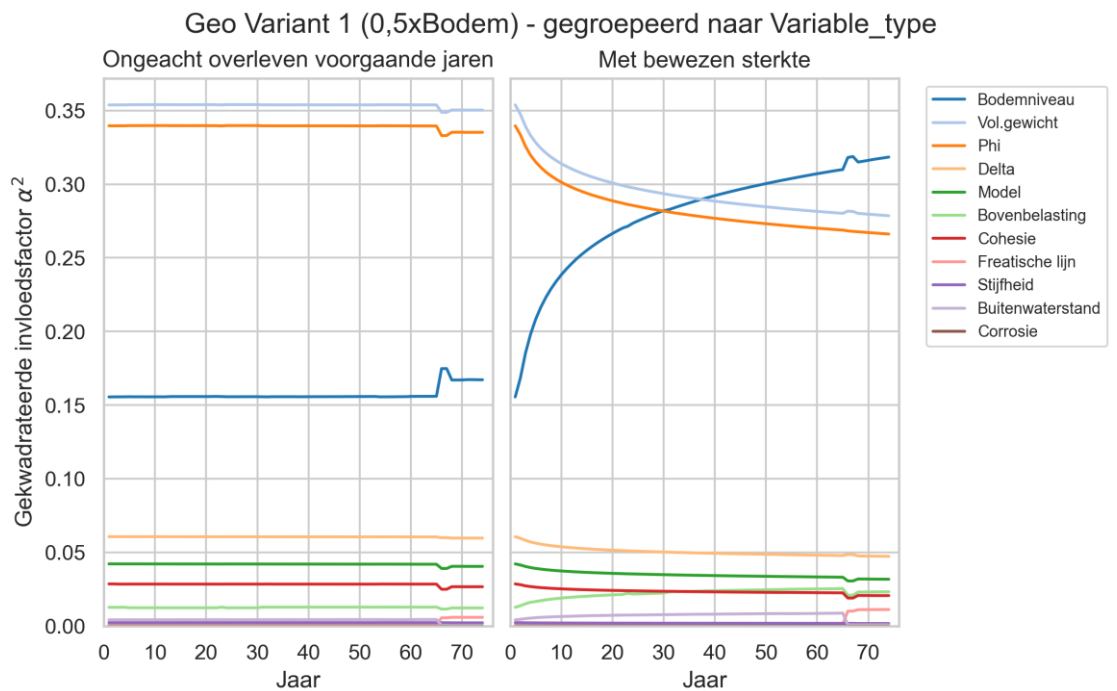
Aan de linkerkant van Figuur 8 en Figuur 9 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterke weergegeven en aan de rechterkant die met het effect van bewezen sterke.

Verder zijn voor GTF-GEO van basis case A en variant 1 in Bijlage D.1.1 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.



Figuur 8 Case A gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, basis case. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi'$ .



Figuur 9 Case A gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, variant 1. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi'$ .

### 3.2.3 Invloedsfactoren en waarden in ontwerp punt GTF-WAND

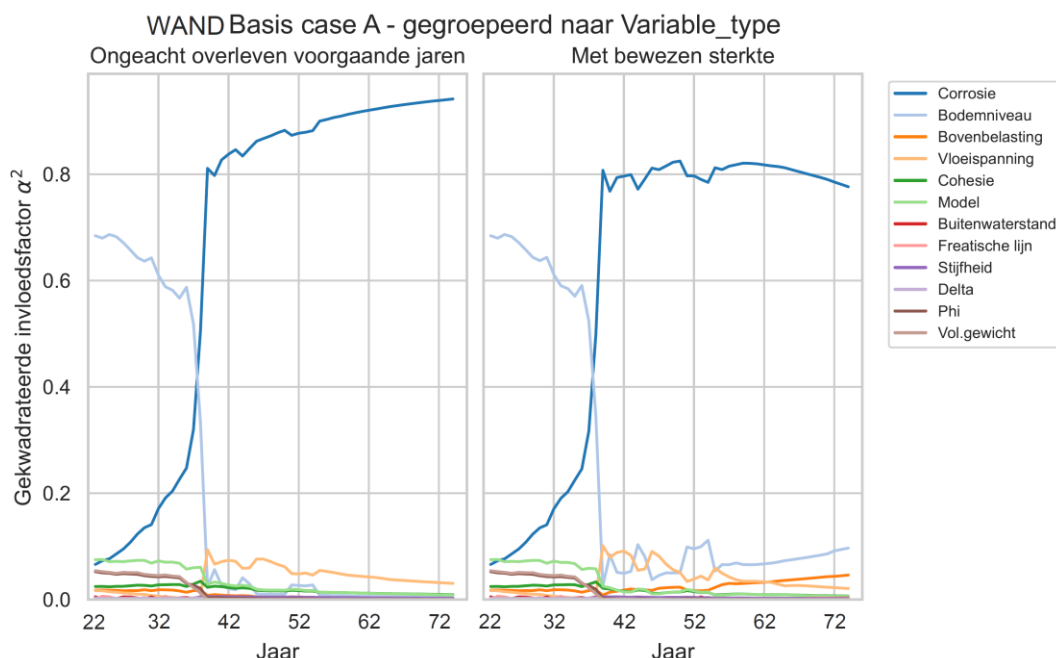
Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie WAND staan voor de basis case A t/m variant 3 in Figuur 10 t/m Figuur 13. Aan de linkerkzijde van Figuur 10 t/m Figuur 13 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterzijde die met het effect van bewezen sterkte. In Tabel 4 wordt een algemene toelichting gegeven over het beeld in de figuren met de invloedsfactoren als functie van de jaren.

Tabel 4 Toelichting bij het beeld in de figuren met de invloedsfactoren als functie van de jaren.

Opgemerkt wordt dat het “schokkerige” beeld van de lijnen in de figuren gebruikelijk zijn bij dit soort analyses, bij interpretatie wordt daarom gekeken naar het beeld/trend. De nauwkeurigheid waarmee invloedsfactoren worden bepaald is minder groot dan waarmee de betrouwbaarheidsindex wordt bepaald. De betrouwbaarheidsindex wordt namelijk bepaald door het cumulatieve effect van de individuele invloedsfactoren. Verder moet nog worden opgemerkt dat de FORM-methode waarmee de probabilistische analyses zijn uitgevoerd zoekt naar een combinatie van de invloedsfactoren waarbij de betrouwbaarheidsindex minimaal is (het ontwerp punt). Maar soms zijn er meer dan 1 combinaties van invloedsfactoren die ook tot een bijna zo'n lage betrouwbaarheid leiden. In dergelijke situaties kan er bijvoorbeeld bij een toename van de corrosie over de jaren een andere combinatie van invloedsfactoren resulteren in de laagste betrouwbaarheid. In de figuren van de invloedsfactoren als functie van de jaren kan dit leiden tot een plotselinge verandering van de verdeling tussen de invloedsfactoren, wat dus het gevolg is van de FORM-methode die alleen de waarden in het ontwerp punt geeft. Andere meer rekenintensieve verfijndere probabilistische methoden zoals 'directional sampling' en 'Monte Carlo' laten dan meer geleidelijke verlopen van de invloedsfactoren over de jaren laten zien. Overigens kan de plotselinge verandering van de verdeling tussen de invloedsfactoren resulteren in trendverandering in het verloop van de betrouwbaarheidsindex omdat de “nieuwe” maatgevende combinatie van invloeden een andere trend heeft dan die daarvoor.

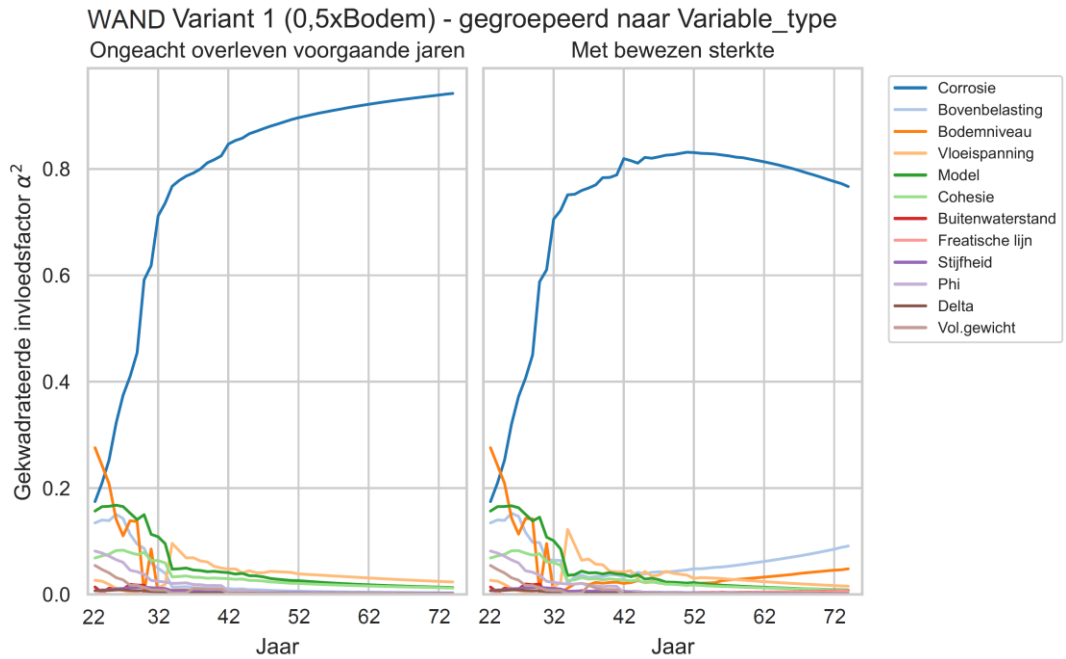
Verder zijn voor GTF-WAND van basis case A t/m variant 3 in Bijlage D.1.2 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.

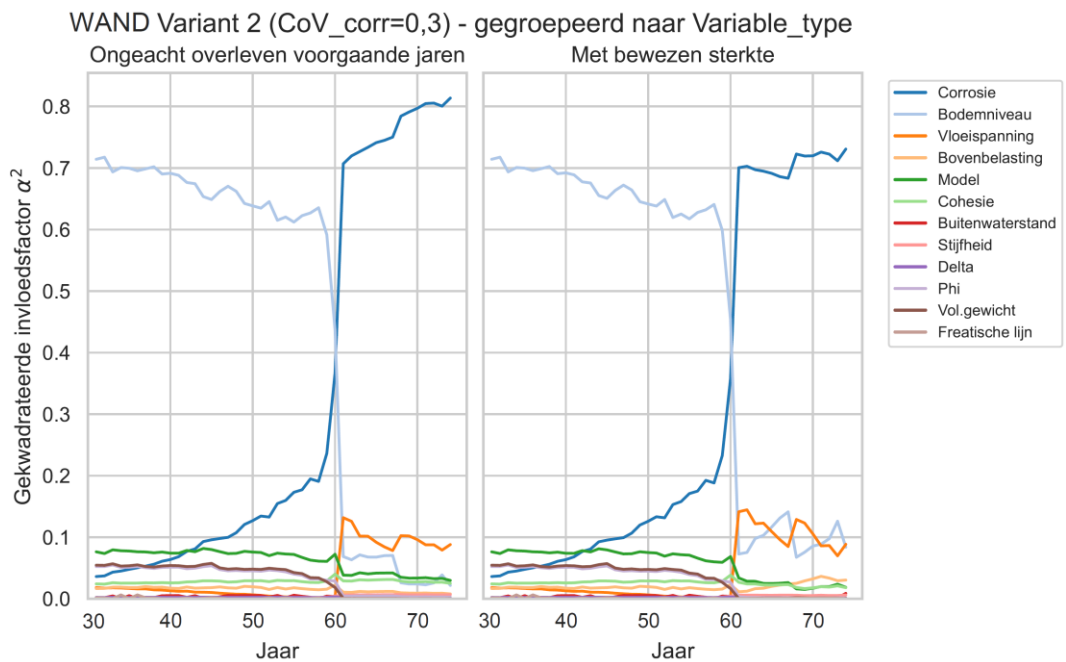


Figuur 10 Case A gekwadraterde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, basis case A. “Delta” in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi'$

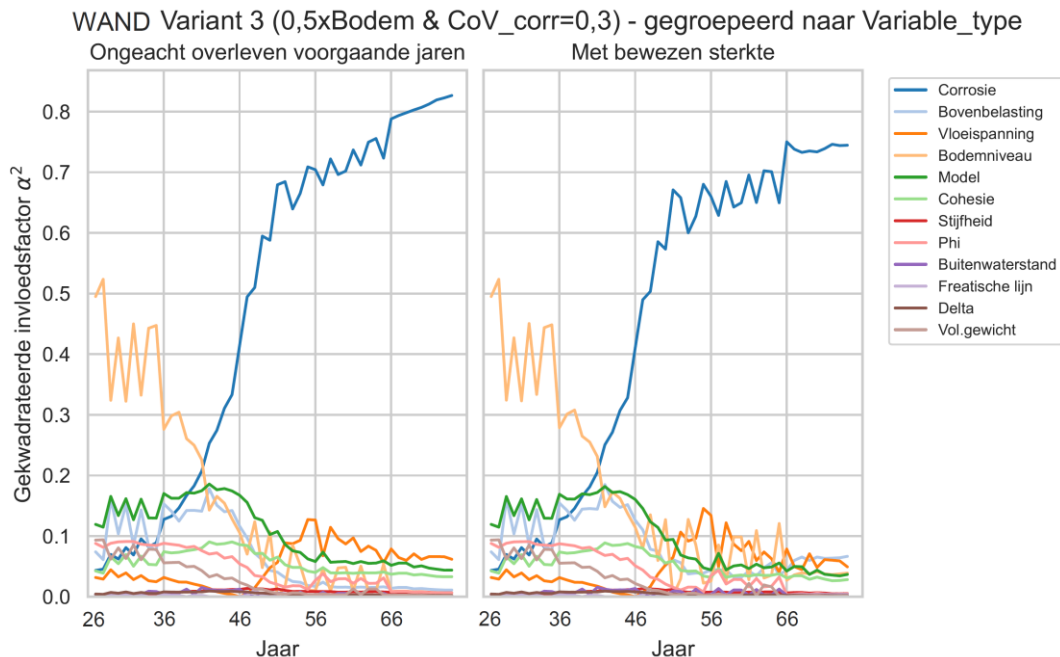




Figuur 11 Case A gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 1. "Delta" in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi'$



Figuur 12 Case A gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 2. "Delta" in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi'$



Figuur 13 Case A gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 3. "Delta" in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

### 3.3 Case B

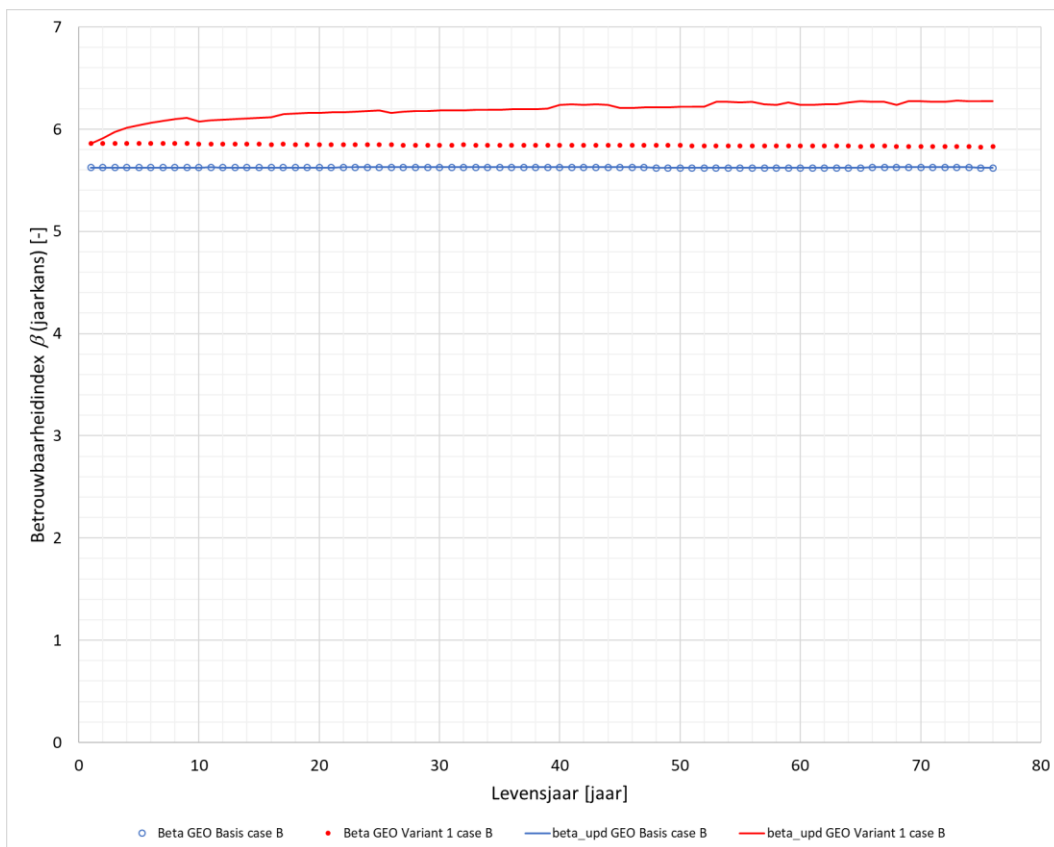
#### 3.3.1 Betrouwbaarheidsindex

In Tabel 5 zijn de in de probabilistische analyses berekende betrouwbaarheidsindicie voor de drie grenstoestandsfuncties weergegeven. Het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindicie op basis van jaarkansen als functie van het levensjaar van GTF-GEO, WAND en ANKER zijn weergegeven in Figuur 6 t/m Figuur 16.

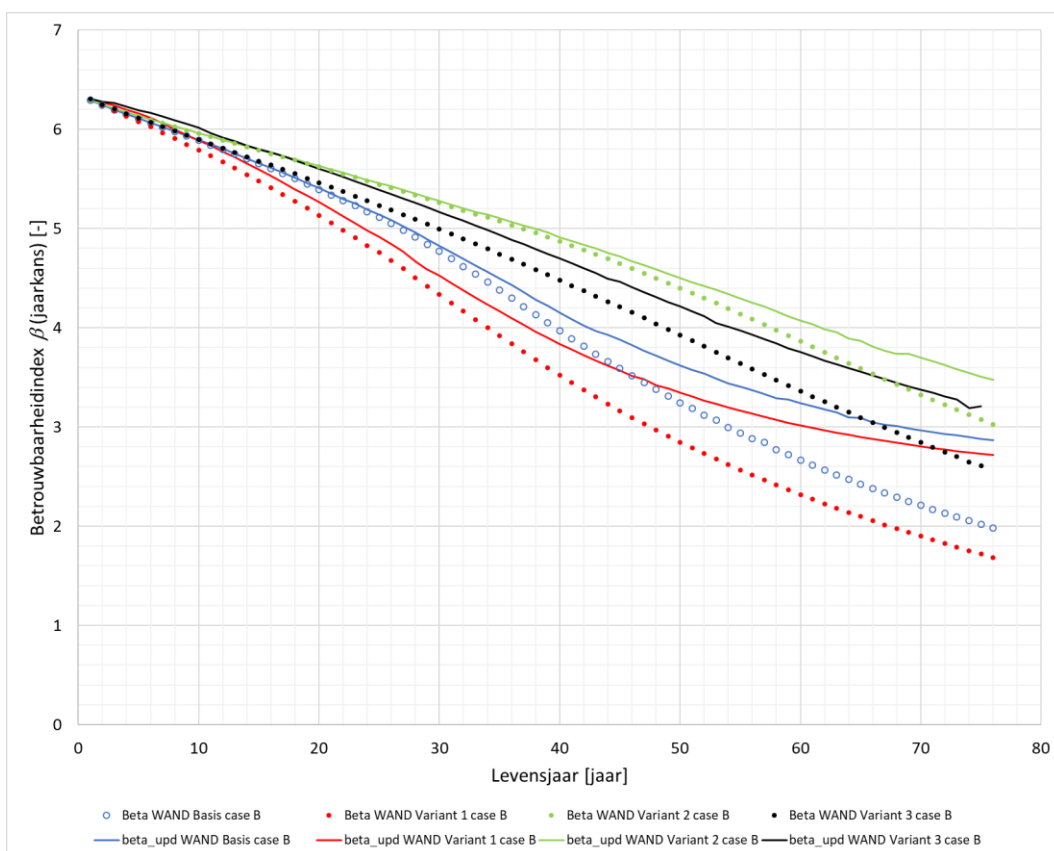
Tabel 5 Betrouwbaarheidsindicie [-] uit probabilistische analyses, Case B.

Grenstoestandsfunctie	Basis case of variant nummer	50-jaarskans, levensduurkans over de periode van de eerste 50 levensjaren [-]	1-jaarkans					
			Zonder bewezen sterkte			Met bewezen sterkte (geen falen tot aan dat jaar)		
			1 <sup>e</sup> jaar [-]	50 <sup>e</sup> jaar [-]	76 <sup>e</sup> jaar [-]	1 <sup>e</sup> jaar [-]	50 <sup>e</sup> jaar [-]	76 <sup>e</sup> jaar [-]
GEO	basis	4,7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
	variant 1	4,9	5,86	5,84	5,83	5,9	6,2	6,3
WAND	basis	2,4	6,3	3,2	2,0	6,3	3,6	2,9
	variant 1	2,2	6,3	2,8	1,7	6,3	3,3	2,7
	variant 2	3,2	6,3	4,4	3,9	6,3	4,5	3,5
	variant 3	2,9	6,3	3,9	<2,6> <sup>6</sup>	6,3	4,2	<3,2> <sup>6</sup>
ANKER	basis	4,4	6,7	5,5	4,9	6,7	5,7	6,4
	variant 1	4,2	6,4	5,1	4,6	6,4	5,4	4,9

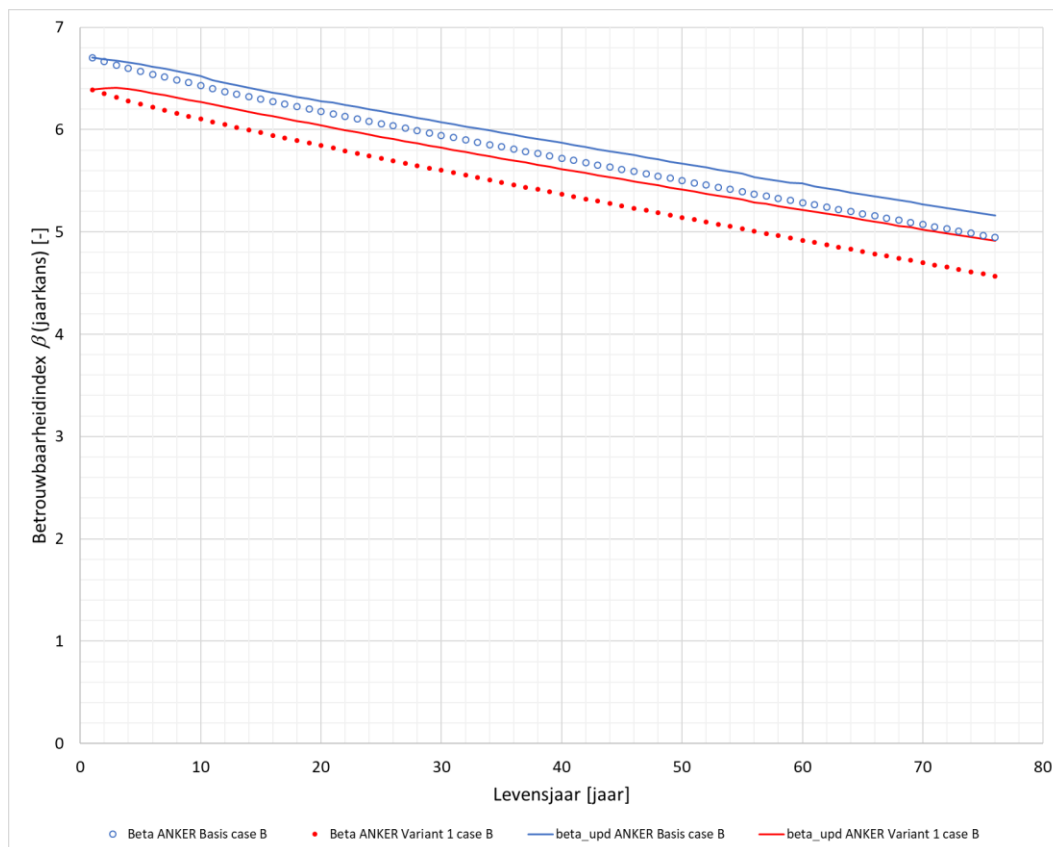
<sup>6</sup> Betreft de waarde van het 75<sup>e</sup> jaar, de berekening van het 76<sup>e</sup> jaar gaf numerieke problemen. Opgemerkt wordt dat basis van extrapolatie van de trend van de berekende waarden voor de laatste jaren de op 1 decimaal afgeronde waarde voor het 76<sup>e</sup> jaar overeenkomt met de gepresenteerde waarde voor het 75<sup>e</sup> jaar



Figuur 14 Case B betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO.



Figuur 15 Case B betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND.



Figuur 16 Case B betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie ANKER.

### 3.3.2 Invloedsfactoren en waarden in ontwerp punt GTF-GEO

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie GEO staan voor de basis case B in Figuur 17 en van variant 1 in Figuur 18.

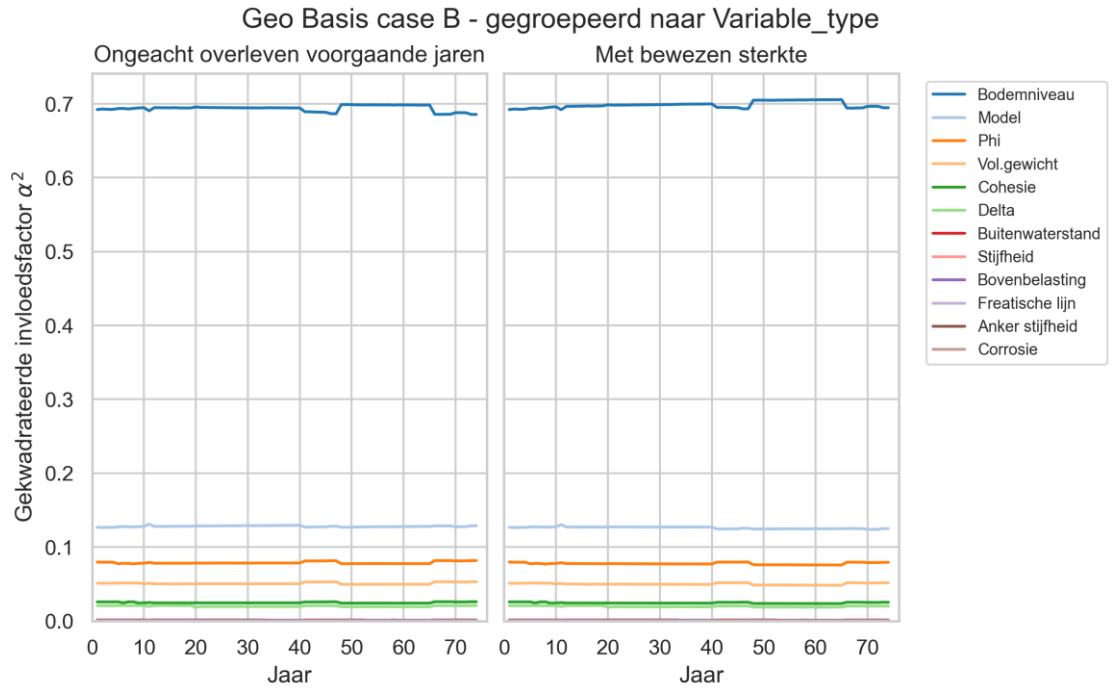
In Figuur 19 staan per stochast groep gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) de resultaten van GTF-GEO van basis case B en variant 1 gecombineerd weergegeven<sup>7</sup>.

Aan de linkerkant van Figuur 17 t/m Figuur 19 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterkant die met het effect van bewezen sterkte.

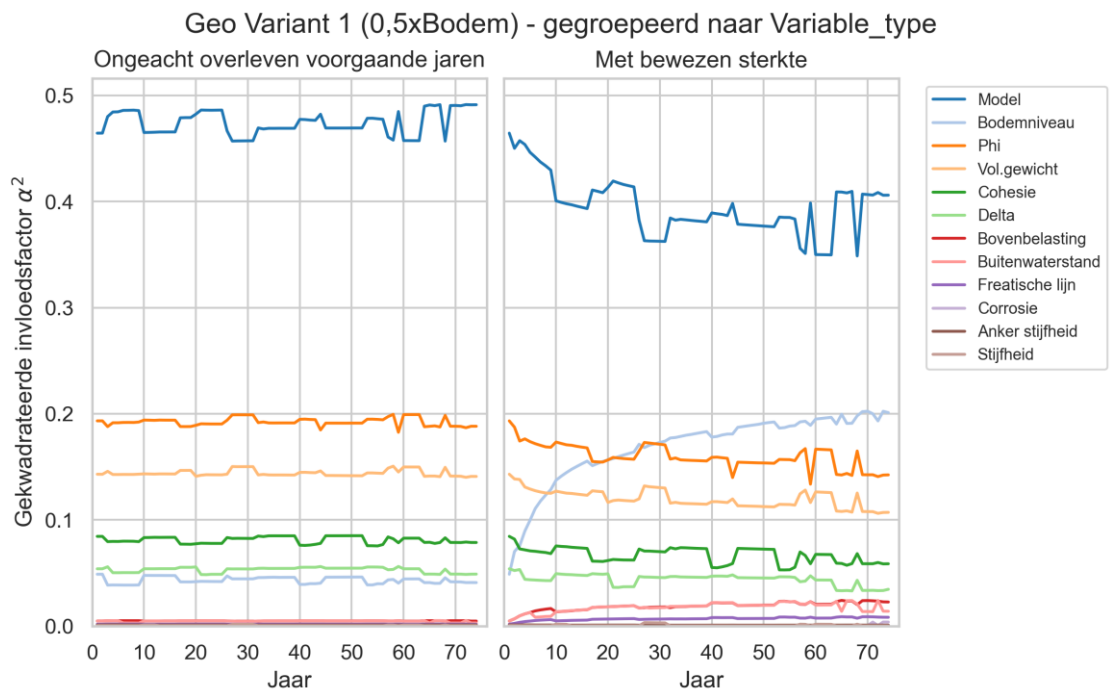
Verder zijn voor GTF-GEO van basis case B en variant 1 in Bijlage D.1.3 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.

<sup>7</sup> Dit type figuur is alleen gegenereerd voor Case B omdat alle berekeningen over de volledige periode konden worden gemaakt.

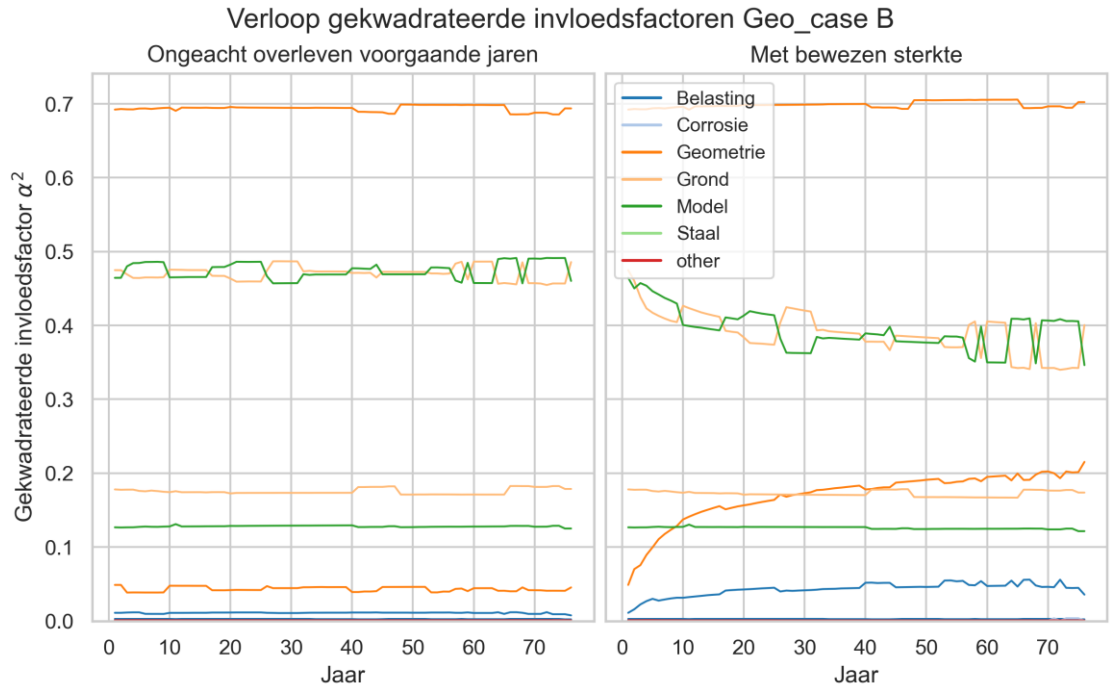


Figuur 17 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, basis case B. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$



Figuur 18 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, variant 1. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

In Figuur 21, Figuur 24 en Figuur 27 zijn de waterstand, grondwaterstand en maaiveldbelasting zijn gecombineerd tot "Belasting" en  $\gamma_{sat}$ ,  $\phi$ , c,  $K_1$  en R zijn gecombineerd tot "Grond". En "Geometrie" staat voor het bodemniveau, "Staal" de vloeisterkte, "Model" de modelonzekerheid, "Corrosie" de corrosie en "other" de ankerstijfheid.



Figuur 19 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, combinatie plot van de basis case B en variant 1

### 3.3.3 Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-WAND

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie WAND staan voor de basis case B t/m variant 3 in Figuur 20 t/m Figuur 23.

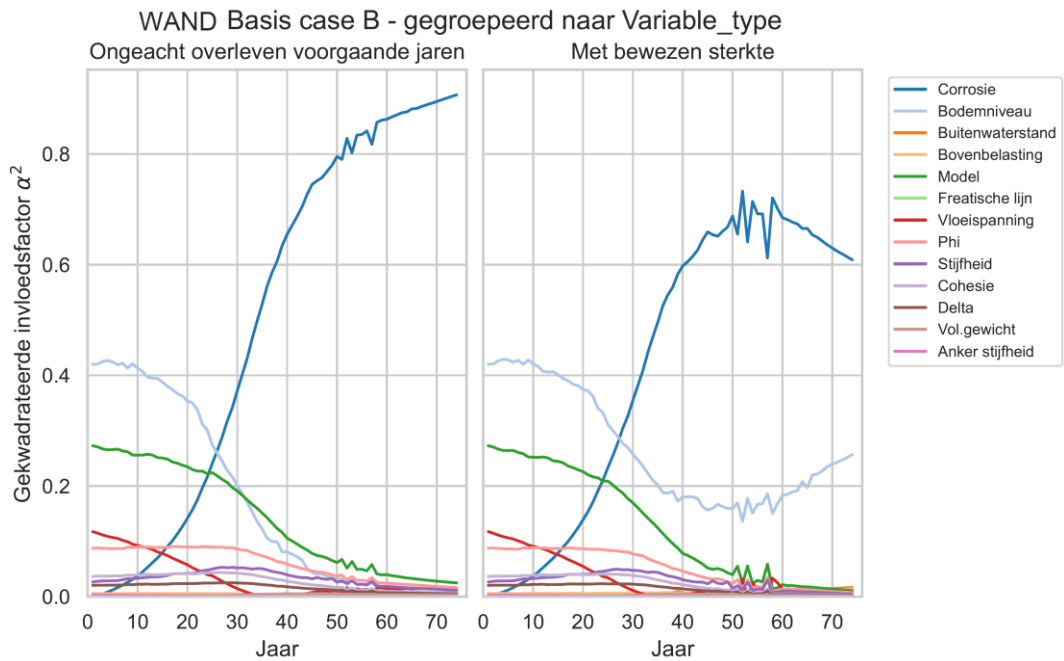
In Figuur 24 staan per stochast groep gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) de resultaten van GTF-WAND van basis case B t/m variant 3 gecombineerd weergegeven<sup>8</sup>.

Aan de linkerzijde van Figuur 20 t/m Figuur 24 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterzijde die met het effect van bewezen sterkte.

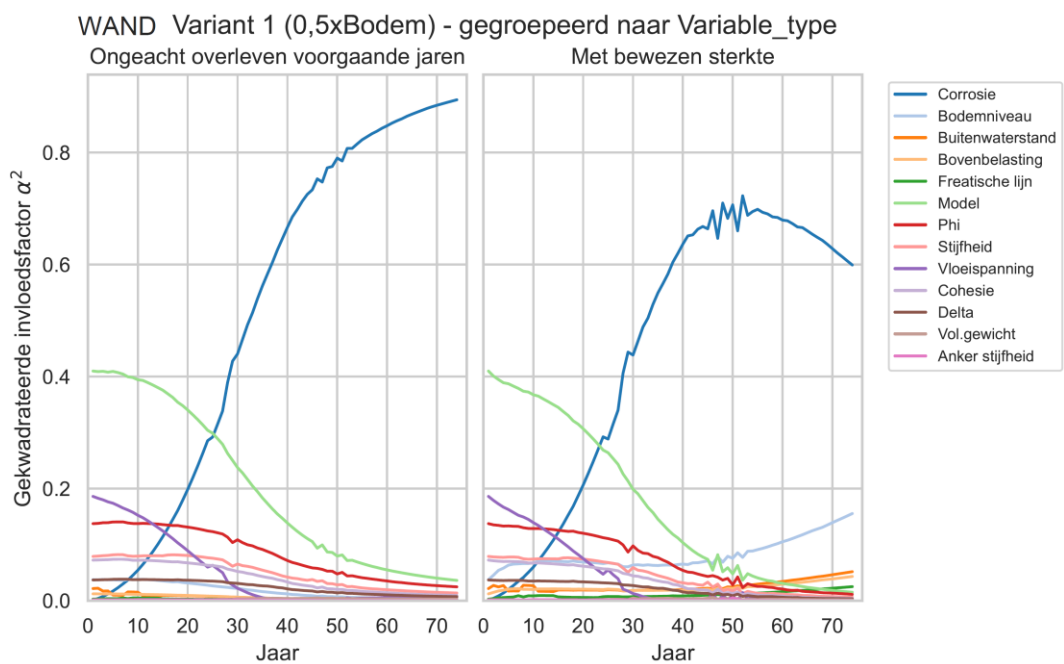
Verder zijn voor GTF-WAND van basis case B t/m variant 3 in Bijlage D.1.4 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De stochastgroep gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.

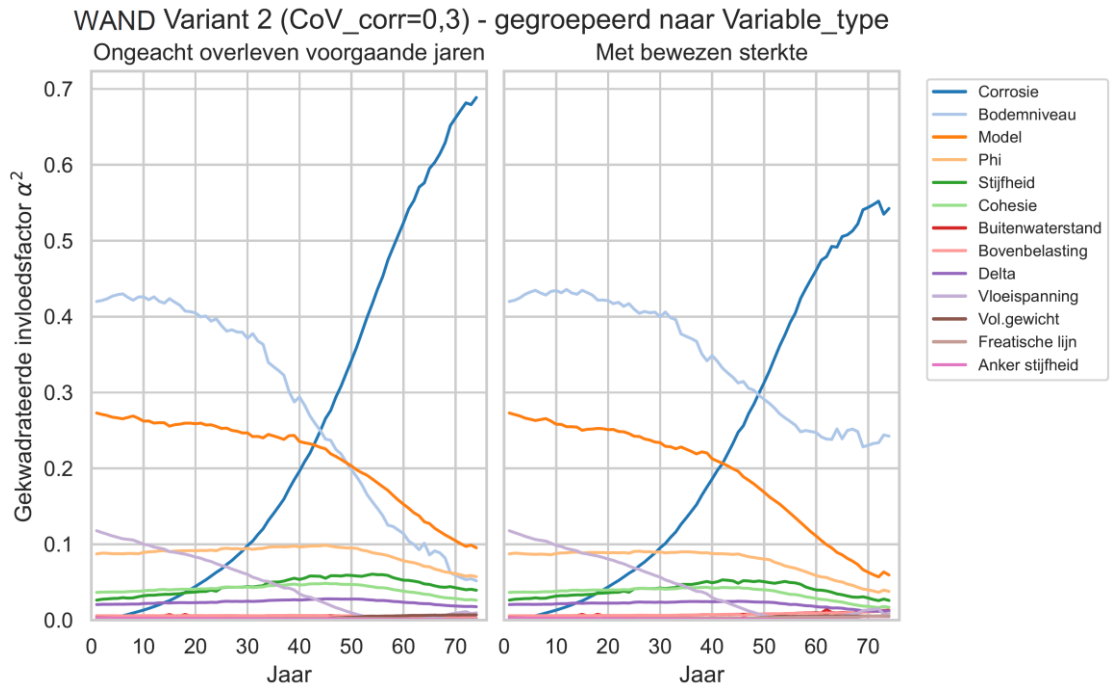
<sup>8</sup> Dit type figuur is alleen gegenereerd voor Case B omdat alle berekeningen over de volledige periode konden worden gemaakt



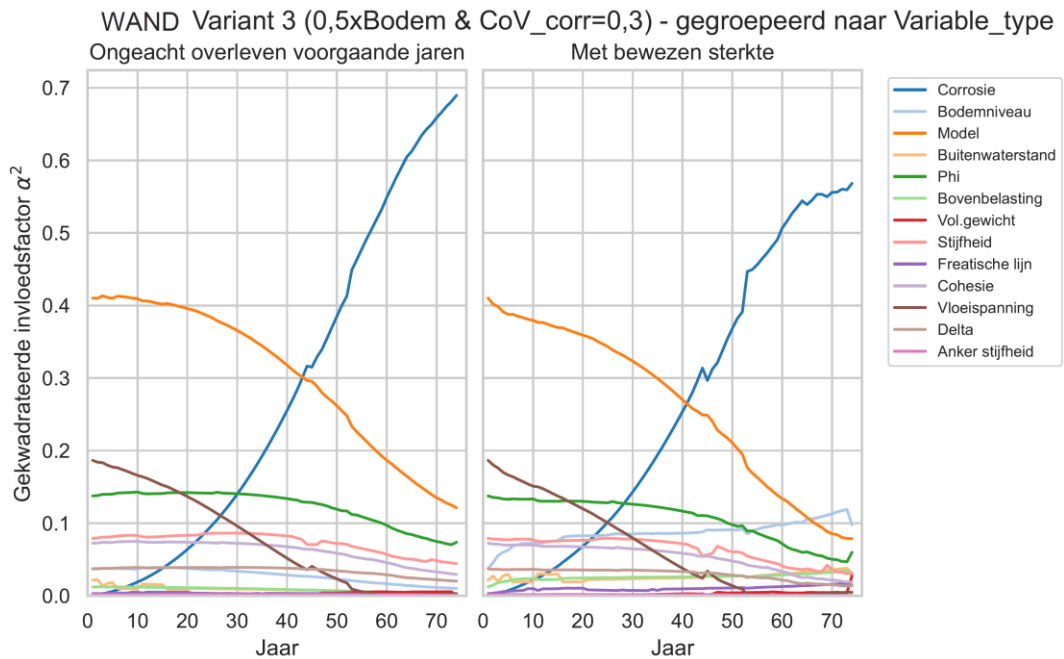
Figuur 20 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, basis case B. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$



Figuur 21 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 1. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

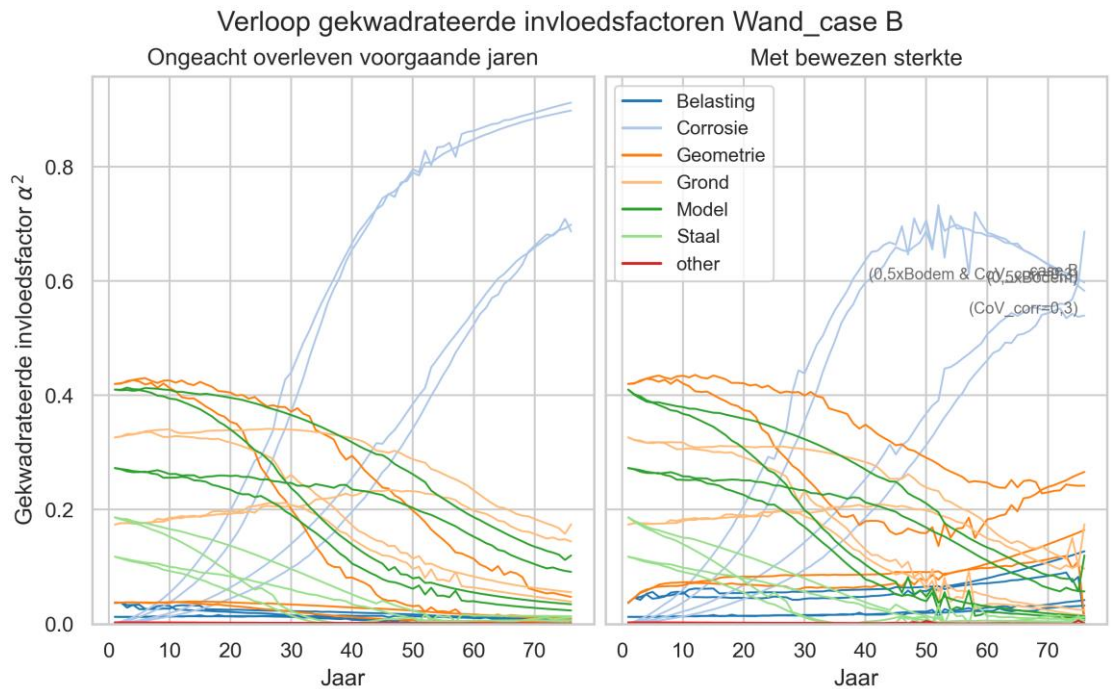


Figuur 22 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 2. "Delta" in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi'$



Figuur 23 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 3. "Delta" in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi'$





Figuur 24 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, combinatie plot van de basis case B en variant 1 t/m 3

### 3.3.4 Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-ANKER

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie ANKER staan voor de basis case B in Figuur 25 en van variant 1 in Figuur 26.

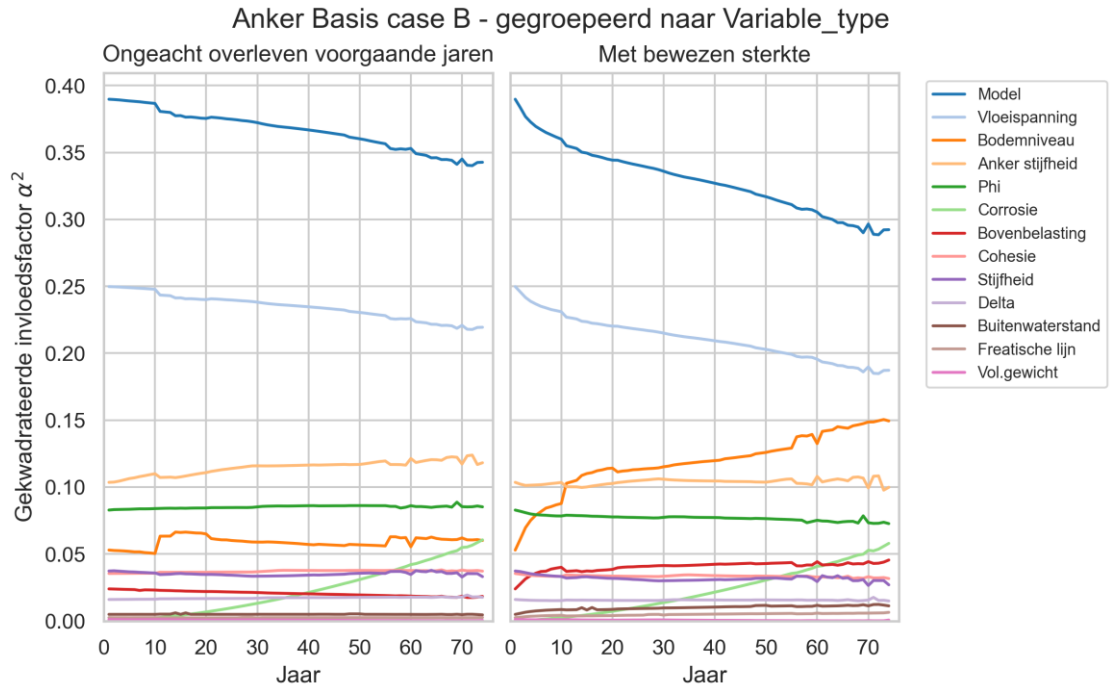
In Figuur 27 staan per stochast groep gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) de resultaten van GTF-ANKER van basis case B en variant 1 gecombineerd weergegeven<sup>9</sup>.

Aan de linkerzijde van Figuur 25 t/m Figuur 27 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterzijde die met het effect van bewezen sterkte.

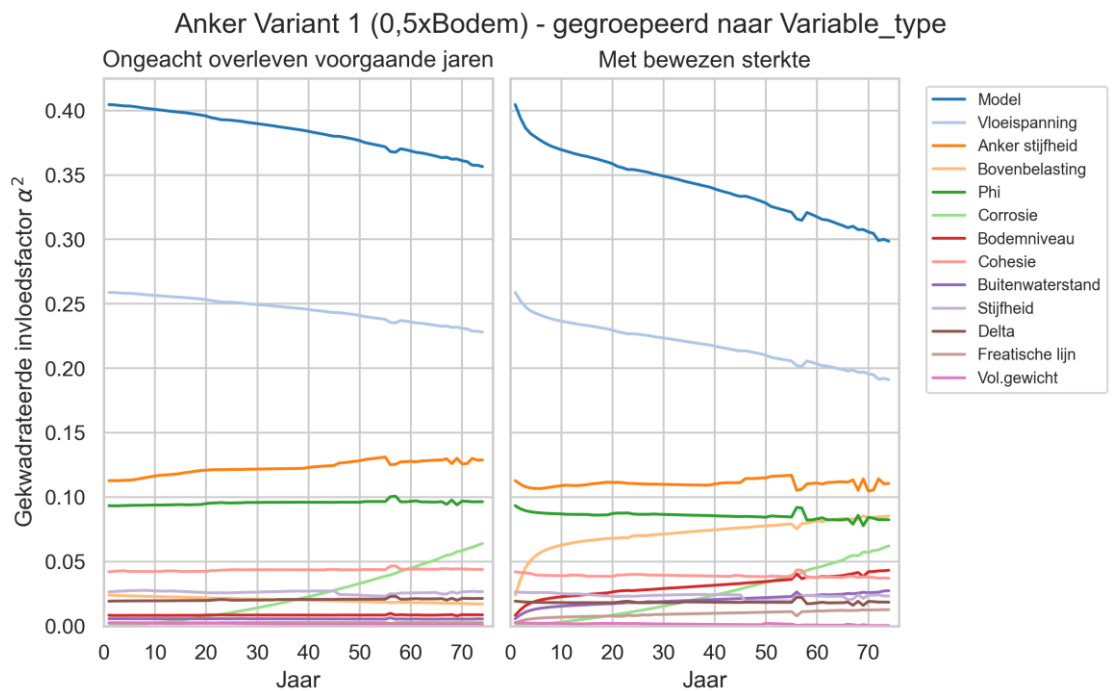
Verder zijn voor GTF-ANKER van basis case B en variant 1 in Bijlage D.1.5 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.

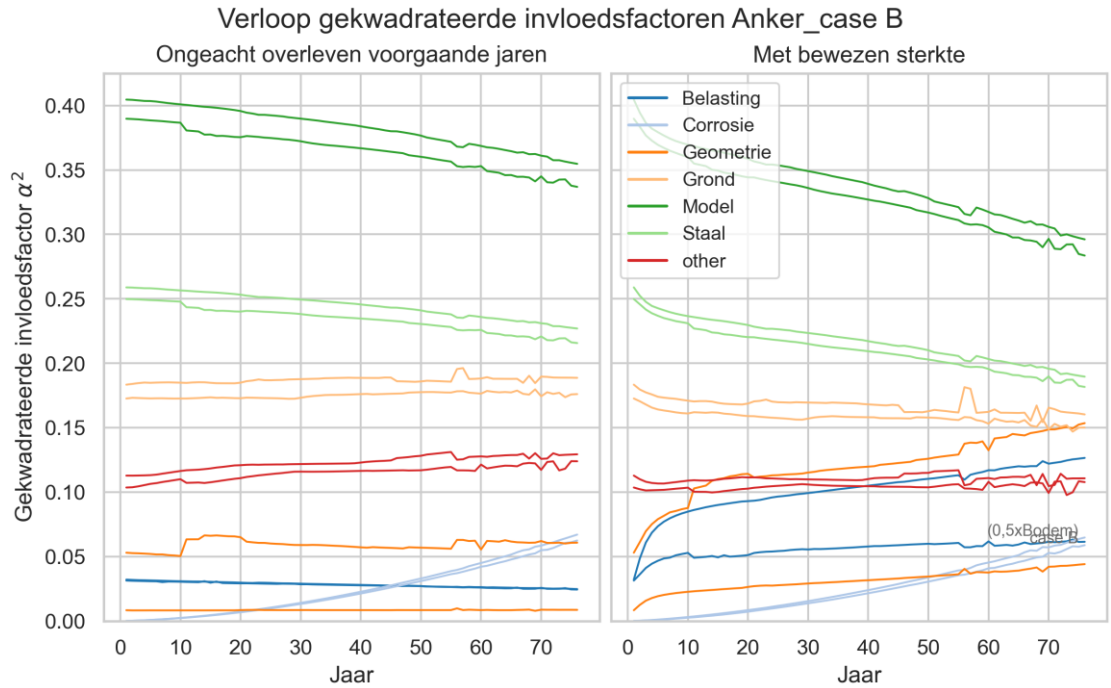
<sup>9</sup> Dit type figuur is alleen gegenereerd voor Case B omdat alle berekeningen over de volledige periode konden worden gemaakt.



Figuur 25 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie ANKER, basis case B. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$



Figuur 26 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie ANKER, combinatie plot van de basis case B en variant 1



Figuur 27 Case B gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie ANKER, combinatie plot van de basis case B en variant 1

### 3.4 Case C

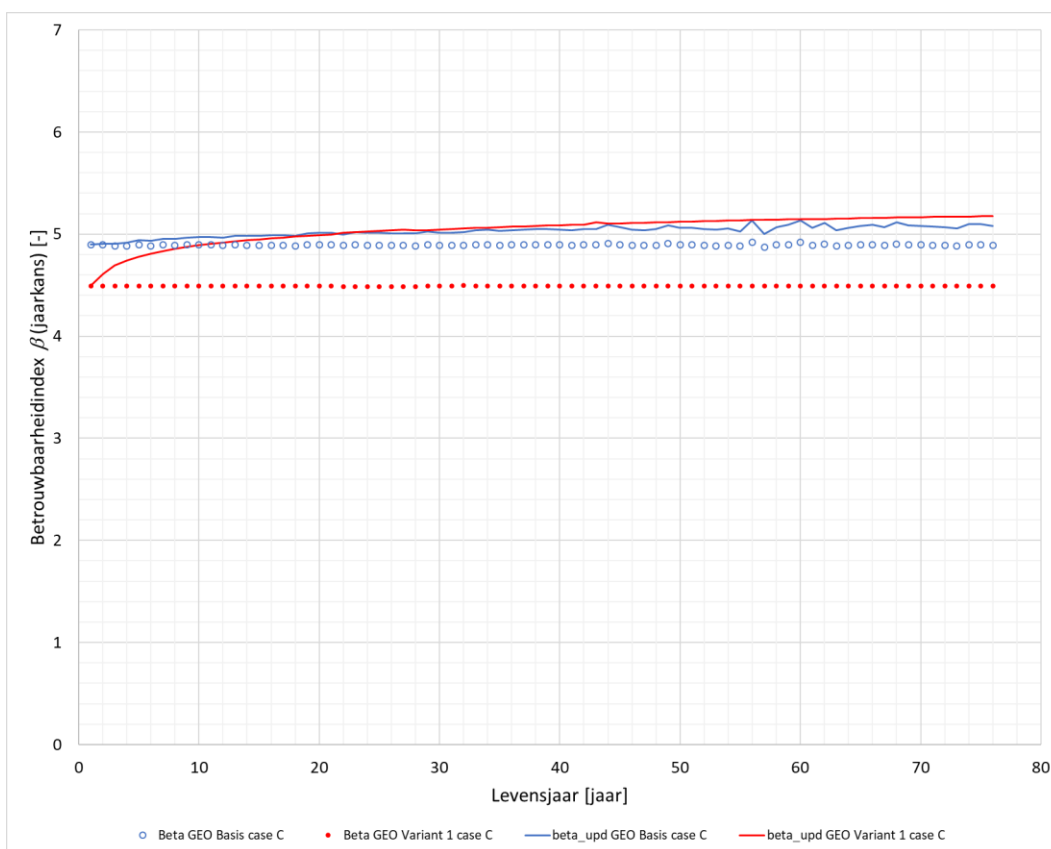
In Tabel 6 zijn de in de probabilistische analyses berekende betrouwbaarheidsindicie voor de twee grenstoestandsfuncties weergegeven.

Het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindicie op basis van jaarkansen als functie van het levensjaar van GTF-GEO is weergegeven in Figuur 28.

De probabilistische analyses voor GTF-WAND voor variant 1 en 3 van case D verliepen moeizaam er traden in de eerste levensjaren veel numerieke problemen deze analyses beginnen daarom niet in het eerste levensjaar. Het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindicie op basis van jaarkansen als functie van het levensjaar van GTF-WAND zijn weergegeven in Figuur 29.

Tabel 6 Betrouwbaarheidsindicie [-] uit probabilistische analyses, Case C.

Grenstoestandsfunctie	Basis case of variant nummer	50-jaarskans, levensduurkans over de periode van de eerste 50 levensjaren [-]	1-jaarskans					
			Zonder bewezen sterkte			Met bewezen sterkte (geen falen tot aan dat jaar)		
			1 <sup>e</sup> jaar [-]	50 <sup>e</sup> jaar [-]	76 <sup>e</sup> jaar [-]	1 <sup>e</sup> jaar [-]	50 <sup>e</sup> jaar [-]	76 <sup>e</sup> jaar [-]
GEO	basis	3,4	4,9	4,9	4,9	4,9	5,1	5,1
	variant 1	3,7	4,5	4,5	4,5	4,5	5,1	5,2
WAND	basis	2,9	nb <sup>10</sup>	3,9	2,5	nb <sup>10</sup>	(4,1) <sup>11</sup>	(3,2) <sup>11</sup>
	variant 1	2,7	nb <sup>10</sup>	3,5	2,2	nb <sup>10</sup>	(3,8) <sup>11</sup>	(3,0) <sup>11</sup>
	variant 2	3,5	nb <sup>10</sup>	4,8	3,8	nb <sup>10</sup>	(4,9) <sup>12</sup>	(4,0) <sup>12</sup>
	variant 3	3,3	nb <sup>10</sup>	4,5	3,3	nb <sup>10</sup>	(4,8) <sup>13</sup>	(3,7) <sup>13</sup>



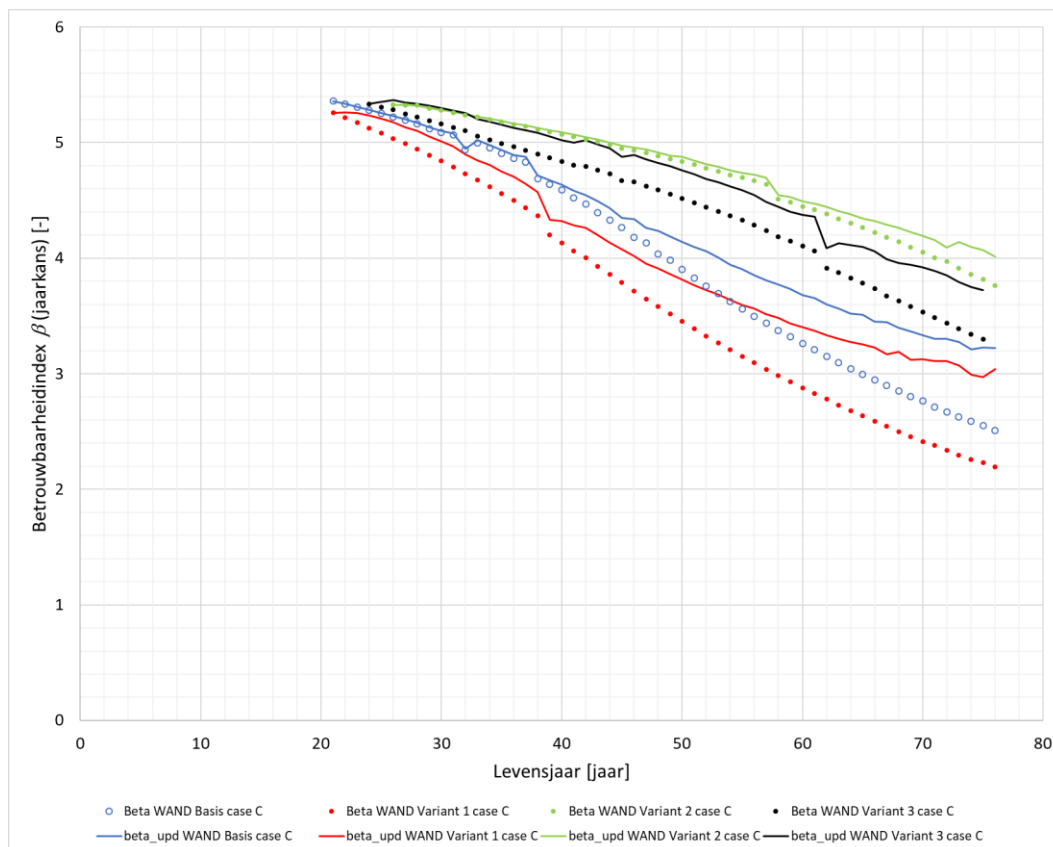
Figuur 28 Case C betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO.

<sup>10</sup> Niet berekend vanwege numerieke problemen

<sup>11</sup> Betreft onderschatting effect van bewezen sterkte over eerste 20 jaar is vanwege numerieke problemen niet meegenomen

<sup>12</sup> Betreft onderschatting effect van bewezen sterkte over eerste 25 jaar is vanwege numerieke problemen niet meegenomen

<sup>13</sup> Betreft onderschatting effect van bewezen sterkte over eerste 23 jaar is vanwege numerieke problemen niet meegenomen



Figuur 29 Case C betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND.

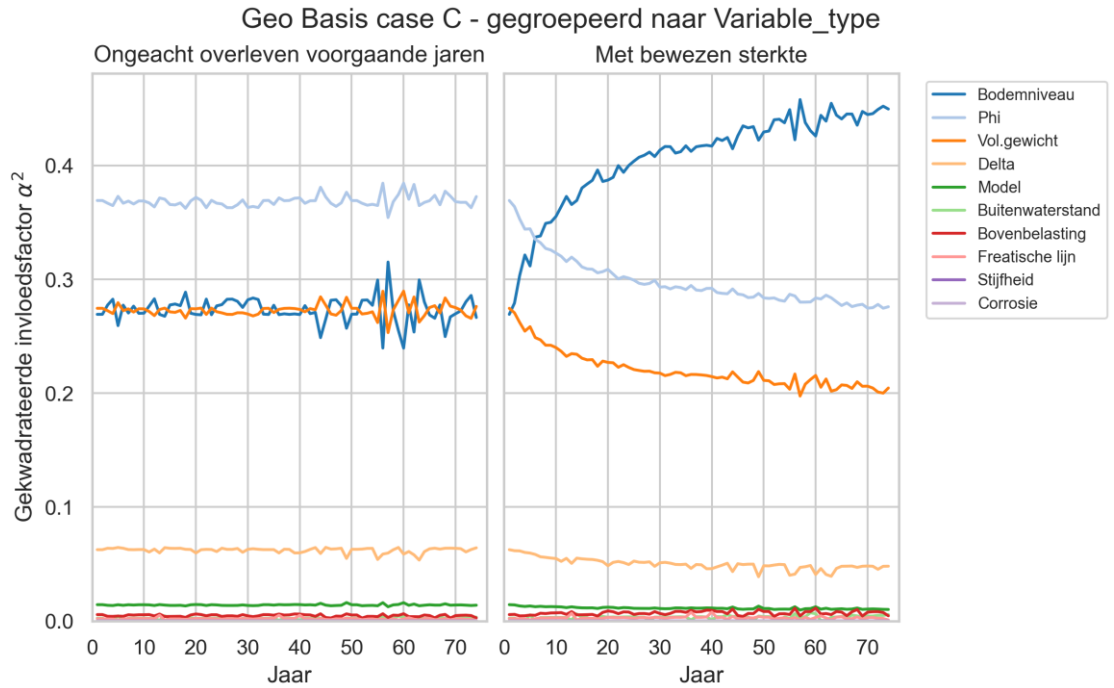
### 3.4.1 Invloedsfactoren en waarden in ontwerppunt GTF-GEO

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie GEO staan voor de basis case C in Figuur 30 en van variant 1 in Figuur 31.

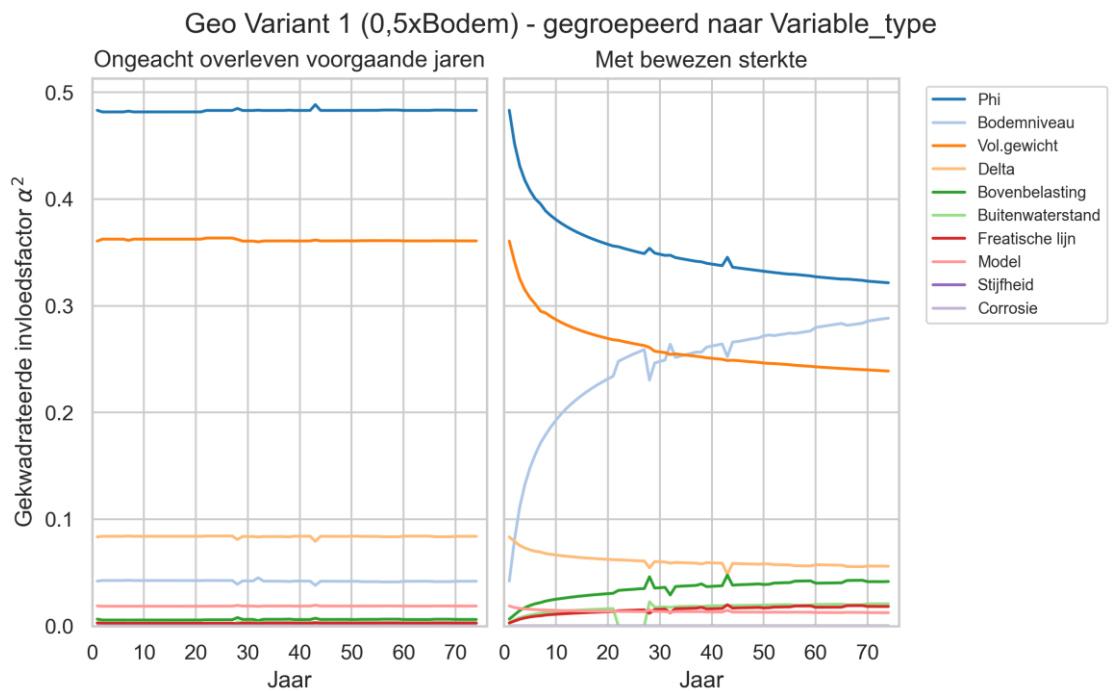
Aan de linkerkant van Figuur 30 en Figuur 31 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterkant die met het effect van bewezen sterkte.

Verder zijn voor GTF-GEO van basis case C en variant 1 in Bijlage D.1.6 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.



Figuur 30 Case C gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, basis case C. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$



Figuur 31 Case C gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, variant 1. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

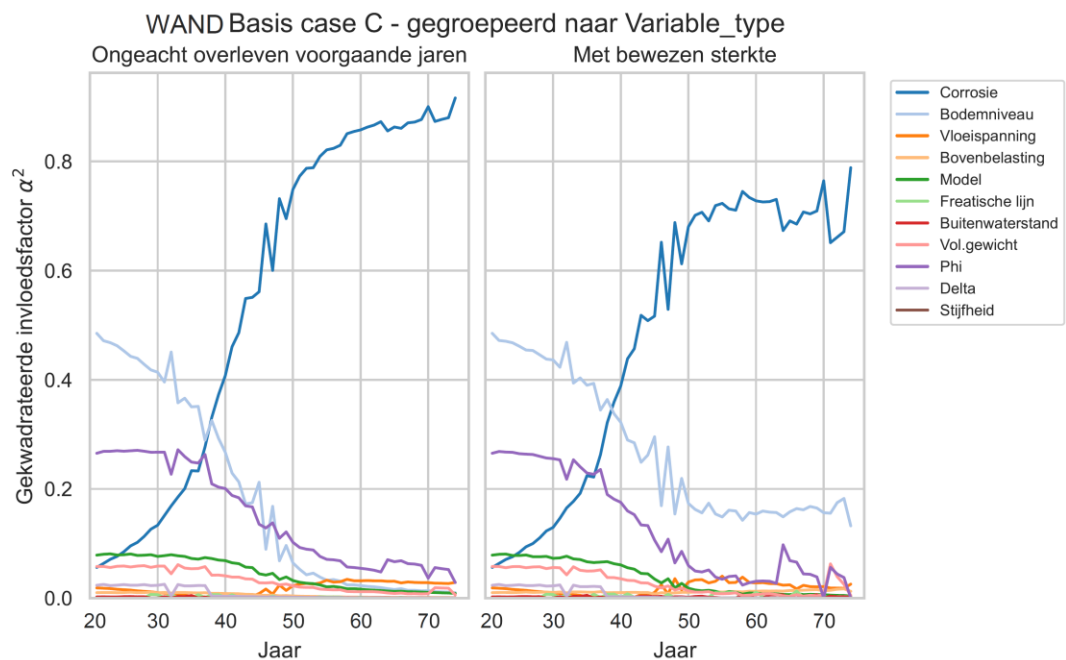
### 3.4.2 Invloedsfactoren en waarden in ontwerp punt GTF-WAND

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie WAND staan voor de basis case C t/m variant 3 in Figuur 32 t/m Figuur 35.

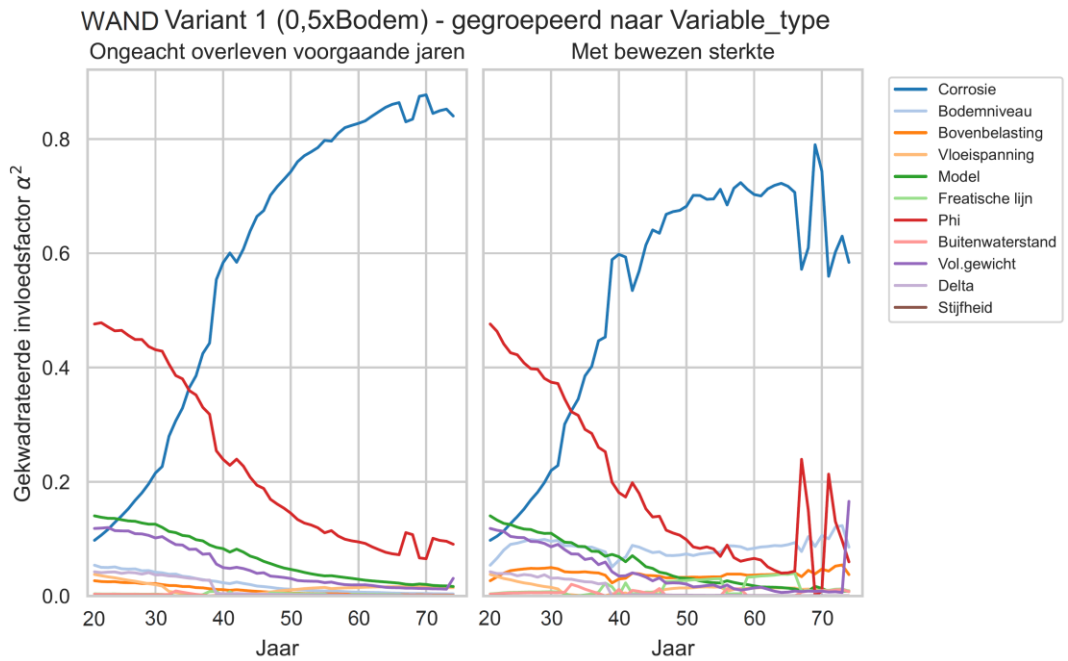
Aan de linkerzijde van Figuur 32 t/m Figuur 13 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterzijde die met het effect van bewezen sterkte.

Verder zijn voor GTF-WAND van basis case C t/m variant 3 in Bijlage D.1.7 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

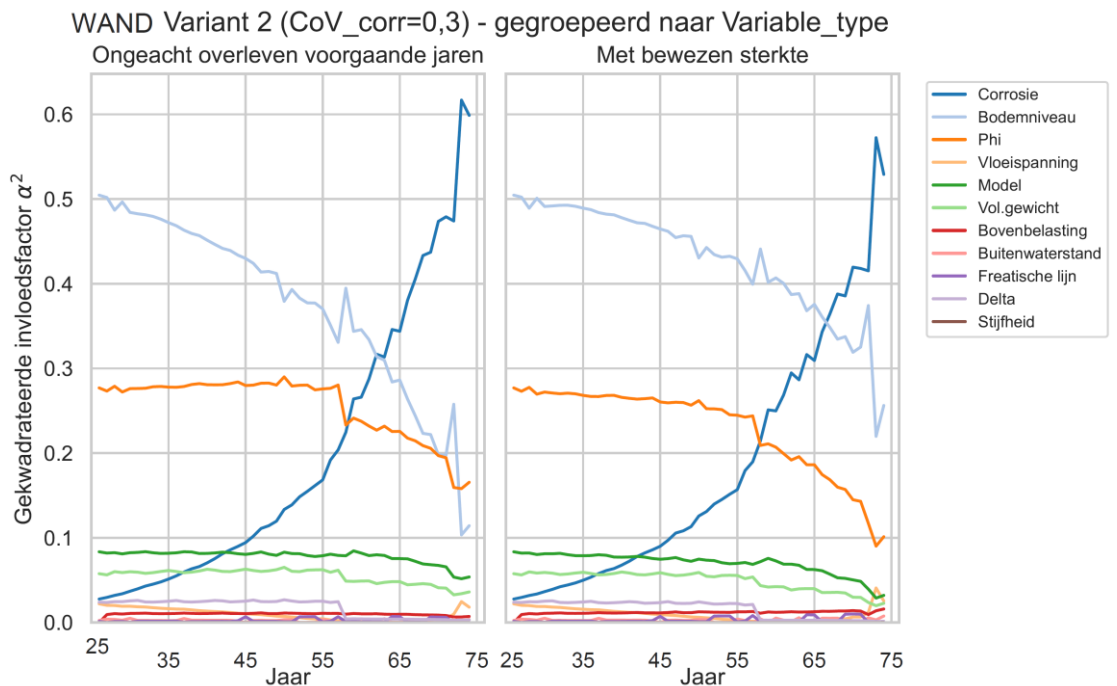
- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.



Figuur 32 Case C gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, basis case C. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

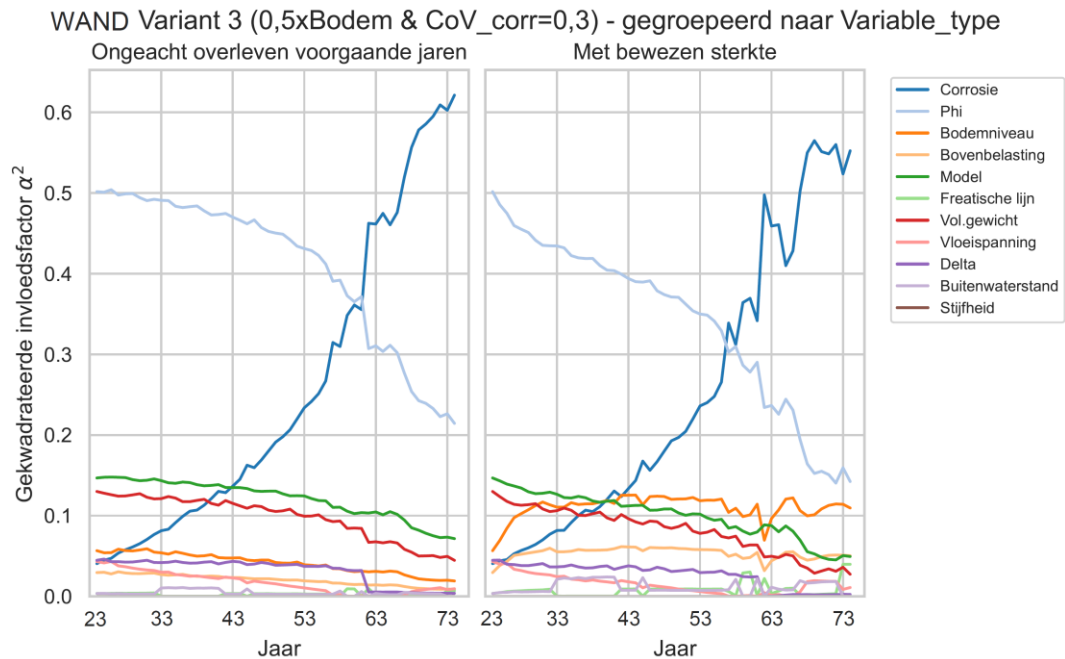


Figuur 33 Case C gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 1. "Delta" in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$



Figuur 34 Case C gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 2. "Delta" in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$





Figuur 35 Case C gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 3. "Delta" in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

## 3.5 Case D

### 3.5.1 Betrouwbaarheidsindex

In Tabel 7 zijn de in de probabilistische analyses berekende betrouwbaarheidsindicie voor de drie grenstoestandsfuncties weergegeven.

Tabel 7 Betrouwbaarheidsindicie [-] uit probabilistische analyses, Case D.

Grens-toestands-functie	Basis case of variant nummer	50-jaarskans, levensduurkans over de periode van de eerste 50 levensjaren [-]	1-jaarskans					
			Zonder bewezen sterkte			Met bewezen sterkte (geen falen tot aan dat jaar)		
			1 <sup>e</sup> jaar [-]	50 <sup>e</sup> jaar [-]	76 <sup>e</sup> jaar [-]	1 <sup>e</sup> jaar [-]	50 <sup>e</sup> jaar [-]	76 <sup>e</sup> jaar [-]
GEO	basis	3,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,9	5,0
	variant 1	3,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	4,9
WAND	basis	2,4	5,7	3,4	2,2	5,7	3,8	3,0
	variant 1	2,2	nb <sup>14</sup>	3,0	1,9	nb <sup>14</sup>	(3,5) <sup>15</sup>	(2,8) <sup>15</sup>
	variant 2	2,9	5,7	4,2	3,2	5,7	4,3	3,6
	variant 3	2,7	nb <sup>14</sup>	3,7	2,7	nb <sup>14</sup>	(4,0) <sup>16</sup>	(3,3) <sup>16</sup>
ANKER	basis	3,4	5,5	4,6	4,1	5,5	4,9	4,4
	variant 1	3,2	5,1	4,1	3,6	5,1	4,5	4,3

Het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindicie op basis van jaarkansen als functie van het levensjaar van GTF-GEO is weergegeven in Figuur 36.

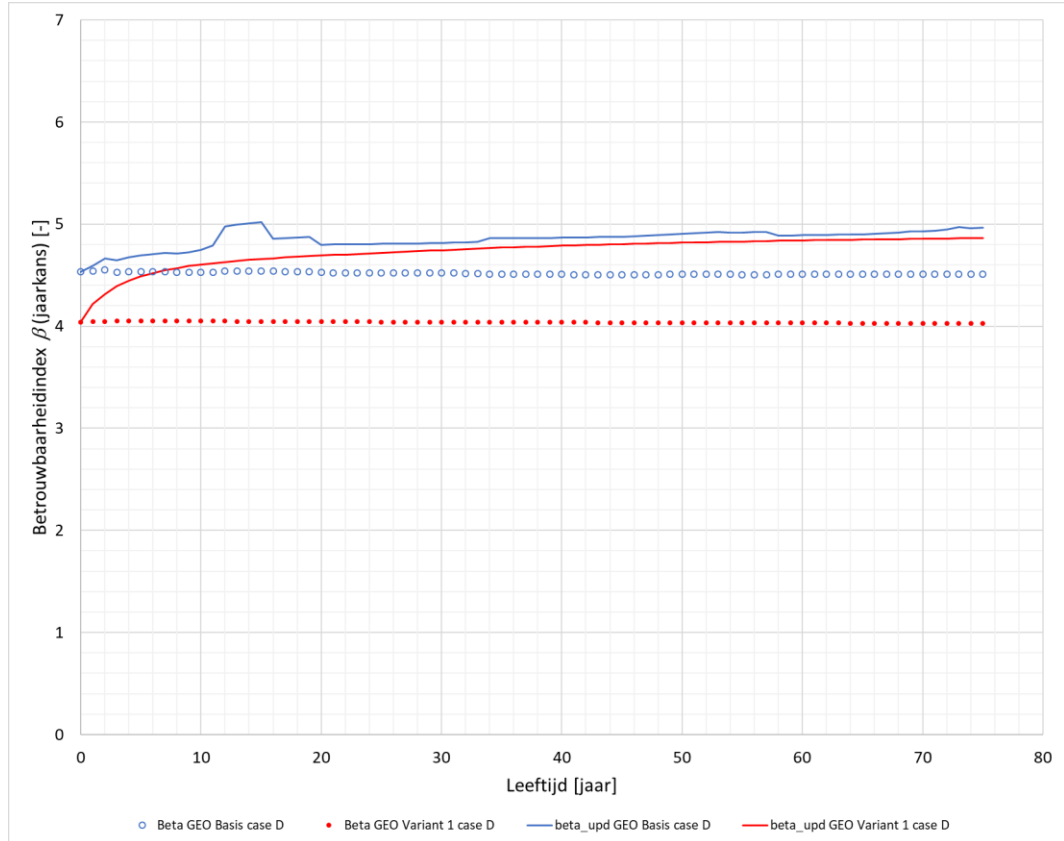
<sup>14</sup> Niet berekend vanwege numerieke problemen

<sup>15</sup> Betreft onderschatting het effect van bewezen sterkte over eerste 11 jaar is vanwege numerieke problemen niet meegenomen

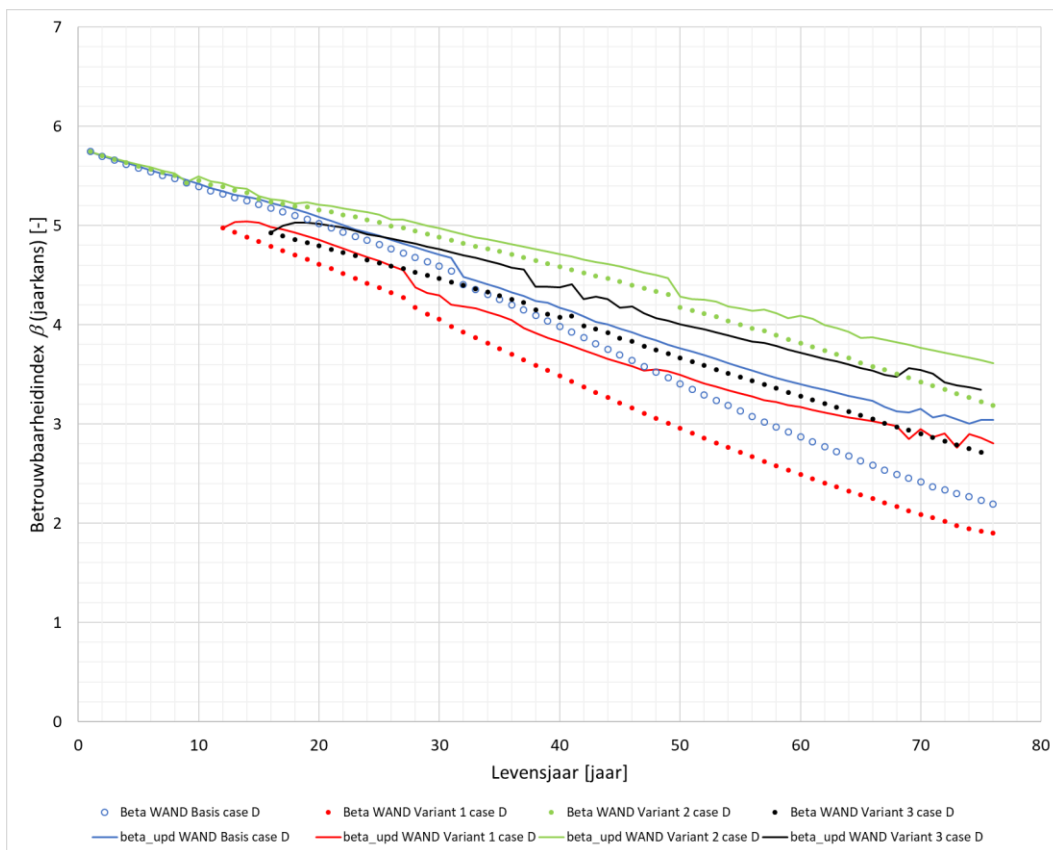
<sup>16</sup> Betreft onderschatting het effect van bewezen sterkte over eerste 15 jaar is vanwege numerieke problemen niet meegenomen

De probabilistische analyses voor GTF-WAND voor variant 1 en 3 van case D verliepen moeizaam er traden in de eerste levensjaren veel numerieke problemen deze analyses beginnen daarom niet in het eerste levensjaar. Het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindicie op basis van jaarkansen als functie van het levensjaar van GTF-WAND zijn weergegeven in Figuur 37.

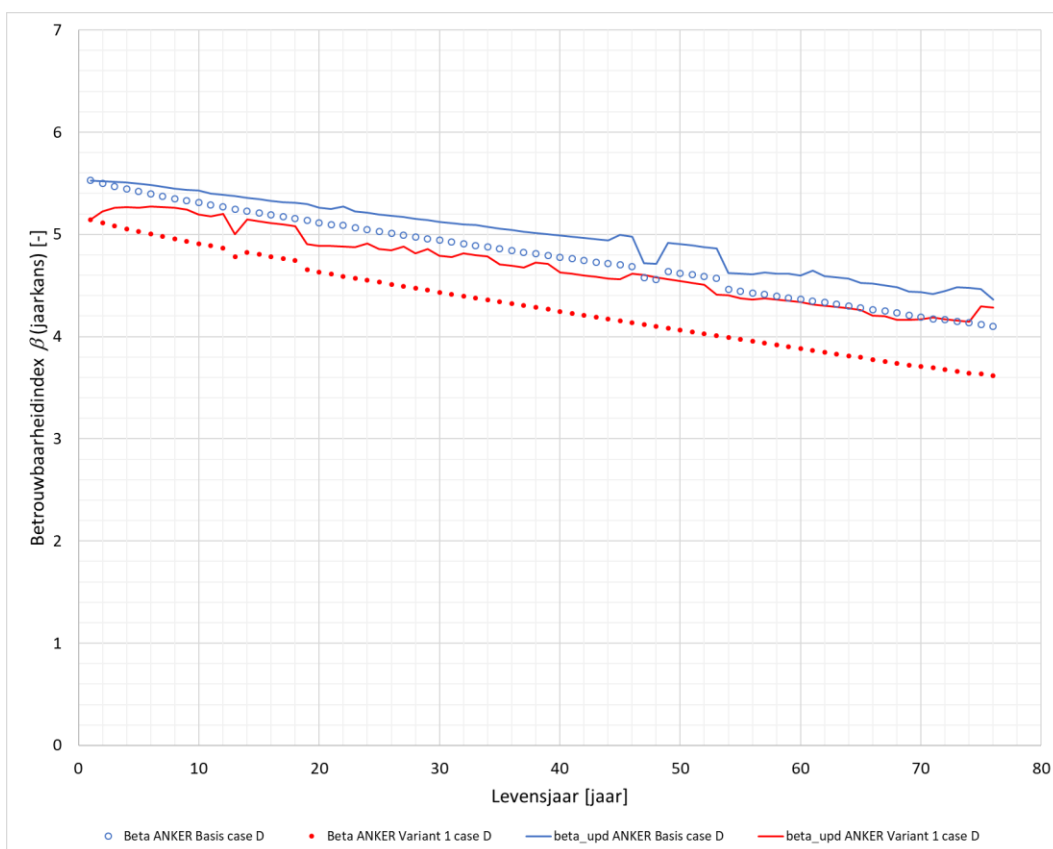
Het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindicie op basis van jaarkansen als functie van het levensjaar van GTF-ANKER is weergegeven in Figuur 38.



Figuur 36 Case D betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO.



Figuur 37 Case D betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND.



Figuur 38 Case D betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie ANKER.

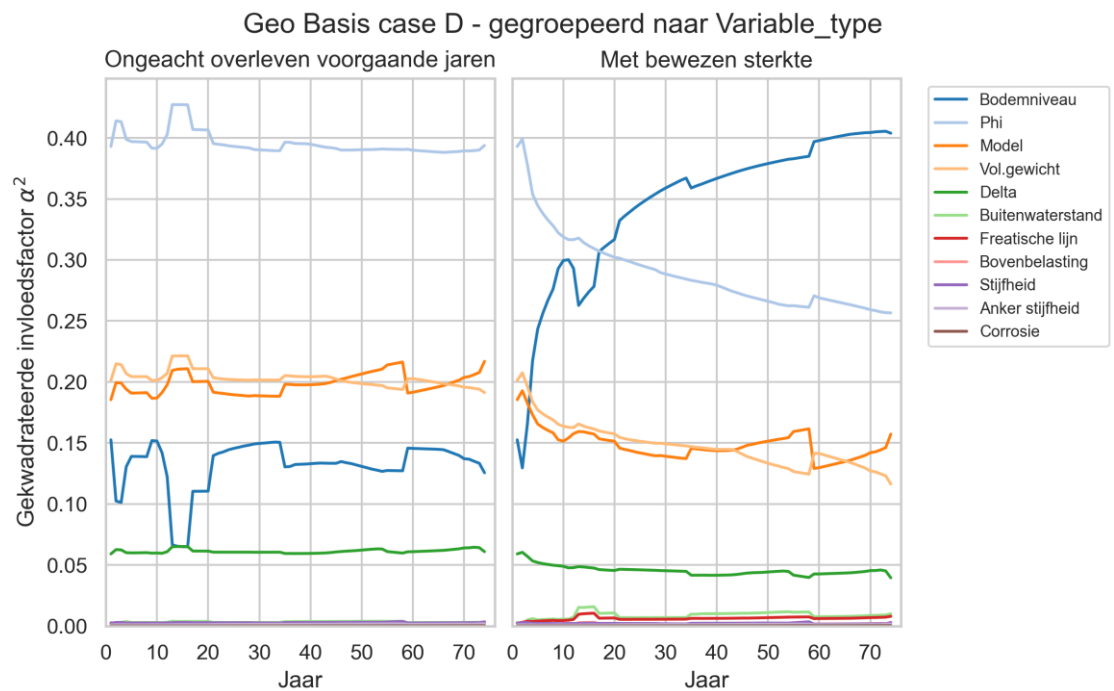
### 3.5.2 Invloedsfactoren en waarden in ontwerp punt GTF-GEO

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie GEO staan voor de basis case D in Figuur 39 en van variant 1 in Figuur 40.

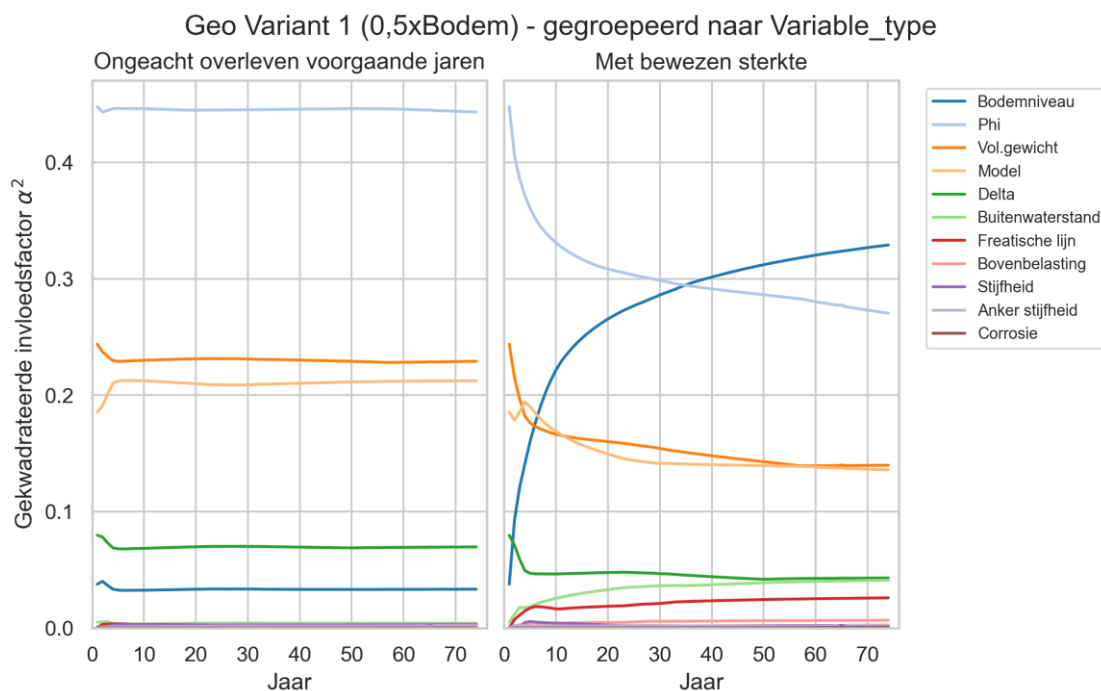
Aan de linkerzijde van Figuur 8 en Figuur 40 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterzijde die met het effect van bewezen sterkte.

Verder zijn voor GTF-GEO van basis case D en variant 1 in Bijlage D.1.8 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadraterde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.



Figuur 39 Case D gekwadraterde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, basis case D. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$



Figuur 40 Case D gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie GEO, variant 1. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

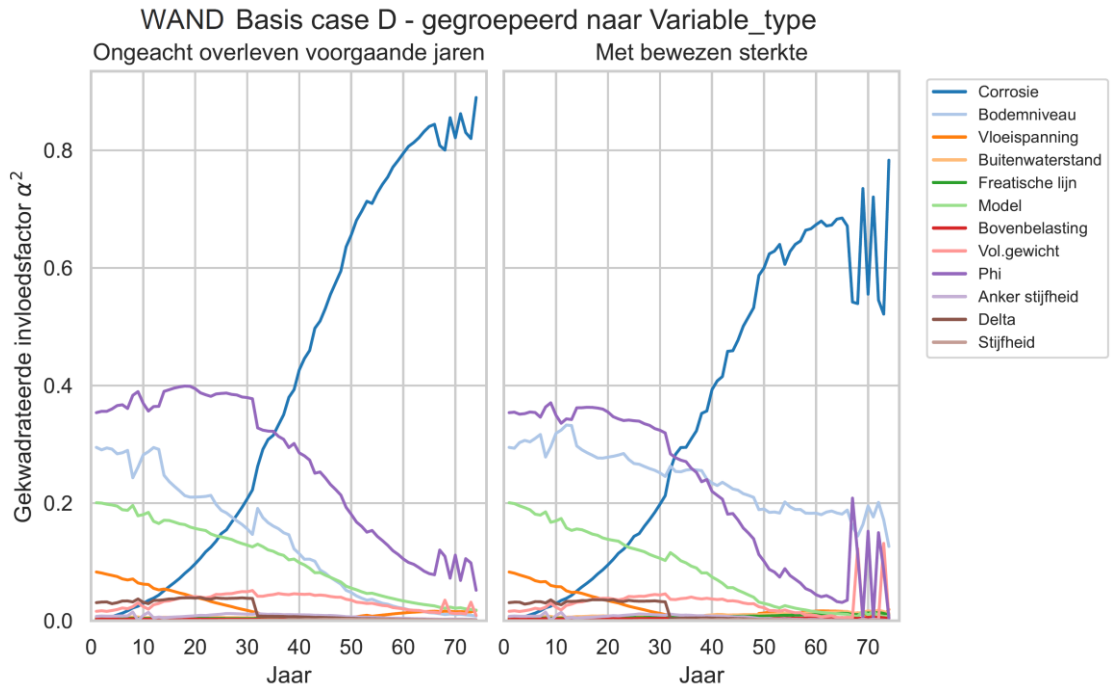
### 3.5.3 Invloedsfactoren en waarde in ontwerp punt GTF-WAND

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie WAND staan voor de basis case D t/m variant 3 in Figuur 41 t/m Figuur 44.

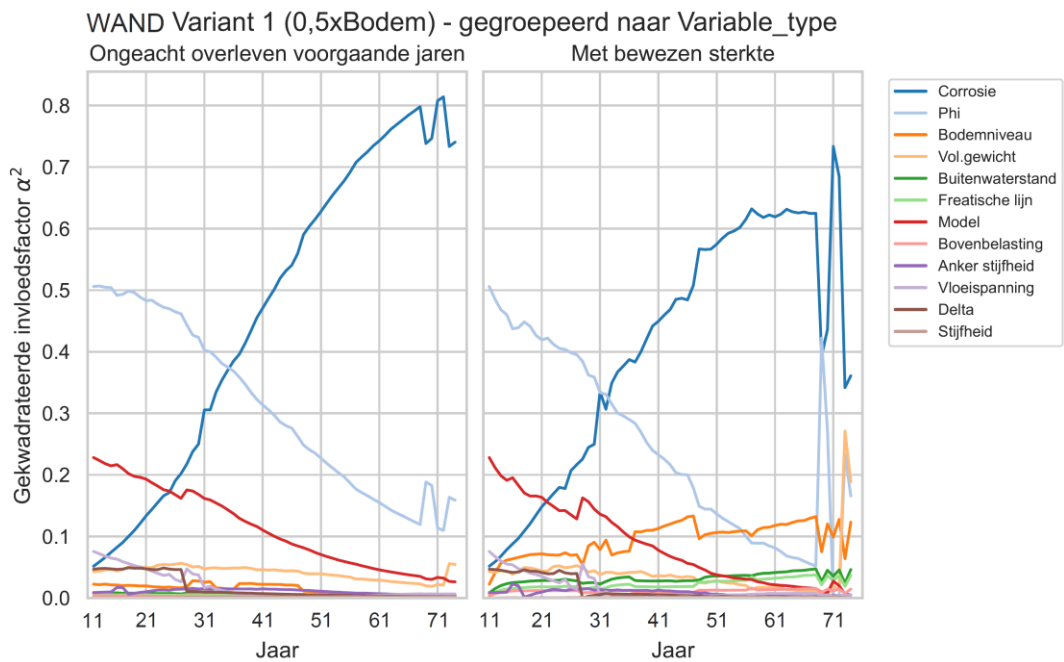
Aan de linkerkzijde van Figuur 41 t/m Figuur 44 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterzijde die met het effect van bewezen sterkte.

Verder zijn voor GTF-WAND van basis case D t/m variant 3 in Bijlage D.1.9 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

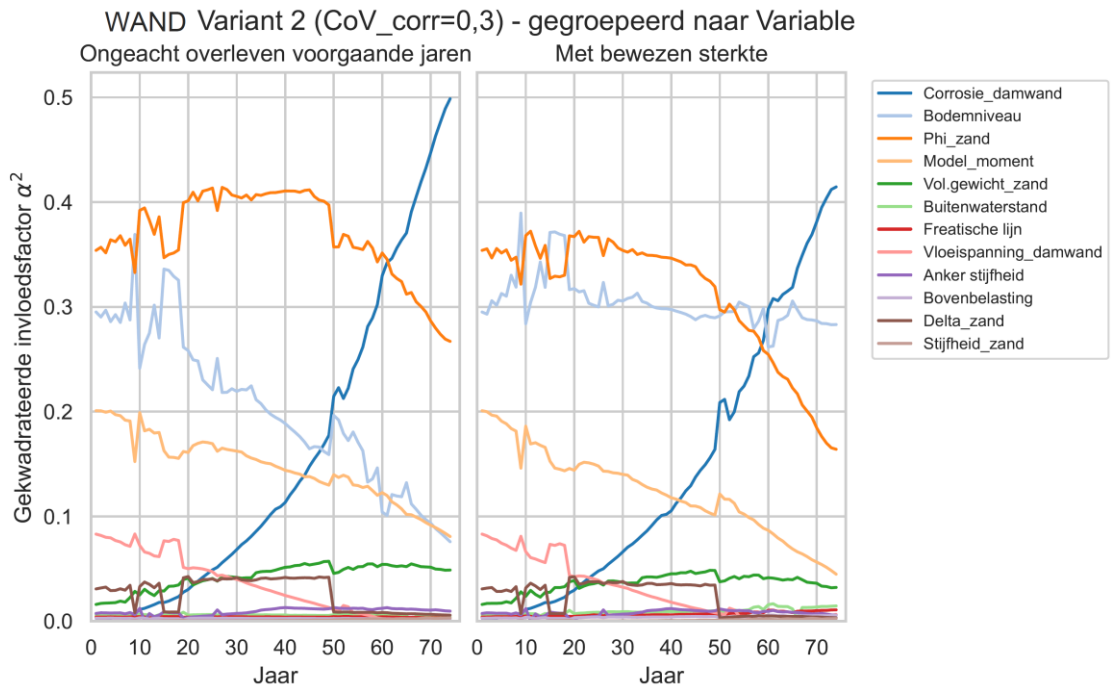
- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.



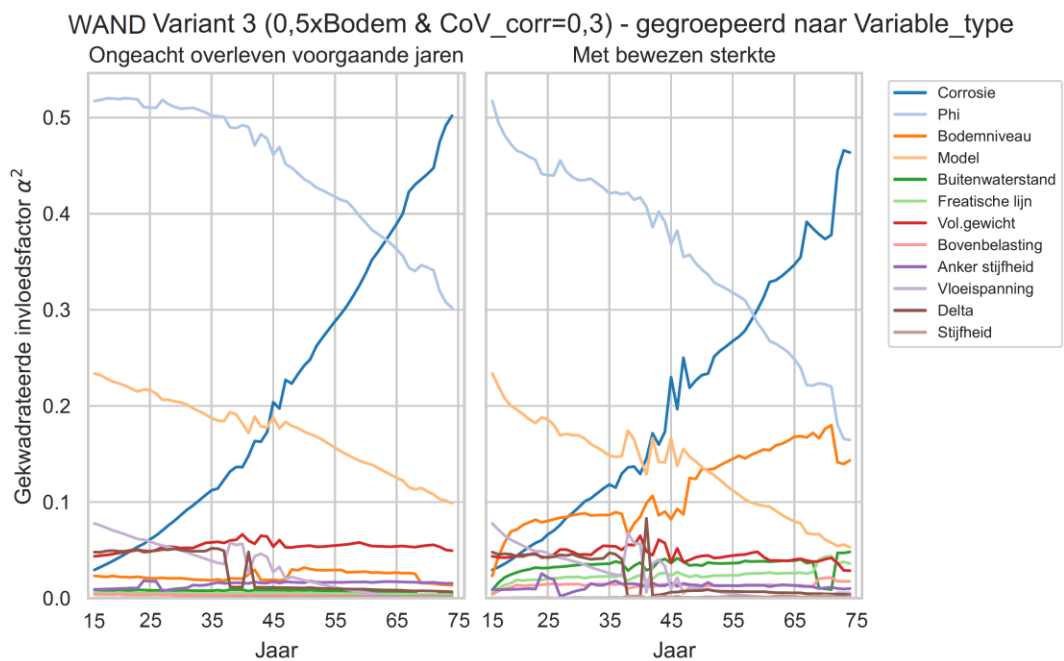
Figuur 41 Case D gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, basis case D. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$



Figuur 42 Case D gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 1. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$



Figuur 43 Case D gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 2. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$



Figuur 44 Case D gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 3. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

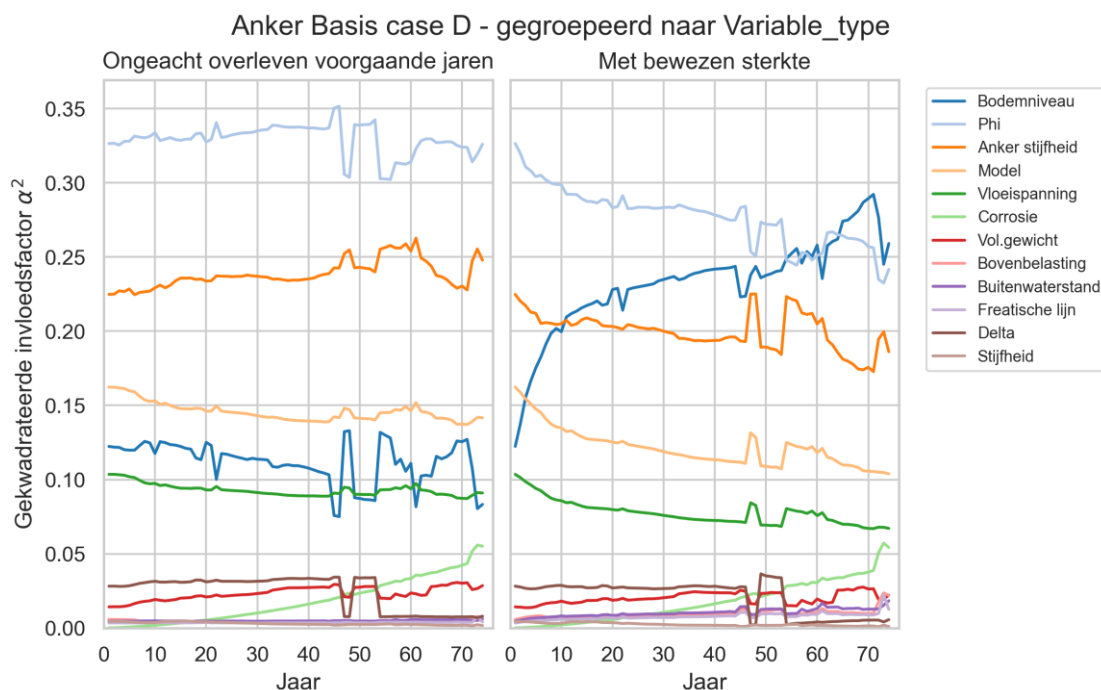
### 3.5.4 Invloedsfactoren en waarden in ontwerp punt GTF-ANKER

Verloop van de per type stochast gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) over de tijd voor de grenstoestandsfunctie ANKER staan voor de basis case D in Figuur 45 en van variant 1 in Figuur 46.

Aan de linkerzijde van Figuur 45 en Figuur 46 zijn de verlopen zonder het effect van bewezen sterkte weergegeven en aan de rechterzijde die met het effect van bewezen sterkte.

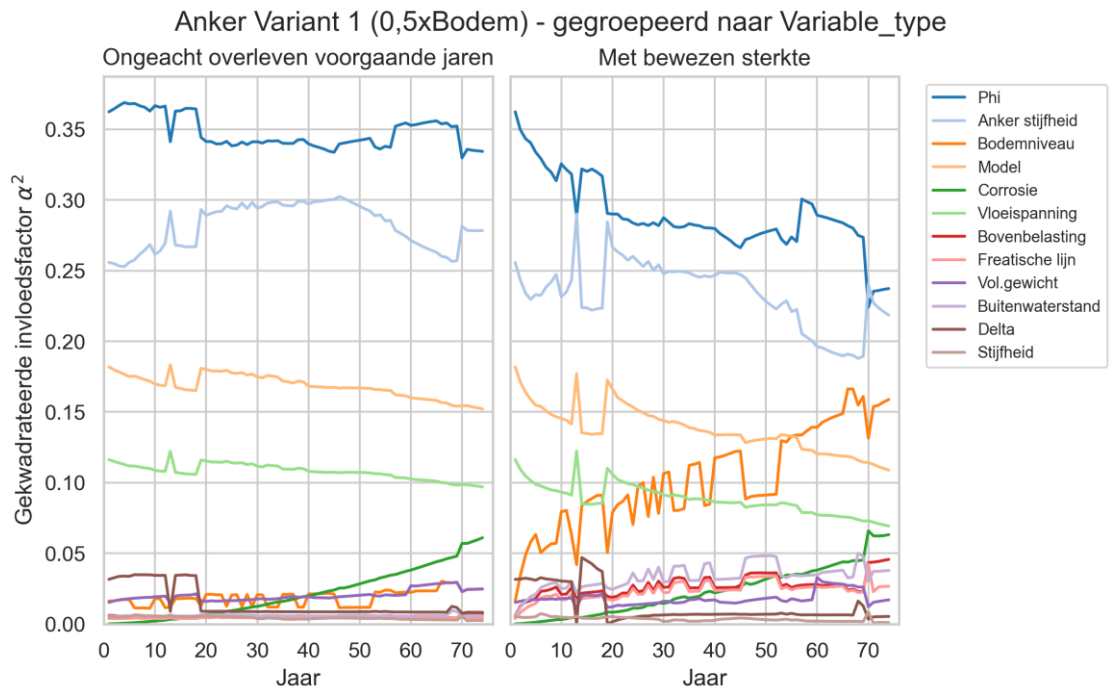
Verder zijn voor GTF-ANKER van basis case D en variant 1 in Bijlage D.1.10 nog figuren opgenomen met het verloop over de jaren van:

- De invloedsfactor ( $\alpha$ ) per individuele stochast.
- De gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ) per individuele stochast.
- De per stochastgroep gesommeerde gekwadrateerde invloedsfactoren ( $\alpha^2$ ).
- De ontwerpwaarde per stochast in de fysieke ruimte.
- De ontwerpwaarde in standaardnormale ruimte.



Figuur 45 Case D gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie ANKER, basis case D. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$





Figuur 46 Case D gekwadrateerde invloedsfactoren  $\alpha^2$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie ANKER, variant 1. "Delta" in de legenda is R, de ratio tussen  $\delta$  en  $\phi$

# Literatuur

- [CUR166] CUR166 Damwandconstructies, 5e herziene druk, CUR bouw & Infra, Gouda 2008.
- [Deltares 2021] Concept werkwijze veiligheidsbeoordeling bestaande damwanden en kademuren. NPR Bestaande damwanden en kademuren - Stap 2. referentie 11206387-002-GEO-0001, Deltares, 2021
- [Deltares 2023] Veiligheidsfilosofie damwandconstructies, referentie 11207130-008-GEO-003 t/m 5, Deltares definitieve versies verschijnen in 2023
- [D-Sheet Piling] D-Sheet Piling software versie 21.2.500, Deltares, 2017
- [Durability] Durability\_3.5.2.145.exe software, version July 2017, ArcelorMittal, 2017
- [GD 1990] Veiligheid van damwandconstructies (een probabilistische methode gebruikmakend van DAMWAND/3). Enkelvoudig verankerde damwanden, referentie CO-247348/35, Grondmechanica Delft, augustus 1990.
- [Jonkman et al., 2016] Jonkman, S.N., Steenbergen, R.D.J.M., Morales-Nápoles, O., Vrouwenvelder A.C.W.M., Vrijling, J.K. Probabilistic design: risk and reliability in civil engineering. Lecture notes CIE4130, TU Delft, 2<sup>nd</sup> edition, April 2016.
- [MSeep 2020] MSeep software, versie 20.2, Deltares, 2020
- [NEN 8707] NEN 8707:2018+C1:2020. Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeur – Geotechnische constructies.
- [NEN-EN 1993-5] NEN-EN 1993-5 Eurocode 3 Ontwerp en berekening van staalconstructies Deel 5 Palen en damwanden C1:2009 en NB2012, Nederlands Normalisatie Instituut, 2008/2009/2012
- [NEN-EN 1997-1] NEN-EN 1997-1+C1+A1:2016 +NB:2019 Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels, inclusief nationale bijlage NB:2019, Nederland Normalisatie instituut, Delft, 2016/2019
- [NEN 6766]. Ontwerp NEN 6766: draft 2022 Corrosie stalen elementen in de ondergrond - Eisen voor ontwerp en toepassing. Normcommissie 351006 'Geotechniek', november 2022
- [PRK] Probabilistic Toolkit software, versie 2.3.0.21500, Deltares, 2020
- [Roscoe et al., 2015] Roscoe, K. Diermanse, F., Vrouwenvelder, T. System reliability with correlated components: Accuracy of the Equivalent Planes method. Structural Safety, 57, 53-64. 2015
- [TNO-Deltares 2022] Allaix, D. L., Van der Krogt, M. G., Ozer, I. E., Steenbergen, R. D. J. M., Schweckendiek, T. Richtlijn bewezen sterkte damwanden en kademuren - Eindrapport. TNO referentie 2022-R11621 / Deltares referentie 11206387-002-GEO-0002, Delft 21 november 2022

# A Probabilistische aanpak voor het bepalen van de constructieve veiligheid op jaarbasis

De volgende tekst is overgenomen uit [TNO-Deltares 2022]. De betrouwbaarheid van een bestaande damwandconstructie is in dit rapport beoordeeld op jaarbasis door het bepalen van de faalkans per jaar vanaf het moment van de beoordeling gegeven dat de constructie de voorgaande jaren overleefd heeft.

We definiëren  $s$  als het jaar van beoordeling, jaar  $i$  is een jaar in de toekomst ten opzichte van het jaar van beoordeling  $s$ .

We zijn dus geïnteresseerd in de kans  $P_{f,i}$  of falen in een gegeven jaar  $i$  in de toekomst en overleven tussen jaar  $s$  en jaar  $i$ , gegeven overleven tot het jaar van beoordelen  $s$  (bekend):

$$P_{f,i} = P(F_i \cap \{\bar{F}_s \cap \bar{F}_{s+1} \cap \dots \cap \bar{F}_{i-1}\} | \{\bar{F}_1 \cap \bar{F}_2 \cap \dots \cap \bar{F}_{s-1}\}) \quad (\text{A.1})$$

met  $F_i$  = falen in jaar  $i$  (gebeurtenis),  $\bar{F}_1$  en  $\bar{F}_{i-1}$  = niet falen in jaar 1, resp. jaar  $i - 1$ .

Het bepalen van de faalkans conditioneel op de gebeurtenis  $\{\bar{F}_1 \cap \bar{F}_2 \cap \dots \cap \bar{F}_{s-1}\}$  is wat in dit rapport “rekening gehouden met bewezen sterkte” genoemd wordt.

De faalgebeurtenis  $F_i$  wordt weergegeven door het overschrijden van een grenstoestand, die door een grenstoestandsfunctie  $Z_i = g(\mathbf{X}_i)$  beschreven is, waar  $\mathbf{X}_i$  de set van stochasten voor jaar  $i$  is. De grenstoestandsfuncties, die in dit project voor de faalmechanismen van kademuren en damwanden gebruikt worden, zijn in bijlage A.10 weergegeven. Vereenvoudigd weergegeven betreft dit  $Z(i) = R(i) - G - Q(i)$ ; met  $R(i)$  de bij dat jaar behorende sterkte (bepaald uit een van de corrosiekrommen),  $G$  de permanente belasting en  $Q(i)$  de variabele belasting in jaar  $i$ .

Ter illustratie: bij een beoordelingsmoment in jaar 50 van de levensduur en het zichtjaar (einde te beoordelen restlevensduur) in jaar 75 kan formule (A.1) als volgt herschreven worden ( $F$  is falen,  $S$  is overleven) voor verschillende waarden van  $i$ :

$$P(F_{51} | S_{50} \cap S_{49} \cap S_{48} \dots S_2 \cap S_1)$$

$$P(F_{52} \cap S_{51} | S_{50} \cap S_{49} \cap S_{48} \dots S_2 \cap S_1)$$

...

$$P(F_{74} \cap S_{73} \cap S_{72} \dots \cap S_{51} | S_{50} \cap S_{49} \cap S_{48} \dots S_2 \cap S_1)$$

$$P(F_{75} \cap S_{74} \cap S_{73} \dots \cap S_{51} | S_{50} \cap S_{49} \cap S_{48} \dots S_2 \cap S_1)$$

De voorwaardelijke faalkans in (3.1) kan als volgt worden herschreven:

$$P_{f,i} = \frac{P(F_i \cap \{\bar{F}_s \cap \bar{F}_{s+1} \cap \dots \cap \bar{F}_{i-1}\} \cap \{\bar{F}_1 \cap \bar{F}_2 \cap \dots \cap \bar{F}_{s-1}\})}{P(\bar{F}_1 \cap \bar{F}_2 \cap \dots \cap \bar{F}_{s-1})} \quad (\text{A.2})$$

Als de faalkans in elk jaar klein is (zoals bij de betrouwbaarheidseisen in dit project), wordt de noemer ongeveer gelijk aan 1. In dit geval, dat voor de betrouwbaarheidsniveaus van dit project geldt, kan de voorwaardelijke faalkans benaderd worden door de teller van (A.2):

$$\begin{aligned} P_{f,i} &\approx P(F_i | \{\bar{F}_s \cap \bar{F}_{s+1} \cap \dots \cap \bar{F}_{i-1}\} \cap \{\bar{F}_1 \cap \bar{F}_2 \cap \dots \cap \bar{F}_{s-1}\}) = \\ &= P(F_i | \bar{F}_1 \cap \bar{F}_2 \cap \dots \cap \bar{F}_{i-1}) \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

Ter illustratie: bij een beoordelingsmoment in jaar 50 van de levensduur wordt

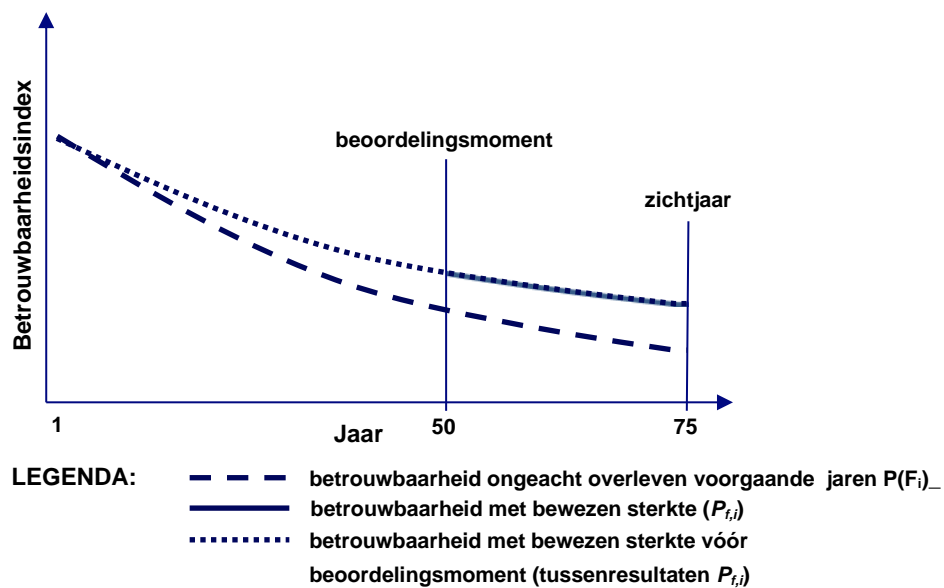
$P(F_{75} \cap S_{74} \cap S_{73} \dots \cap S_{51} \mid S_{50} \cap S_{49} \cap S_{48} \dots S_2 \cap S_1)$  benaderd door:

$P(F_{75} \mid S_{74} \cap S_{73} \dots \cap S_{51} \cap S_{50} \cap S_{49} \cap S_{48} \dots S_2 \cap S_1)$ , omdat de berekening eenvoudiger is en het verschil bij lage faalkansen klein.

Onder de hierboven geïntroduceerde vereenvoudigingen, wordt de berekening van de voorwaardelijke faalkans  $P_{f,i}$  teruggebracht tot de oplossing van een parallelsysteem met  $i$  componenten (de gebeurtenissen  $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_{i-1}$  en  $F_i$ ), zoals beschreven in vergelijking (A.3). De betrouwbaarheidsindex op jaarbasis is als volgt bepaald:

$$\beta_i = -\Phi^{-1}(P_{f,i}) \quad (\text{A.4})$$

In dit rapport zal de betrouwbaarheid als functie van de tijd volgens de hierboven gegeven definities worden getoond, zoals schematisch weergegeven in Figuur 47.



Figuur 47 Schematische weergave betrouwbaarheid in de tijd.

De kernresultaten van dit onderzoek betreffen de betrouwbaarheid met bewezen sterkte (doorgetrokken lijn) tussen het beoordelingsmoment in jaar 50 en het zichtjaar (einde te beoordelen restlevensduur) in jaar 75. De betrouwbaarheid met bewezen sterkte ( $P_{f,i}$ ) heeft betrekking op de kans op falen in jaar  $i$  na het beoordelingsmoment, gegeven overleven tot het beoordelingsmoment en overleven van beoordelingsmoment tot jaar  $i$  volgens de definitie in vgl. A.1 (zoals hierboven beschreven wordt deze kans rekenkundig benaderd met een voorwaardelijke kans volgens vgl. A.3, wat een voldoende nauwkeurige benadering is voor kleine kansen met  $\beta_i > 2$ ).

Tevens wordt in de resultaatgrafieken de betrouwbaarheid ongeacht overleving van voorgaande jaren ( $P(F_i)$ ; gestreepte lijn) weergegeven om het effect van bewezen sterkte te illustreren.

In Figuur 47 hierboven is daarnaast ook de betrouwbaarheid met bewezen sterkte tussen jaar 1 en het beoordelingsmoment in jaar 50 weergegeven (stippellijn). Hierbij gaat het echter slechts om voor de berekening noodzakelijke tussenresultaten die in de resultaatgrafieken niet

zijn opgenomen; de kans op falen in de jaren voorafgaand aan het beoordelingsmoment is immers gelijk aan nul.

Het parallelsysteem in vgl. (A.3) wordt in dit project opgelost met behulp van de Equivalent Planes methode [Roscoe et al., 2015]. Eerst worden de betrouwbaarheidsindex ( $\beta$ ) en de invloedsfactoren ( $\alpha$ ) van de stochasten in elk jaar vanaf jaar 1 door de FORM-methode bepaald [Jonkman et al., 2016]. Dit is gedaan op basis van de probabilistische modellen en de grenstoestandsfuncties  $Z$  gegeven in paragraaf 2.11. De autocorrelatie van de parameters in de tijd wordt niet beschouwd in deze berekening.

Daarna worden de componenten van het parallel systeem gecombineerd door de Equivalent Planes methode, beginnend met de bepaling van de faalkans in jaar 2:

$$P_{f,2} = P(F_2 \cap \bar{F}_1) \quad (\text{A.5})$$

Deze faalkans wordt herschreven als:

$$P_{f,2} = P(Z_1 > 0) \cdot P(Z_2 < 0 | Z_1 > 0) \quad (\text{A.6})$$

De eerste term,  $P(Z_1 > 0)$ , wordt bepaald met behulp van de FORM resultaten in jaar 1. De tweede term,  $P(Z_2 < 0 | Z_1 > 0)$ , wordt als volgt berekend; vanuit de FORM berekening in jaar 1 en 2 is de volgende informatie beschikbaar:

- De betrouwbaarheidsindex  $\beta_1$  in jaar 1 (grenstoestandsfunctie  $Z_1 = g(\mathbf{X}_1)$ ).
- De betrouwbaarheidsindex  $\beta_2$  in jaar 2 (grenstoestandsfunctie  $Z_2 = g(\mathbf{X}_2)$ ).
- De invloedsfactoren  $\alpha_1$  en  $\alpha_2$ .

De vector  $\mathbf{X}$  is de vector van stochasten  $X_1, X_2, \dots$  zoals bijvoorbeeld grootheden als de sterkte van staal en het volumegewicht van grond.

De correlatie tussen de grenstoestandsfuncties  $Z_1$  en  $Z_2$  is gelijk aan:

$$\rho(Z_1, Z_2) = \sum_{i=1}^n \alpha_{1ik} \cdot \alpha_{2ik} \cdot \rho_{12k} \quad (\text{A.7})$$

waar:

- $n$  het aantal stochasten is.
- $\rho_{12k}$  de autocorrelatie van stochast  $X_k$  tussen jaar 1 en jaar 2 is. In de analyses zijn de uitgangspunten voor autocorrelatie in de tijd als volgt.
- $\rho_{ijk} = 1$ : voor tijd-invariante eigenschappen zoals grondeigenschappen en modelonzekerheid.
- $\rho_{ijk} = 0$ : voor tijdsafhankelijke variabelen zoals belastingen.

De gekozen waarde van de autocorrelatie is in Bijlage B.8 voor elk stochast gegeven.

De Equivalent Planes methode maakt gebruik van een gelijkwaardige grenstoestandsfunctie  $Z_2^e$  zodat:

$$P(Z_2^e < 0) = P(Z_2 < 0 | Z_1 > 0) \quad (\text{A.8})$$

De grenstoestandsfunctie  $Z_2^e$  neemt de voorwaarde  $Z_1 > 0$  op en kan worden benaderd, zoals de grenstoestandsfunctie  $Z_1$  en  $Z_2$ , door een lineaire functie bij het ontwerppunt:

$$Z_2^e = \beta^e + \alpha_1^e u_1 + \alpha_2^e u_2 + \dots + \alpha_n^e u_n \quad (\text{A.9})$$

waar:

- De betrouwbaarheidsindex  $\beta^e$  is gelijk aan:

$$\beta^e = -\Phi^{-1}[P(Z_2^e < 0)] \quad (\text{A.10})$$

- $\alpha_1^e, \alpha_2^e, \dots, \alpha_n^e$  zijn de FORM-invloedsfactoren van de stochasten in de gelijkwaardige grenstoestandsfunctie  $Z_2^e$
- $u_1, u_2, \dots, u_n \dots$  zijn de  $n$  standard-normaal verdeelde variabelen die corresponderen met de basis-stochasten in de vector  $\mathbf{X}$ .

De Equivalent Planes methode is iteratief gebruikt om de faalkans in de volgende jaren te bepalen. Zodra de eerste twee componenten zijn gecombineerd, kan het twee-componenten systeem worden beschouwd als een nieuwe component om te combineren met een derde component, enzovoort, totdat alle componenten zijn gecombineerd.

Bovendien worden de ontwerpwaarden van de stochasten als volgt bepaald:

- Definieer het ontwerp punt in standaardnormale ruimte op basis van  $\alpha$ - en  $\beta$ -vector van de Equivalent Plane methode multi-element combinatie van falen in het laatste jaar en overleven van alle voorgaande jaren met de Equivalent Plane methode.
- Het ontwerp punt in de standaardnormale ruimte is bepaald als  $\mathbf{U}^* = -\alpha^e \beta$ .
- Terug-transformatie van het ontwerp punt in standaardnormale ruimte naar fysieke ruimte, gebruikmakend van de a-priori inverse cumulatieve kansverdeling ( $F^{-1}$ ) en (cholesky decompositie  $\mathbf{R}$  van de) correlatiematrix  $\rho$ :

$$\mathbf{X} = F^{-1}[\Phi(\mathbf{U}^* \cdot \mathbf{R})] \quad (\text{A.11})$$

De Equivalent Planes methode [Roscoe, 2015] is oorspronkelijk bedoeld voor het combineren van seriesystemen met meerdere componenten. Parallelsystemen met meer dan twee componenten zijn niet uitvoerig beschouwd. Daarom is bovenstaande aanpak voor het combineren van een tamelijk groot parallelsysteem van 75 jaren met de Equivalent Planes methode vergeleken met een Monte Carlo analyse voor een eenvoudige grenstoestandsfunctie van een lineaire combinatie van normale verdelingen. Uit de berekeningen volgt dat Monte Carlo en de Equivalent Planes methode een vergelijkbaar resultaat geven, zie bijlage A in [Deltares 2021].

## B Uitgangspunten

### B.1 Algemeen

In deze bijlage wordt nadere informatie gegeven betreffen de uitgangspunten van de berekeningen. De damwandberekeningen berekeningen worden in [D-Sheet Piling 2021] als een 1 fase uitgevoerd. De actieve en passieve gronddrukken worden bepaald met methode Culmann en de stijfheid van de grond is gemodelleerd met multi-lineaire beddingskarakteristiek.

### B.2 Waterstanden en stijghoogten

Gekozen is om de waterstand- en de grondwaterstandverdeling van het lopende onderzoek naar de update van de veiligheidsfilosofie van de CUR166 te hanteren, dit zijn Gumbelverdelingen. De cases A t/m D betreft een damwanden water met een beheerst peil. Gekozen is om uit te gaan van realistische waarden gebaseerd op waarnemingen in het Amsterdam-Rijnkanaal bij Maarsen met een over de periode 2008-2020. De waargenomen decimeringswaarde van -0,07 m en een waterstand met een herhaaltijd van 1 jaar van KP -0,17 m. In Cases A t/m D is de gemiddelde waterstand en de gemiddelde grondwaterstand -1,5 m.

Tabel 8 Toelichting gekozen waarden Gumbel verdeling van de waterstand.

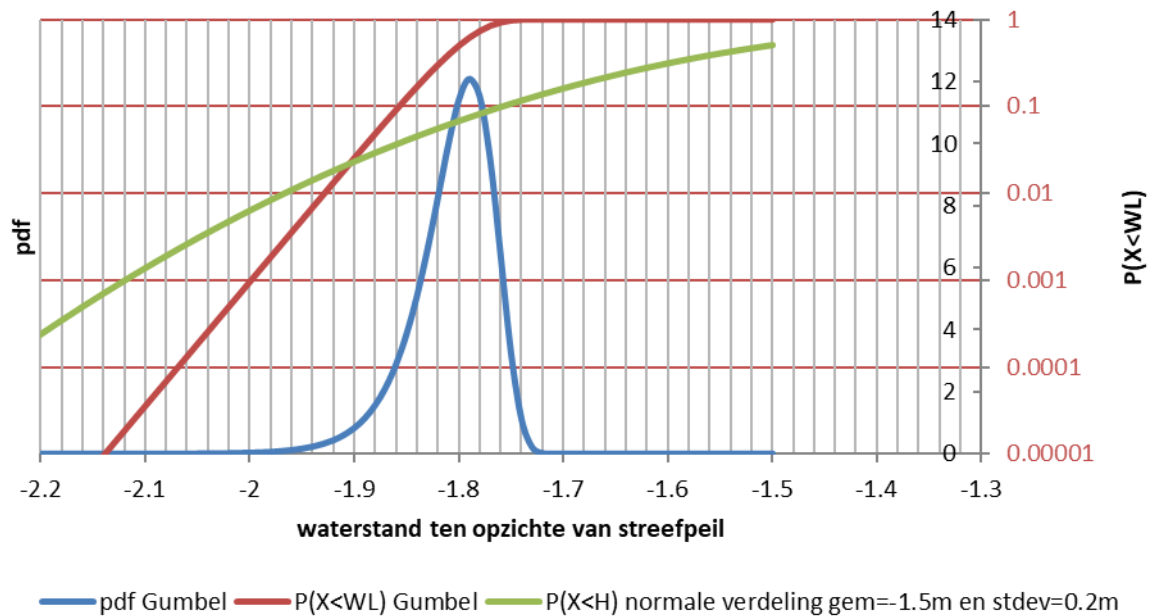
De normale verdeling van de waterstand in de 1990 berekening is de verdeling van waterstand over de referentieperiode en de CUR is in feite altijd uitgegaan van 50 jaar. In de case was standaardafwijking 0,2 m de waarde bij  $\gamma=1,9$  standaardafwijkingen is 0,38 m en de kans op onderschrijden  $P_r=2,9\%$ . De vraag is hoe dat er in een praktijksituatie uit ziet. Bij Maarsen in het Amsterdam-Rijnkanaal is de over de periode 2008-2020 waargenomen decimeringswaarde van het laagwater -0,07 m en de laagwaterstand met een herhaaltijd van 1 jaar is KP -0,17 (KP is streefpeil van het Amsterdam-Rijnkanaal = NAP -0,4 m. Bij een referentietijd van 50 jaar wordt de rekenwaarde van de herhaaltijd =  $50 \cdot 1/0,029/2=862$  jaar en de bijbehorende waterstand is KP -0,38 m. Opgemerkt moet worden dat de waarde bij Maarsen toevallig overeenkomt de waarde bij Weesp is lager en bij Wijk bij Duurstede is weer hoger.

Op basis van voorgaande is een Gumbel fit gemaakt met de volgende aannames:

- Maatgevende jaarlijkse lage waterstand is 0.17 beneden streefpeil van -1.5 m, oftewel -1.67m.
- De decimeringshoogte is 0.07 m.
- Uit voorgaande volgt voor de waterstand Gumbel (inverted) distribution  $a = -1.789$  en  $b = 0.0304$ .
- Voor de grondwaterstand aan de hoge zijde wordt dezelfde verdeling gehanteerd zij het gespiegeld om het streefpeil van -1,5 m hieruit volgt Gumbel distribution  $a = -1.211$  en  $b = 0.0304$ .

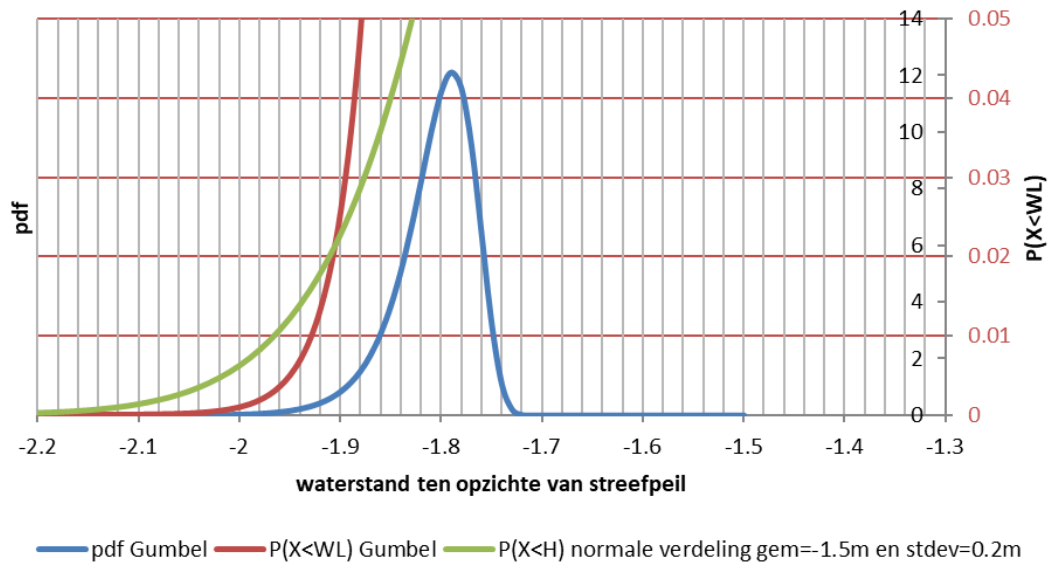
De kansdichtheidsverdeling en de overschrijdingskansverdeling voor 50 jaarkansen van de gekozen Gumbel verdeling staan in blauwe en respectievelijk rood weergegeven Figuur 48. Verder staan in Figuur 48 in groen tevens de in de [GD 1990] van de kademuur waarop de CUR166 is gebaseerd toegepaste overschrijdingskansverdeling gegeven. Hieruit blijkt dat de in de [GD 1990] kademuur aan een kanaal case de toegepaste spreiding significant groter wat dan in de praktijk blijkt optreden. In Figuur 49 staat een detail van figuur echter nu zijn de overschrijdingskansen lineaire schaal uitgezet.

## Gumbel distribution, $a=-1.789$ , $b=0.0304$ Inverted



Figuur 48 Gumbelverdeling voor de lage waterstand met verticale as op logaritmische schaal.

## Gumbel distribution, $a=-1.789$ , $b=0.0304$ Inverted



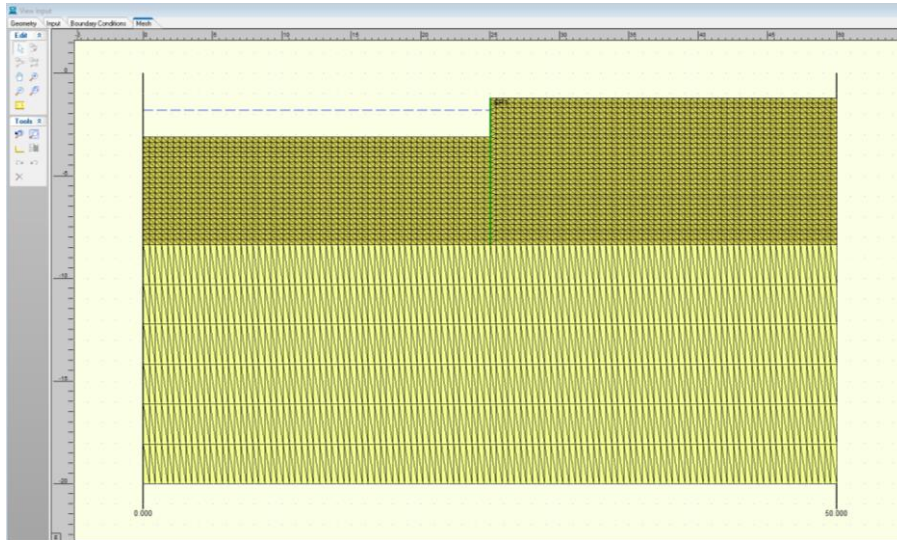
Figuur 49 Gumbelverdeling voor de lage waterstand met verticale as op lineaire schaal.



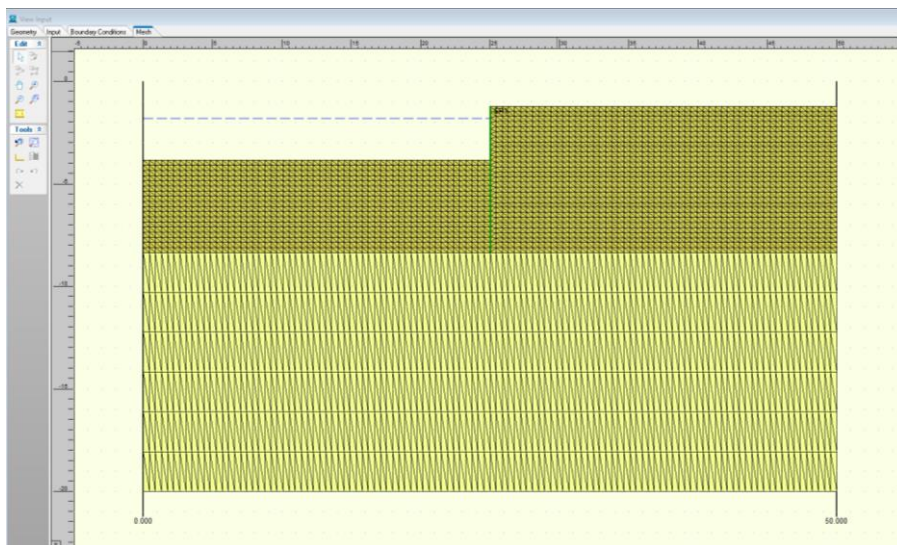
## B.3 Grondwaterdrukverdeling Case C en D

### B.3.1 Case C

Voor de karakteristieke grondwatersituatie waterstand en grondwaterstand met een herhaaltijd van 50 jaar zijn voor twee bodemdiepten van  $Z_{bodem} = 3,1$  m en 3,85 m in MSeep [Mseep 2020] steady state grondwaterstromingsberekeningen gemaakt. De mesh van ieder van deze berekeningen is in Figuur 50 en Figuur 51 weergegeven.



Figuur 50 Gehanteerde mesh in MSeep berekening Case C bodemdiepte -3,1 m.



Figuur 51 Gehanteerde mesh in MSeep berekening Case C bodemdiepte -3,85 m.

Op basis van de resultaten van de 2 berekeningen, de waterspanning aan de teen van de damwand, is de wateroverspanning ten opzichte van de hydrostatische drukverdeling bepaald aan de linkerkzijde van de damwand. Vervolgens is op basis hiervan een versimpelde lineaire vergelijking opgesteld voor de wateroverspanning aan de onderzijde van de damwand. De wateroverspanning aan de onderzijde van de damwand in de grondlaag links wordt bepaald door de bodemdiepte  $Z_{bodem}$ , de grondwaterstand  $H_{gws}$  en de waterstand  $H_{ws}$ :

$$WOSP_{links} = (0,471 + 0,021 \cdot (3,1 - Z_{bodem})) \cdot (H_{gws} - H_{ws}) \cdot \gamma_{water} \quad (B.1)$$

Omdat de grondwaterspanning aan de onderzijde van de damwand links en rechts gelijk is kan wateroverspanning aan de onderzijde van de bovenste grondlaag rechts wordt bepaald met:

$$WOSP_{rechts} = WOSP_{links} - (H_{gws} - H_{ws}) \cdot \gamma_{water} \quad (B.2)$$

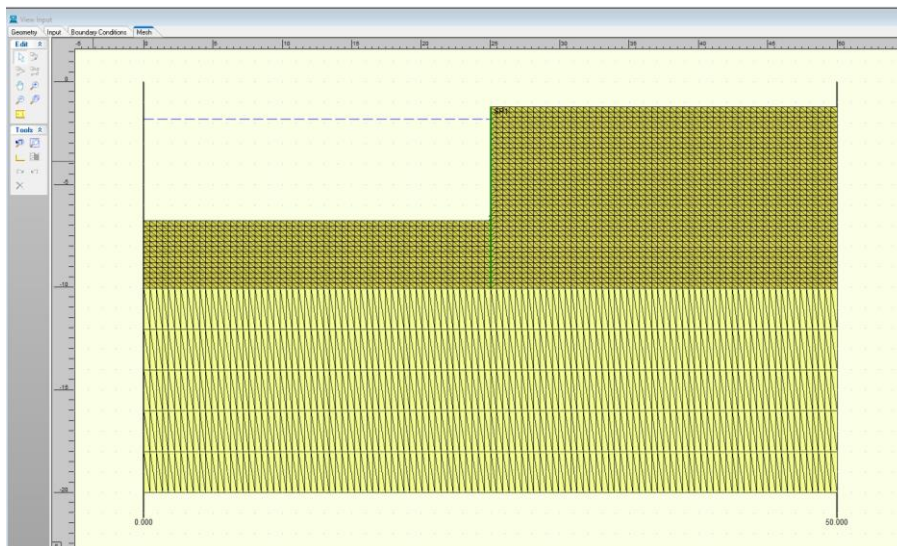
Tabel 9 Symbolen.

Symbool	Eenheid	Toelichting
$WOSP_{links}$	[kPa]	Wateroverspanning aan de linkerzijde van de damwand op teenniveau
$WOSP_{recht}$	[kPa]	Wateroverspanning aan de rechterzijde van de damwand op teenniveau
$Z_{bodem}$	[m]	Bodemniveau
$H_{ws}$	[m]	Waterstand (links)
$H_{gws}$	[m]	Grondwaterstand (links)
$\gamma_{water}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht water
3,1	[m]	Factor voor de referentie bodemdiepte van de linearisering
0,021	[m <sup>-1</sup> ]	Factor voor de WOSP gradiënt bij verandering van bodemdiepte in de linearisering
0,471	[-]	Factor WOSP bij de referentie bodemdiepte van de linearisering

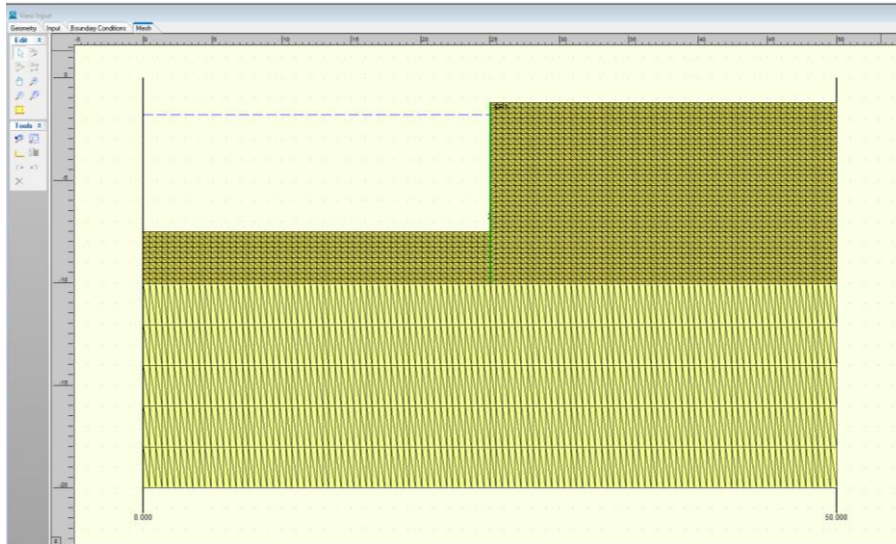
De grondwaterdrukverdeling aan de linkerzijde van de damwand verloopt vanaf de onderzijde van de damwand lineair tot aan bodemniveau en daarboven is de waterdruk hydrostatisch. De grondwaterdrukverdeling aan de rechterzijde van de damwand verloopt vanaf de onderzijde van de damwand lineair tot aan de grondwaterstand.

### B.3.2 Case D

Voor de karakteristieke grondwatersituatie waterstand en grondwaterstand met een herhaaltijd van 50 jaar zijn voor twee bodemdiepten van  $Z_{bodem} = 3,1$  m en 3,85 m in MSeep [Mseep 2020] steady state grondwaterstromingsberekeningen gemaakt. De mesh van ieder van deze berekeningen is in Figuur 52 en Figuur 53 weergegeven.



Figuur 52 Gehanteerde mesh in MSeep berekening Case D bodemdiepte -6,75 m.



Figuur 53 Gehanteerde mesh in MSeep berekening Case D bodemdiepte -7,5 m.

Op basis van de resultaten van de 2 berekeningen, de waterspanning aan de teen van de damwand, is de wateroverspanning ten opzichte van de hydrostatische drukverdeling bepaald aan de linkerszijde van de damwand. Vervolgens is op basis hiervan een versimpelde lineaire vergelijking opgesteld voor de wateroverspanning aan de onderzijde van de damwand. De wateroverspanning aan de onderzijde van de damwand in de grondlaag links wordt bepaald door de bodemdiepte  $Z_{bodem}$ , de grondwaterstand  $H_{gws}$  en de waterstand  $H_{ws}$ :

$$WOSP_{links} = (0,405 + 0,034 \cdot (6,75 - Z_{bodem})) \cdot (H_{gws} - H_{ws}) \cdot \gamma_{water} \quad (B.3)$$

Omdat de grondwaterspanning aan de onderzijde van de damwand links en rechts gelijk is kan wateroverspanning aan de onderzijde van de bovenste grondlaag rechts wordt bepaald met:

$$WOSP_{rechts} = WOSP_{links} - (H_{gws} - H_{ws}) \cdot \gamma_{water} \quad (B.4)$$

Tabel 10 Symbolen.

Symbool	Eenheid	Toelichting
<b>6,75</b>	[m]	Factor voor de referentie bodemdiepte van de linearisering
<b>0,034</b>	[m <sup>-1</sup> ]	Factor voor de WOSP gradiënt bij verandering van bodemdiepte in de linearisering
<b>0,405</b>	[-]	Factor WOSP bij de referentie bodemdiepte van de linearisering

De grondwaterdrukverdeling aan de linkerszijde van de damwand verloopt vanaf de onderzijde van de damwand lineair tot aan bodemniveau en daarboven is de waterdruk hydrostatisch. De grondwaterdrukverdeling aan de rechterzijde van de damwand verloopt vanaf de onderzijde van de damwand lineair tot aan de grondwaterstand.

## B.4 Waterbodemniveau

Gekozen is om gebruik te maken van het verdelingstype en de daarbij toegepaste scale van het lopende onderzoek naar de update van de veiligheidsfilosofie van de CUR166 [Deltares 2023], dit is Gumbelverdelingen met een scale van 0,1086. De scale van 0,1086 wordt toegepast in de basis cases en variant 2 van case A t/m D. In variant 1 en 3 met de helft van de spreiding van het waterbodemniveau zal de helft, een scale van 0,05043 worden toegepast. De shift is variant afhankelijk en wordt zo gekozen dat het bodemniveau met een herhaaltijd van 1 jaar en 50 jaar voor de probabilistische berekeningen op basis van respectievelijk 1-jaarkansen en 50-jaarkansen klopt.

In Tabel 11 beschreven welke wijze in [Deltares 2023] tot de shift (a) en scale (b) van hun kademuurcase is gekomen.

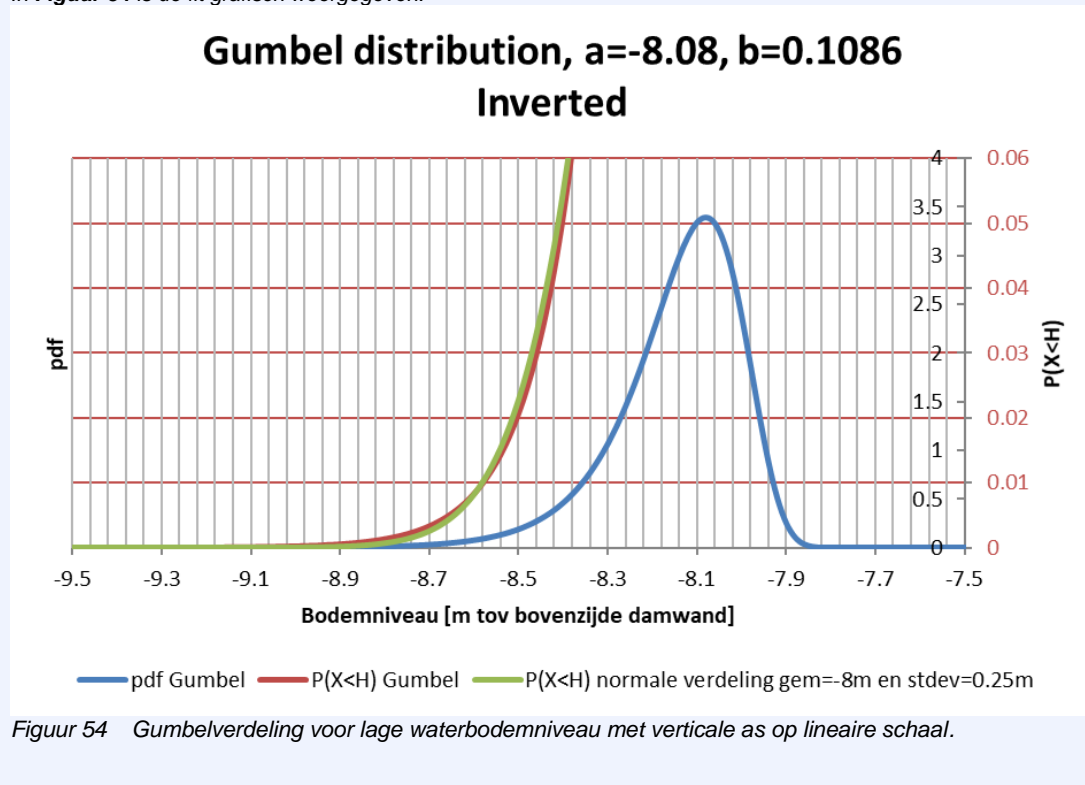
Tabel 11 Achtergrond toegepaste bodemniveau verdeling in [Deltares 2023].

In de [GD 1990] berekening wordt uitgegaan van een normaal verdeelde bodemdpte met een gemiddelde van 8 m en een standaardafwijking van 0,25 m. Voor de CROW166 basiscase wordt uitgegaan dat de in 1990 aangehouden verdeling bedoeld is om kans op een extreme ontgraving over de levensduur van 50 jaar te beschrijven in het traject. In de CUR166-1990 berekeningen was de maximale  $\alpha = 0,56$ . Dus uitgaande van een CC1 - CC3 range van 3,3 t/m 4,3 komt dat neer op relevante range  $Z = 1,8 - 2,4$  gemiddelde  $Z = 2,1$  ( $P=1,8 \cdot 10^{-2}$ ).

De bodemligging is terugvertaald naar een Gumbel verdeling met een:

- Maatgevende jaarlijks bodemniveau is 7,66 beneden bovenzijde damwand, oftewel -7,66 m.
- Maatgevende 50-jaarlijkse is 8,08 beneden bovenzijde damwand, oftewel -8,08 m.
- De decimeringshoogte is 0,25 m.
- Uit voorgaande volgt voor de Gumbel (inverted) verdeling voor 50 jaar  $a = -8,08$  en  $b = 0,1086$ .

In **Figuur 54** is de fit grafisch weergegeven.



## B.5 Damwandeigenschappen

Voor de probabilistische berekeningen van de en is door de extra stochasten de situatie complexer dan in 1990 bij uitvoeren van de probabilistische berekeningen voor het opstellen van de CUR166. Voor dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de navolgende beschrijving van de damwandeigenschappen welke in het kader van de probabilistische berekeningen voor de update van de veiligheidsfilosofie van de CUR166 zijn opgesteld. In Tabel 12 staat de symbolenlijst van de van de damwandeigenschappen parameters.

Tabel 12 Symbolenlijst voor de damwandeigenschappen.

Symbol	Unit	Parameter
$A_0$	m <sup>2</sup>	Initiële oppervlak dwarsdoorsnede damwandprofiel
$A_{\Delta t_{wall}}$	m <sup>2</sup>	Oppervlak dwarsdoorsnede damwandprofiel bij $\Delta t_{wall}$ dikteafname
$t_0$	m	Initiële flensdikte
$\Delta t_{wall}$	m	Afname flensdikte
$f_y$	MPa	Vloeispanning
$I_0$	m <sup>4</sup>	Initieel traagheidsmoment
$I_{\Delta t_{wall}}$	m <sup>4</sup>	Traagheidsmoment bij $\Delta t_{wall}$ dikteafname
$\Delta t_{wall,class2}$	mm	Dikteafname tot waar damwandprofiel nog net in Class 2 valt (grens Class 2 en 3)
$\Delta t_{wall,class3}$	mm	Dikteafname tot waar damwandprofiel nog net in Class 3 valt (grens Class 3 en 4)
$\Delta t_{wall,class2;S240GP}$	mm	Dikteafname tot waar damwandprofiel met een staalkwaliteit S 240 GP nog net in Class 2 valt (grens Class 2 en 3)
$\Delta t_{wall,class3;S240GP}$	mm	Dikteafname tot waar damwandprofiel met een staalkwaliteit S 240 GP nog net in Class 3 valt (grens Class 3 en 4)
$W_E$	m <sup>3</sup>	Elastisch weerstandsmoment
$W_P$	m <sup>3</sup>	Plastisch weerstandsmoment
$W_{P;0}$	m <sup>3</sup>	Initieel plastisch weerstandsmoment
$W_{P\Delta t_{wall}}$	m <sup>3</sup>	Plastisch weerstandsmoment bij $\Delta t_{wall}$ dikteafname
$W_{P\Delta t_{wall,class2}}$	m <sup>3</sup>	Plastische weerstandsmoment bij een dikteafname $\Delta t_{wall,class2}$
$W_{E\Delta t_{wall,class3}}$	m <sup>3</sup>	Elastische weerstandsmoment bij een dikteafname $\Delta t_{wall,class3}$
$W_{P/class4;\Delta t_{wall}}$	m <sup>3</sup>	Weerstandmoment voor dikteafname die groter is dan $\Delta t_{wall,class2}$

Voor de range van damwand weerstandsmomenten waarbinnen de berekeningen worden uitgevoerd is een linearisatie opgesteld op basis van een reeks ArcelorMittal Z-profielen. Het effect van de dikteafname op de diverse damwandeigenschappen is bepaald met het programma Durability [Durability 2017] van ArcelorMittal. In Tabel 13 staan de gegevens van 7 profielen weergegeven voor een gecorrodeerde en niet gecorrodeerde situatie. In de tabel staat ook aangegeven uitgaande van een staalkwaliteit S 240 GP tot hoeveel corrosie het

profiel nog in Class 2 en 3 valt. Omdat de beschrijving van de damwandeigenschappen eveneens in het NPR van bestaande kadeconstructies zal worden gebruikt is gekozen om uit te gaan van de AZ-profielen die reeds lang op de markt zijn.

Tabel 13 Gegevens gehanteerde AZ-profielen.

	Initiele dikte		Maximale corrosie		corrosie [mm]	I [m <sup>4</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	W <sub>P</sub> [m <sup>3</sup> ]	W <sub>E</sub> [m <sup>3</sup> ]
	Flens [mm]	Lijf [mm]	class 2 [mm]	class 3 [mm]					
AZ17	8.5	8.5	0.59	3.09	1	2.872E-04	1.250E-02	1.765E-03	1.515E-03
AZ18	9.5	9.5	1.59	4.09	2	2.846E-04	1.240E-02	1.740E-03	1.500E-03
AZ18-10/10	10	10	2.09	4.59	3	2.696E-04	1.170E-02	1.650E-03	1.420E-03
AZ19	10.5	10.5	2.59	5.09	3	2.837E-04	1.240E-02	1.735E-03	1.490E-03
AZ25	12	11.2	4.09	6.59	5	3.389E-04	1.150E-02	1.840E-03	1.600E-03
AZ26	13	12.2	5.09	7.59	5	3.712E-04	1.280E-02	2.025E-03	1.750E-03
AZ28	14	13.2	6.09	8.59	7	3.321E-04	1.140E-02	1.805E-03	1.570E-03

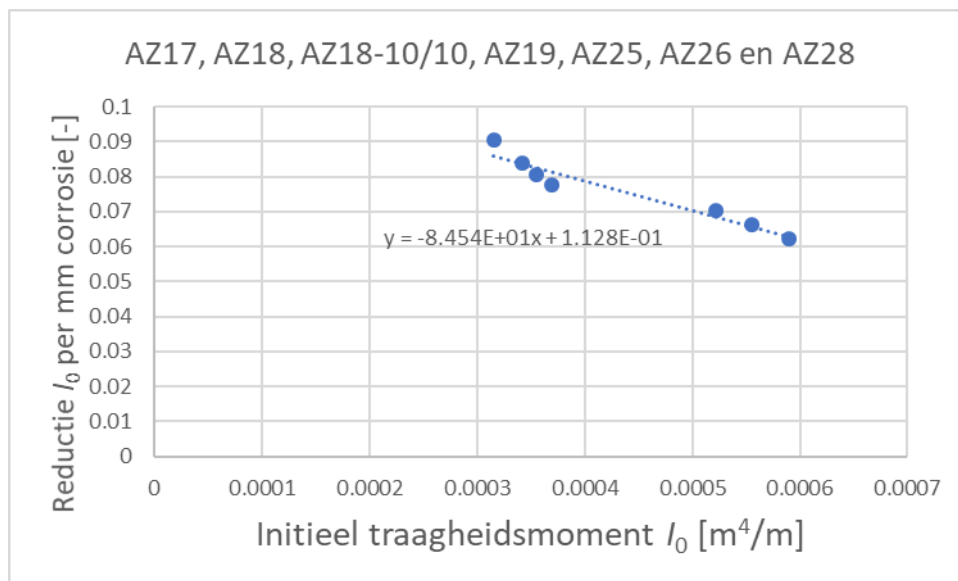
Uit de waarden in de Tabel 13 blijkt dat de ratio tussen het elastisch en plastisch weerstand moment 0,85 is overeenkomstig die in de NEN1993-5 [11]:

$$\frac{W_E}{W_P} = 0,85 \quad (B.5)$$

In Figuur 55 is de lineaire trend bepaald van de reductie van het traagheidsmoment per millimeter dikteafname als functie van het initiële traagheidsmoment. De benadering van traagheidsmoment in formulevorm:

$$I_{\Delta t_{wall}} = I_0 \cdot \left( 1 - (-84.54 \cdot I_0 \cdot m^{-4} + 0.1128) \cdot \Delta t_{wall} \cdot mm^{-1} \right) \quad (B.6)$$

$$\{ 3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4 \}$$

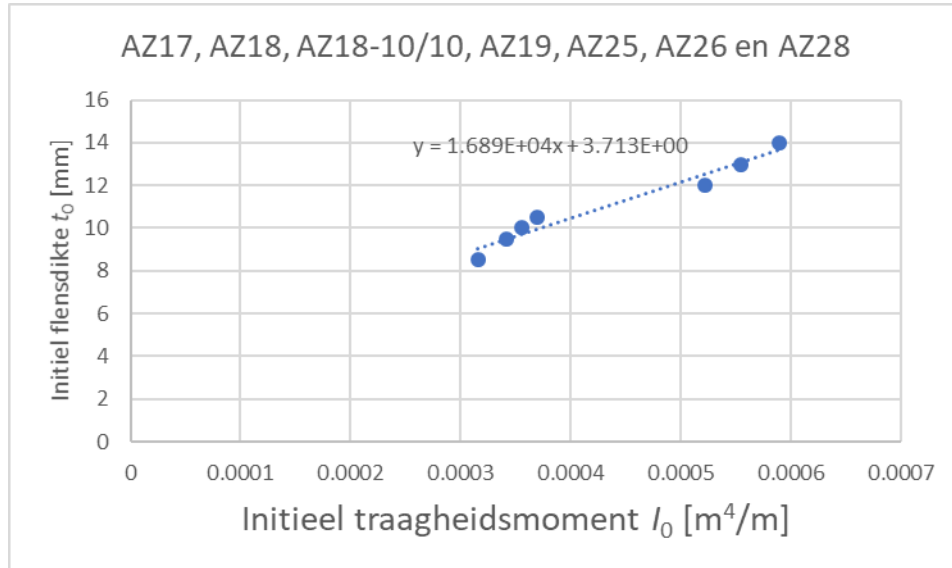


Figuur 55 AZ-profielen reductie  $I_0$  per millimeter corrosie als functie van  $I_0$

In Figuur 56 is de lineaire trend bepaald van de initiële flensdikte en het initiële traagheidsmoment. De benaderingen van Figuur 56 in formulevorm geeft:

$$t_0 = (16.89 \cdot 10^3 \cdot I_0 \cdot m^{-4} + 3.713) \cdot mm$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4\}$$
(B.7)

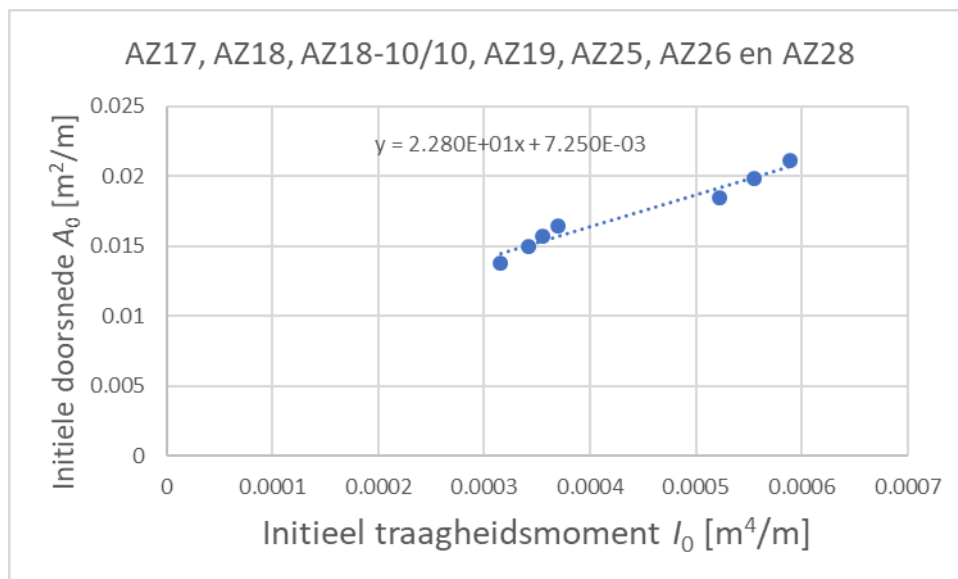


Figuur 56 AZ-profielen reductie Flensdikte per millimeter corrosie als functie van  $I_0$

In Figuur 57 is de lineaire trend bepaald van de initiële doorsnede als functie van het initiële traagheidsmoment. De benaderingen van Figuur 57 in formulevorm geeft:

$$A_0 = (22.8 \cdot I_0 \cdot m^{-4} + 7.25 \cdot 10^{-3}) \cdot m^2$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4\}$$
(B.8)



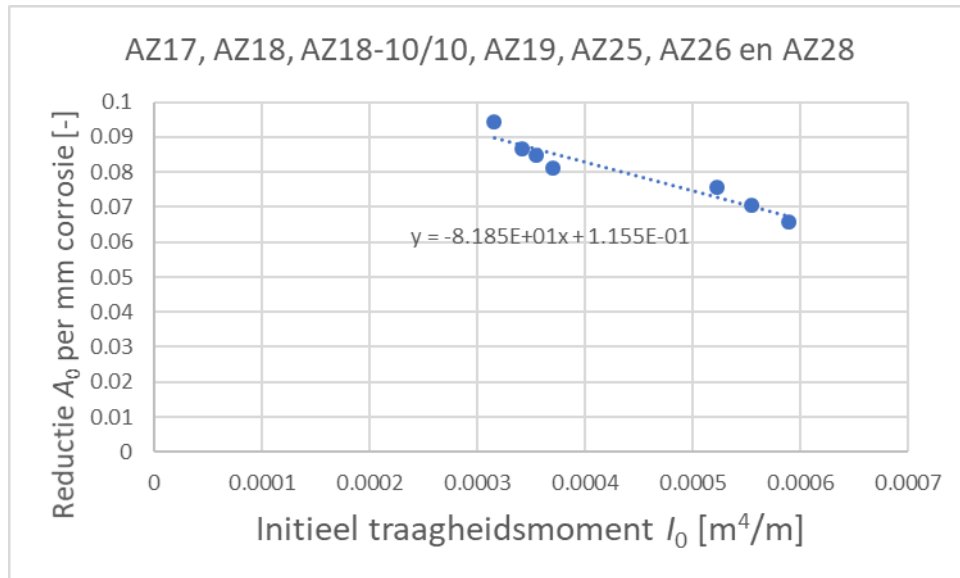
Figuur 57 AZ-profielen  $A_0$  als functie van  $I_0$



In Figuur 58 is de lineaire trend bepaald van de reductie van de initiële doorsnede per millimeter dikteafname als functie van het initiële traagheidsmoment. De benaderingen van Figuur 58 in formulevorm geeft:

$$A_{\Delta t_{wall}} = A_0 \cdot \left(1 - \left(-81.85 \cdot I_0 \cdot m^{-4} + 0.1155\right) \cdot \Delta t_{wall} \cdot mm^{-1}\right) \quad (B.9)$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4\}$$

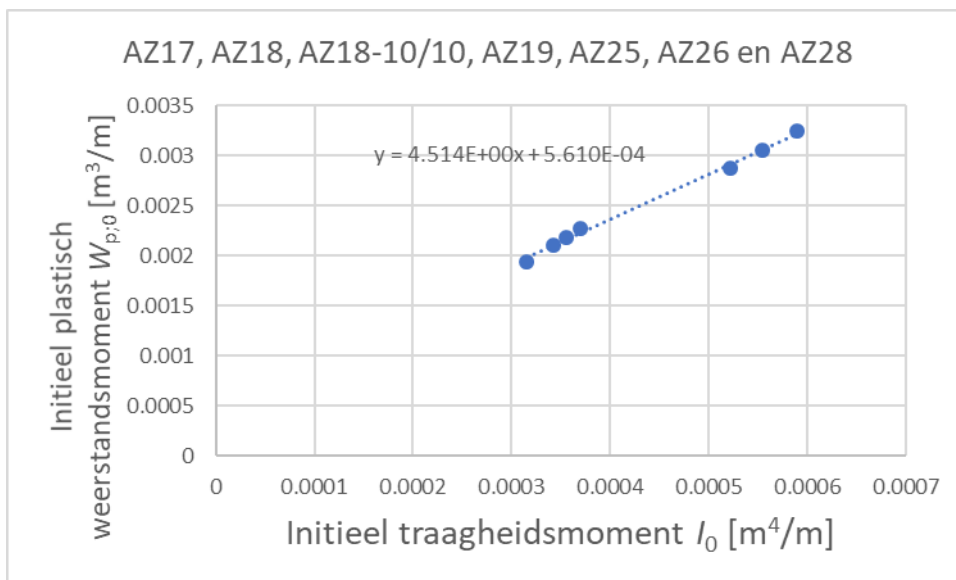


Figuur 58 AZ-profielen reductie  $A_0$  per millimeter corrosie als functie van  $I_0$

In Figuur 59 is de lineaire trend bepaald van de initiële plastische weerstandsmoment als functie van het initiële traagheidsmoment. De benaderingen van Figuur 59 in formulevorm geeft:

$$W_{P,0} = \left(4.514 \cdot I_0 \cdot m^{-4} + 5.61 \cdot 10^{-4}\right) \cdot m^3 \quad (B.10)$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4\}$$

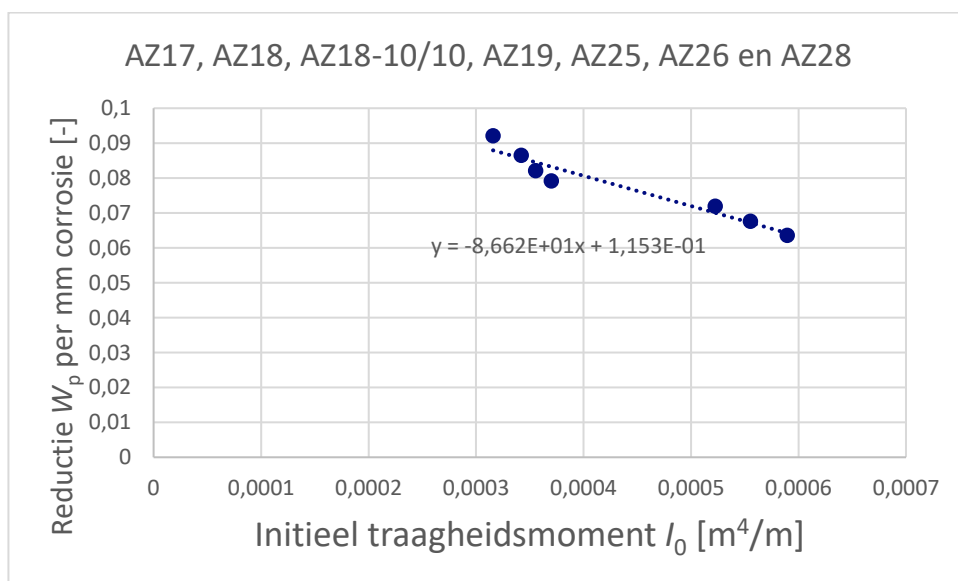


Figuur 59 AZ-profielen  $W_{p,0}$  als functie van  $I_0$

In Figuur 60 is de lineaire trend bepaald van de reductie van het initiële plastische weerstandsmoment per millimeter dikteafname als functie van het initiële traagheidsmoment. De benaderingen van Figuur 60 in formulevorm geeft:

$$W_{P\Delta t_{wall}} = W_{P,0} \cdot \left(1 - \left(-86.62 \cdot I_0 \cdot m^{-4} + 0.1153\right) \cdot \Delta t_{wall} \cdot mm^{-1}\right) \quad (B.11)$$

$$\left\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4 \quad \& \quad 0 \leq \Delta t_{wall} \leq \Delta t_{wall;class2}\right\}$$

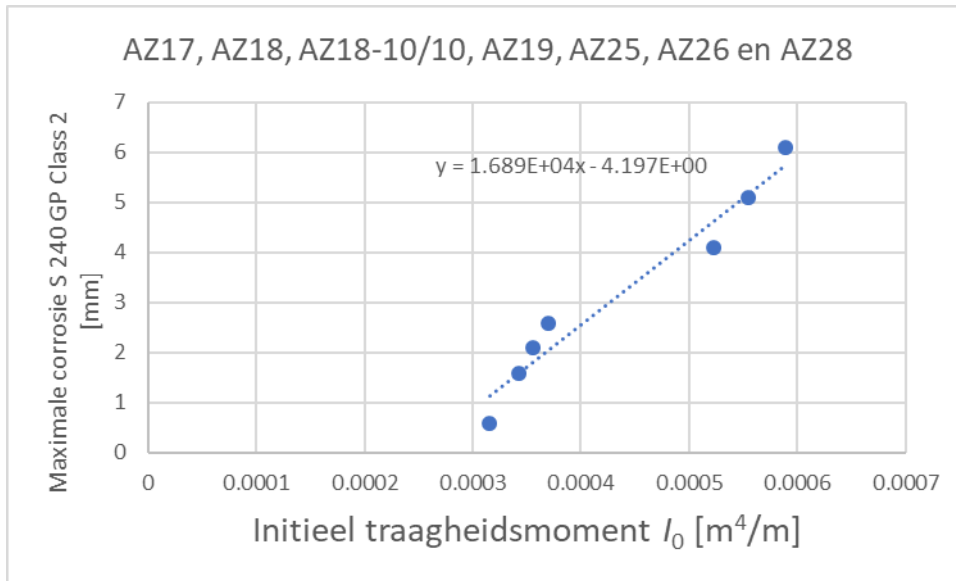


Figuur 60 AZ-profielen reductie  $W_p$  per millimeter corrosie als functie van  $I_0$

In Figuur 61 is de lineaire trend bepaald van de maximale corrosie tot waar het profiel nog in Class 2 valt als functie van het initiële traagheidsmoment. De benadering van maximale corrosie tot waar het profiel nog in Class 2 valt in formulevorm:

$$\Delta t_{\text{wall,class2;S240GP}} = (1.689 \cdot 10^4 \cdot I_0 \cdot m^{-4} - 4.197) \cdot mm$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4\}$$
(B.12)

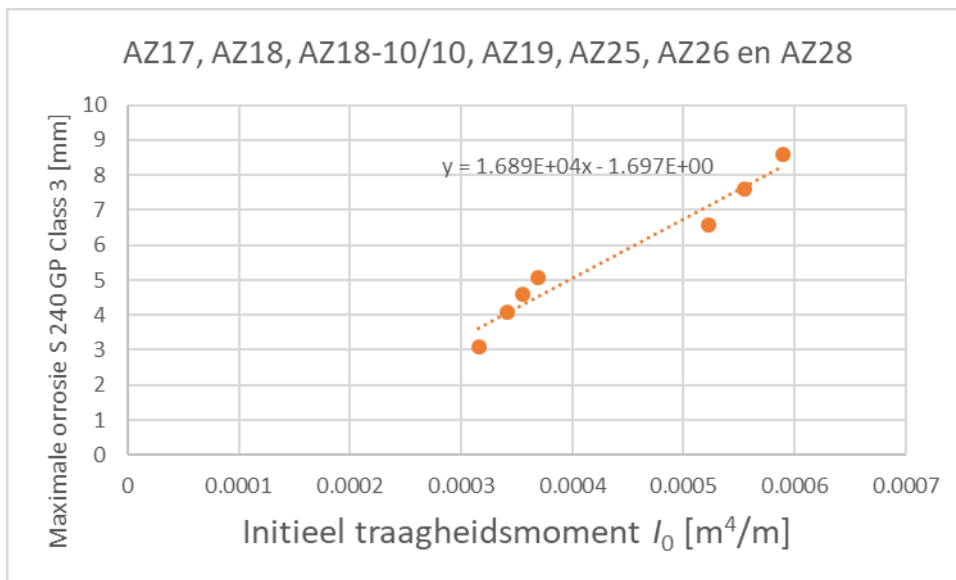


Figuur 61 Maximale corrosie AZ-profielen S 240GP Class 2 als functie van  $I_0$

In Figuur 62 is de lineaire trend bepaald van de corrosie tot waar het profiel Class 3 is als functie van het initiële traagheidsmoment. De benadering van maximale corrosie tot waar het profiel nog in Class 3 valt in formulevorm:

$$\Delta t_{\text{wall,class3;S240GP}} = (-1.689 \cdot 10^4 \cdot I_0 \cdot m^{-4} - 1.697) \cdot mm$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4\}$$
(B.13)



Figuur 62 Maximale corrosie AZ-profielen S 240GP Class 3 als functie van  $I_0$

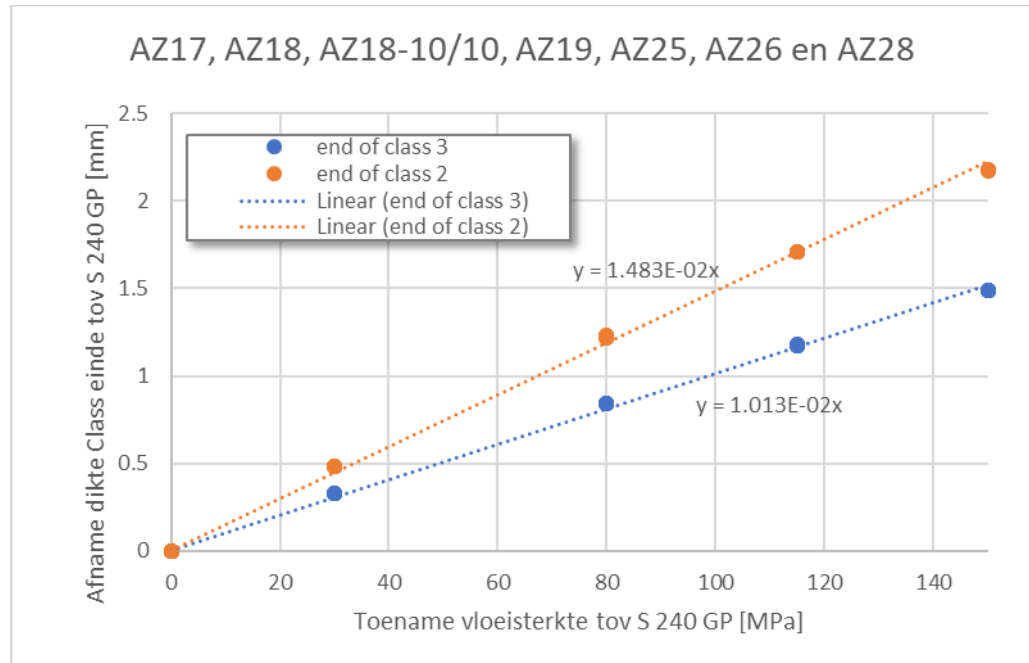
In Figuur 63 zijn de trends voor Class 2 en 3 bepaald tussen de afname dikte op het Class-einde als functie van de toename vloeisterkte ten opzichte van die van staalkwaliteit S 240 GP. De benadering van deze twee trends in formulevorm:

$$\Delta t_{wall;class2} = \Delta t_{class2;S240GP} - (f_y \cdot mm^2 \cdot N^{-1} - 240) \cdot 1.013 \cdot 10^{-2} \cdot mm$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4 \text{ \& } 240MPa \leq f_y \leq 390MPa\}$$
(B.14)

$$\Delta t_{wall;class3} = \Delta t_{class3;S240GP} - (f_y \cdot mm^2 \cdot N^{-1} - 240) \cdot 1.483 \cdot 10^{-2} \cdot mm$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4 \text{ \& } 240MPa \leq f_y \leq 390MPa\}$$
(B.15)



Figuur 63 AZ-profielen afname dikte Class-einde als functie van de toename vloeisterkte.

Vervolgens kan het plastische weerstandsmoment worden bepaald bij  $\Delta t_{wall;class2}$  met:

$$W_{P\Delta t_{wall;class2}} = W_{P;0} \cdot \left(1 - (-86.62 \cdot I_0 \cdot m^{-4} + 0.153) \cdot \Delta t_{wall;class2} \cdot mm^{-1}\right)$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4\}$$
(B.16)

Vervolgens kan het elastische weerstandsmoment worden bepaald bij  $\Delta t_{wall;class3}$  met:

$$W_{E\Delta t_{wall;class3}} = 0.85 \cdot W_{P;0} \cdot \left(1 - (-86.62 \cdot I_0 \cdot m^{-4} + 0.153) \cdot \Delta t_{wall;class3} \cdot mm^{-1}\right)$$

$$\{3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4\}$$
(B.17)

Voor dit project wordt voor dikteafname die groter is dan  $\Delta t_{wall;class2}$  van een lineaire afname uitgegaan van het maximale weerstandsmoment:

$$W_{P/class4;\Delta t_{wall}} = W_{P,class2} + \frac{\Delta t_{wall} - \Delta t_{wall;class2}}{\Delta t_{wall;class3} - \Delta t_{wall;class2}} (W_{E,class3} - W_{P,class2}) \quad (B.18)$$

$$\left\{ 3 \cdot 10^{-4} m^4 \leq I_0 \leq 6 \cdot 10^{-4} m^4 \quad \& \quad \Delta t_{wall} \geq \Delta t_{wall;class2} \right\}$$

## B.6 Verankering

In de cases met een verankerde damwand wordt het anker binnen de D-Sheet Piling berekeningen als oplegging met een stochastische veerconstante gemodelleerd. Gekozen is om de veerconstante verdeling van het lopende onderzoek naar de update van de veiligheidsfilosofie van de CUR166 te hanteren. De veerconstante is lognormaal verdeeld met een verwachtingswaarde van 10E3 kN/m/m en een variatiecoëfficiënt van 0,5.

In de GTF-ANKER wordt uitgegaan van een ankerstaaf met een stochastische diameter en stochastische vloeisterkte, deze waarden zijn niet gecorreleerd aan de stochastische veerconstante. De diameter van de van de ankerstaaf is gebaseerd op de rekenwaarde van ankerkracht uit de CUR166 klasse II ontwerpberekening,  $F_{DSheet}$  maal de factor van  $\gamma_{CUR166} = 1,25$ . De hart op hart afstand tussen de ankers is 2,68 m overeenkomstig de breedte van 2 dubbele AZ 12 damwandplanken. De ankerstaaf heeft een staalkwaliteit S240 met een vloeisterkte van  $240 \cdot 10^3$  kN/m<sup>2</sup> en een diameterafname van 0,0015 m na 50 jaar. De initiële dikte kan worden bepaald met:

$$D_0 = \Delta t_{anchor} \cdot 10^{-3} + \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left( \frac{F_{DSHEET} \cdot \gamma_{CUR166} \cdot hoh}{f_{y;a}} \right)} \quad (B.19)$$

$$D_0 = 1,5 \cdot 10^{-3} + \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left( \frac{F_{DSHEET} \cdot 1,25 \cdot 2,68}{240 \cdot 10^3} \right)} \quad (B.20)$$

Tabel 14 Symbolenlijst

Symbol	Eenheid	Toelichting
$\Delta t_{anchor}$	[mm]	Afname van de ankerstang diameter door corrosie
$F_{DSheet}$	[kN/m]	Rekenwaarde van de ankerkracht uit de D-Sheet Piling berekening
$\gamma_{CUR166}$	[-]	Factor van 1,25 uit de CUR166 voor de dimensionering van de ankerkracht voor de dimensionering van de ankerstang
$hoh$	[m]	Hart op hart afstand van de ankerstangen
$f_{y;a}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	Vloeispanning ankerstaaf
$D_0$	[m]	Initiële ankerstangdiameter bij aanleg

De rekenwaarde van de ankerkracht uit D-Sheet Piling, was voor case B,  $F_{DSheet} = 144,6$  kN/m en voor case D,  $F_{DSheet} = 145,5$  kN/m. Hieruit volgt voor zowel Case B als D, naar boven afgerond op een 0,5 mm, een initiële diameter van  $D_0 = 0,0525$  m. Deze waarde is als determinist toegepast in de probabilistische analyses.

## B.7 Corrosie

### B.7.1 Dikteafname van de damwand

De damwand is gelegen aan een kanaal met zoetwater. In de [NEN 6766] corrosie zijn verwachtingswaarden en de variatiecoëfficiënt gegeven voor de totale dikte afname door corrosie van stalen damwanden aan open water, zie Figuur 65. De zone waar het maximale buigende moment optreedt bevindt permanent onder de (grond)waterstand. Verder is er hier geen sprake van een significante grondwaterverversing door grondwaterstroming zoals in gebieden met gemiddeld een significante permanente kwel of infiltratie verder is er geen sprake van vervuilde grond. Volgens [NEN 6766] tabel 1, zie Figuur 64, is dan sprake van grondconditie type I. In Figuur 68 zijn de waarden die van toepassing zijn waarden rood omkaderd. In de ontwerpberekening volgens [CUR 166] is een dikteafname van 1,5 mm gehanteerd als ontwerpwaarde.

In de probabilistische analyses voor de 50-jaars faalkans wordt een dikteafname van 1,5 mm als gemiddelde waarde toegepast. In de probabilistische analyses op basis van jaarkansen met en zonder bewezen sterkte over een periode van 75 jaren wordt gebruik gemaakt van de trendlijn door de gemiddelde waarden voor grondconditie type I in Figuur 66 van in [TNO-Deltares 2022].

In de probabilistische analyses voor de basis case en variant 1 van cases A t/m D wordt een variatiecoëfficiënt van 0,5 toegepast conform de [NEN 6766] voor nieuwbouw. Voor variant 2 en 3 van case A t/m D wordt een variatiecoëfficiënt van 0,3 zijnde gebaseerd op metingen tijdens de levensduur volgens [CROW 2021]. Verwacht wordt dat dit een goede illustratie van is van het gemiddeld verwachte resultaat van een inspectie volgens [CROW 2021] de lokale spreiding zal lager zijn dan de 0,5 uit de tabel 5 van de NEN6766 en de gemiddelde zal gemiddeld genomen<sup>17</sup> overeenkomen met de waarde in tabel 5 van de NEN6766.

Tabel 1 — Conditie typering schone grond<sup>a</sup>

Conditie waarin de grond zich bevindt	Grondconditie type
Schone grond <sup>a</sup> die zich permanent beneden de laagste grondwaterspiegel <sup>b</sup> bevindt en waarbij bovendien geen regelmatige verversing van het grondwater optreedt door stroming <sup>c</sup>	I
Alle overige gevallen van schone grond <sup>a</sup>	II
<sup>a</sup> Zie voor de definitie van schone grond 3.17. <sup>b</sup> De laagste grondwaterspiegel kan worden bepaald door uit te gaan van de laagste grondwaterstand die gedurende 1 jaar is gemeten, minus 0,5 m. <sup>c</sup> 'Verversing van grondwater' staat voor de situatie waarin er door stroming regelmatige aanvoer is van oxiderende stoffen (zoals zuurstof). Als sprake is van grondwater dat zich niet verplaatst, is het oxidatieproces eindig, omdat er geen nieuwe aanvoer is van oxiderende stoffen zoals zuurstof. Voorbeelden waarbij verversing van het grondwater door grondwaterstroming kan optreden is bij gebieden met een significante kwel en infiltratie maar ook in geval van wisselende verhangen zoals bij sluizen, in getijgebieden, langs rivieren en beken. Als de doorlatendheid van de grond $k$ lager is dan $1 \cdot 10^{-6}$ m/s, mag worden aangenomen dat er geen verversing van grondwater optreedt.	

Figuur 64 Tabel 1 Grondconditie typering [NEN 6766].

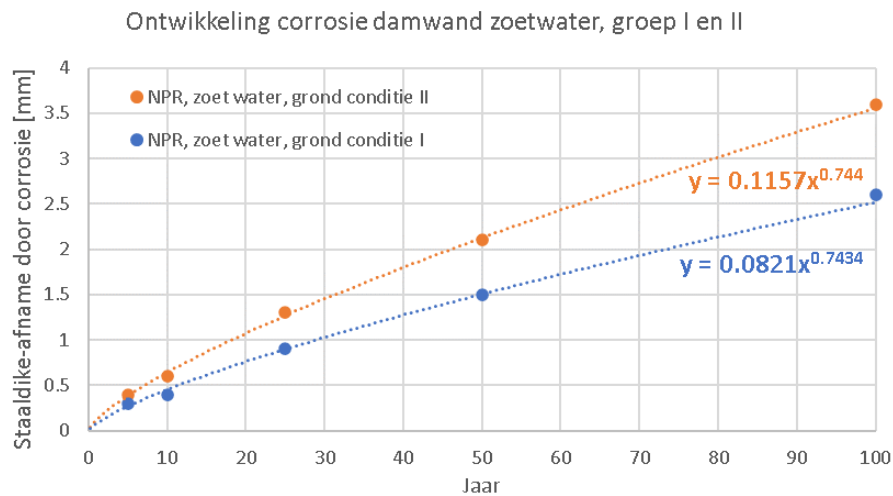
<sup>17</sup> Bij een individueel project kan deze overigens zowel hoger als lager liggen natuurlijk.

Tabel 5 — Staaldikte afname van damwanden grenzend aan open water met aan de achterzijde schone grond<sup>a, e</sup>

Saliniteit <sup>d</sup> [ppt] (Chloridegehalte [g/l])	Corrosie zone conform tabel 2	Grondconditie type conform tabel 1	Verwachtingswaarde van de staaldikte afname <sup>b</sup> (mm)					Variatie-coëfficiënt <sup>c</sup> (-)
			t=5 jaar	t=10 jaar	t=25 jaar	t=50 jaar	t=100 jaar	
< 2,5 (< 1,5)	1 t/m 4	I	0,3	0,4	0,9	1,5	2,6	0,5
		II	0,4	0,6	1,3	2,1	3,6	
2,5 tot 10 (1,5 tot 6)	1	I en II	0,4	0,7	1,1	1,7	2,4	
	2		0,5	0,7	1,2	1,8	2,5	
	3		0,6	1,3	2,1	3,1	4,5	
	4		0,6	0,9	1,5	2,2	3,2	
≥10 (≥ 6)	1	I en II	0,6	1,0	1,7	2,5	3,6	
	2		0,6	0,9	1,4	2,1	3,1	
	3		0,9	1,3	2,2	3,3	4,8	
	4		0,6	1,0	1,7	2,5	3,6	

<sup>a</sup> Zie voor de definitie van schone grond 3.17.  
<sup>b</sup> Voor tussenliggende periodes mag lineair worden geïnterpoleerd.  
<sup>c</sup> De variatiecoëfficiënt  $V_e$  volgens 4.1. Deze waarde is ten behoeve van de bepaling van de rekenwaarde van de constructieve weerstand niet van de grondichtheid.  
<sup>d</sup> De in de tabel genoemde waarden voor saliniteit  $\geq 2,5$  ppt zijn gebaseerd op een grote meetdatabase van het Havenbedrijf Rotterdam.  
<sup>e</sup> zie ook figuur 2

Figuur 65 Staaldikte afname van damwanden grenzend aan open water met aan de achterzijde schone grond, NEN 6766 [9].



Figuur 66 Staaldikte afname van damwanden grenzend aan open zoet water trendlijn, gebaseerd op [NEN6766].

## B.7.2 Diameterafname van de ankerstang

In de ontwerpberekening volgens de [CUR 166] een diameterafname van 1,5 mm als ontwerpwaarde gehanteerd, gelijk zijnde aan de toegepaste ontwerpwaarde van de dikteafname van damwand.

In tegenstelling tot corrosie aan waterzijde is voor de corrosie aan landzijde vrijwel geen data beschikbaar. In de [NEN 6766] is op basis van de weinige data gekomen tot rekenwaarden van de corrosie voor ankerstaven. In Figuur 67 is [NEN 6766] Tabel 3 en in Figuur 68 is tabel 4 uit NEN 6766, met verder informatie weergegeven. Op basis van deze tabellen worden de volgende uitgangspunten en aannames gesteld voor dit project:

- Ankers van niet-hoogwaardig staal, geen dubbele corrosiebescherming.
- Ankers zijn slanke stangen (relatief kleine doorsnede en lange lengte) en vallen dus in 'groep 4' conform [NEN 6766].
- Schone grond.

Tabel 3 — Groepsindeling funderingselementen of delen van funderingselementen die volledig door schone grond<sup>a</sup> zijn omsloten

Funderingselement type	Omstandigheden	Voorbeelden
groep 1	Enige herverdeling van spanningen <sup>c</sup> is mogelijk; element grenst aan één zijde aan de grond en aan de andere zijde aan afgesloten grond	Afgesloten <sup>b</sup> buizen die deel uitmaken van een kerende combi-wand
groep 2	Enige herverdeling van spanningen <sup>c</sup> is mogelijk; element grenst aan 2 of meer zijden aan niet afgesloten grond	Damwanden; Niet afgesloten buizen die deel uitmaken van een kerende combi-wand; Gordingen
groep 3	Geen herverdeling van spanningen <sup>c</sup> is mogelijk; element grenst aan één zijde aan de grond en aan de andere zijde aan afgesloten grond	Afgesloten <sup>b</sup> buizen met een andere dan uitsluitend kerende functie zoals op trek- of druk belaste funderingspalen
groep 4	Geen herverdeling van spanningen <sup>c</sup> is mogelijk; element grenst aan 2 of meer zijden aan niet afgesloten grond	Individuele op trek- of druk belaste funderingselementen zoals ankerstaven en MV-palen

<sup>a</sup> Zie voor de definitie van schone grond 3.17

<sup>b</sup> Er is sprake van afgesloten buizen indien aantoonbaar is dat er geen verversing van corroderende stoffen zoals water of lucht binnen de holle buis of paal kan optreden omdat in dat geval het corrosieproces eindig is. Indien echter bijvoorbeeld water- of luchttransport door de buis of paal zou kunnen optreden, moet wel degelijk rekening worden gehouden met corrosie van binnenuit. Een buis die met beton is afgevuld of is enkelzijdig dichtgelast mag worden beschouwd als afgesloten.

<sup>c</sup> Met de term herverdeling van spanningen wordt hier bedoeld op herverdeling binnen één (funderings-) element. Of herverdeling tussen meerdere elementen al dan niet mogelijk is heeft geen invloed op de indeling in van het element in de groepen 1 t/m 4.

Figuur 67 Groepsindeling NEN6766.



Tabel 4 — Staaldikte<sup>c</sup> afname van funderingselementen of delen van funderingselementen die volledig door schone grond<sup>a</sup> zijn omsloten

Funderingselement type volg. tabel 3	Grondconditie type conform tabel 1	Rekenwaarde van de staaldikte afname <sup>b,c</sup> (mm)				
		t=5 jaar	t=10 jaar	t=25 jaar	t=50 jaar	t=100 jaar
groep 1	I	0,2	0,3	0,5	0,8	1,4
	II	0,3	0,5	0,9	1,4	2,4
groep 2	I	0,2	0,3	0,6	1,2	2,4
	II	0,4	0,7	1,4	2,4	4,4
groep 3	I	0,5	0,8	1,3	2,0	3,5
	II	0,8	1,3	2,3	3,5	6,0
groep 4	I	0,5	0,8	1,5	3,0	6,0
	II	1,0	1,8	3,5	6,0	11,0

<sup>a</sup> Zie voor de definitie van schone grond 3.17.  
<sup>b</sup> Voor tussenliggende periodes mag lineair worden geïnterpoleerd.  
<sup>c</sup> In geval van massieve stalen staven of volledig met grout of beton gevulde holle ankerstaven lees 'afname diameter', in geval van al dan niet afgesloten buizen lees 'afname wanddikte', zie ook figuur 2.

Figuur 68 Staaldikte afname doorgrond omsloten stalen elementen NEN6766.

Arbitrair wordt voor dit onderzoek de volgende aanpak uit [TNO-Deltares 2022] voorgesteld om te komen tot verwachtingswaarden en de variatiecoëfficiënt van de corrosie op de ankerstangen:

- De trend van verwachtingswaarden voor zowel grondconditie type I als II loopt parallel aan trend uit [NEN 6766] met rekenwaarden. In dit project wordt uitgegaan van grondconditie type II welke maatgevend is boven grondconditie type I omdat het anker in dit ontwerp ook boven de laagste grondwaterstand uitkomt.
- Verwachtingswaarde is 75% van rekenwaarde<sup>18</sup>.
- Als verdelingsfunctie wordt een normale verdeling uitgegaan.
- De variatiecoëfficiënt wordt zo gekozen dat de genoemde rekenwaarde uit de [NEN 6766] ongeveer een 1% kans van overschrijding heeft, dit resulteert in een  $V = 0,15$ <sup>18</sup>.

De leeftijd in probabilistische analyses voor de 50-jaarkans is 50 jaar, de gemiddelde en variatiecoëfficiënt van de diameterafname staan in Tabel 15 gegeven.

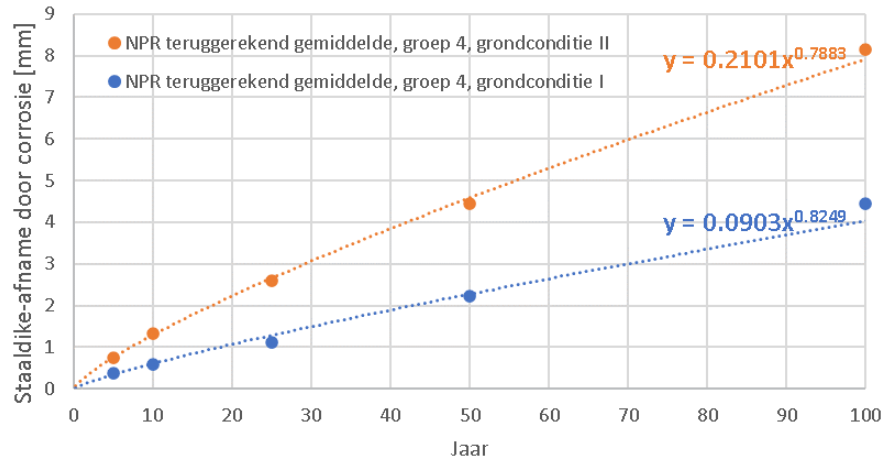
Tabel 15 Diameterafname ankerstang na 50 jaar.

	Gemiddelde diameterafname na 50 jaar Grondconditie type II [mm]	
	Gem <sup>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</sup>	CoV <sup>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</sup>
<b>Afname diameter massieve ankerstaaf, (groep 4)</b>	4,5	0,15

In Figuur 69 is de verwachtingswaarde zijnde 75% van de rekenwaarde van de diameter afname van de ankerstangen voor grondconditie type I en II weergegeven met trendlijnen. De trendlijn voor grondconditie type II wordt in de probabilistische berekening op basis van

<sup>18</sup> Zoals gesteld is de aanpak volledig arbitrair en niet gebaseerd op metingen en is conform de aanpak van [TNO-Deltares 2022]. Aan de gekozen waarden kan geen elke waarde worden ontleend in de adviespraktijk.

jaarkansen met en zonder bewezen sterkte over een periode 75-jaar bewezen sterkte gehanteerd.



Figuur 69 Verloop corrosie anker, gebaseerd op NEN6766.

## B.8 Stochasten

In Tabel 16 zijn de stochasten weergegeven welke in de probabilistische berekeningen worden meegenomen.

Tabel 16 Stochasten.

#	Symbol	Kansverdeling	Eenheid	Autocorrelatie in tijd (1 = volledig, 0 = geen)	Gemiddelde	Standaardafwijking	Variatiecoëfficiënt
1	$\Delta t_{wall}$	Normaal truncated	mm	1	Verloop I in Figuur 66		0,50 0,3 (v2&v3)
2	$\Delta t_{anchor}$	Normaal truncated	mm	1	Verloop II in Figuur 69		0.15
3	$K_{anchor}$	Lognormaal	kN/m/m	1	10000		0.5
4	$f_{y_1}$	Lognormaal	kN/m <sup>2</sup>	1	276000		0,08
5	$f_{y_2}$	Lognormaal	kN/m <sup>2</sup>	1	276000		0,08
6	$\gamma_{sab, klei}$	Lognormaal	kN/m <sup>3</sup>	1	19,57		0,05
7	$\phi'_{klei}$	Lognormaal	°	1	25,74		0,08 <sup>19</sup>
8	$c'_{klei}$	Lognormaal	kN/m <sup>2</sup>	1	4,24		0,2
9	$k1_{klei}$	Lognormaal	kN/m <sup>3</sup>	1	3384		0,3
10	$R_{klei}$	Lognormaal	-	1	0,667	0,083	
11	$\gamma_{sab, zand}$	Lognormaal	kN/m <sup>3</sup>	1	21,74		0,05
12	$\phi'_{zand}$	Lognormaal	°	1	37,18		0,08 <sup>Fout!</sup> Bladwijzer niet gedefinieerd. <sup>19</sup>
13	$k1_{zand}$	Lognormaal	kN/m <sup>3</sup>	1	33841		0,3
14	$R_{zand}$	Lognormaal	-	1	0,667	0,083	
15	$\theta_{m;MN}$	Lognormaal	-	1	1	0,1	
16	$\theta_{m;F}$	Lognormaal	-	1	1	0,1	
17	$\theta_{m;MobP}$	Lognormaal	-	1	1	0,1	
18	$Q_{surface}$	Gumbel	kPa	0	10 ( $t_{ref}=50$ ) 7,41 ( $t_{ref}=1$ )	1	
19	$Z_{bodem}$	Gumbel inv	m NAP	0	(shift) case en variant afhankelijk		(scale) 0,109 0,05045 (v1&v3)
20	$H_{gws}$	Gumbel	m NAP	0	(shift) -1,211 ( $t_{ref}=50$ ) -1,33 ( $t_{ref}=1$ )		(scale) 0,0304
21	$H_{ws}$	Gumbel inv	m NAP	0	(shift) -1,789 ( $t_{ref}=50$ ) -1.67 ( $t_{ref}=1$ )		(scale) 0,0304

<sup>19</sup> CoV 10% op  $\tan(\phi')$  komt overeen met CoV 8% op de hoek in graden.

Tabel 17 Toelichting op de stochasten.

#	Toelichting
1	Diktereductie dikte damwand door corrosie conform [NEN 6766], zie B.7.1 voor nadere toelichting.
2	Diktereductie diameter ankerstaaf door corrosie conform [NEN 6766], zie B.7.2 voor nadere toelichting.
3	Stijfheid van de verankering anker gemiddelde en CoV conform [Deltares 2023]
4	Vloeispanning damwand. S240. Gemiddeld conform [GD 1990]. In de variatiecoëfficiënt zit ook onzekerheid initiële dikte en geometrie verwerkt
5	Vloeispanning ankerstaal S240
6	Verzadigd volumiek gewicht klei, volledig gecorreleerd met onverzadigd volumiek gewicht. De waarde gebaseerd op een lage karakteristieke waarde van $18 \text{ kN/m}^3$ die in de CUR166-ontwerpberekening is aangehouden. De variatiecoëfficiënt is gebaseerd op [NEN-EN 1997-1]
7	Hoek van inwendige wrijving klei. Waarde gebaseerd op een lage karakteristieke waarde van $22,5^\circ$ die in de CUR166-ontwerpberekening is aangehouden. De variatiecoëfficiënt is gebaseerd op [NEN-EN 1997-1] Tabel 2.b. $\varphi'_{\text{klei}}$ is volledig gecorreleerd met wandwrijvingshoek $\delta'_{\text{klei}} = R_{\text{klei}} \times \varphi'_{\text{klei}}$ .
8	Cohesie klei. Waarde gebaseerd op een lage karakteristieke waarde van $22,5^\circ$ die in de CUR166-ontwerpberekening is aangehouden. De variatiecoëfficiënt is gebaseerd op [NEN-EN 1997-1]
9*	Stijfheid tak 1 klei. Vaste verhouding voor taken 2 en 3: $k_1/k_2/k_3 = 4/2/1$ . Gelijk over gehele laag.
10*	Ratio tussen $\varphi'_{\text{klei}}$ en $\delta'_{\text{klei}}$ voor klei, waarde conform [NEN-EN 1997-1 en de variatiecoëfficiënt is gebaseerd op [GD 1990]
11*	Verzadigd volumiek gewicht zand, Volledig gecorreleerd met onverzadigd gewicht $\gamma_{\text{zand}} = \gamma_{\text{sat,zand}} - 2$ . De waarde gebaseerd op een lage karakteristieke waarde van $20 \text{ kN/m}^3$ die in de CUR166-ontwerpberekening is aangehouden. De variatiecoëfficiënt is gebaseerd op [NEN-EN 1997-1]
12*	Hoek van inwendige wrijving zand. Waarde gebaseerd op een lage karakteristieke waarde van $32,5^\circ$ die in de CUR166-ontwerpberekening is aangehouden. De variatiecoëfficiënt is gebaseerd op [NEN-EN 1997-1] Tabel 2.b. $\varphi'_{\text{klei}}$ is volledig gecorreleerd met wandwrijvingshoek $\delta'_{\text{zand}} = R_{\text{zand}} \times \varphi'_{\text{zand}}$ .
13*	Stijfheid tak 1 zand. Vaste verhouding voor taken 2 en 3: $k_1/k_2/k_3 = 4/2/1$ . Gelijk over gehele laag.
14*	Ratio tussen $\varphi'$ en $\delta'$ voor zand, waarde conform [NEN-EN 1997-1 en de variatiecoëfficiënt is gebaseerd op [GD 1990]
15*	Modelonzekerheid gerelateerd aan snedekrachten voorwand, conform ISO aanbevelingen
16*	Modelonzekerheid gerelateerd aan ankerkracht, conform ISO aanbevelingen
17*	Modelonzekerheid gerelateerd aan mobilisatie passieve wig, conform ISO aanbevelingen
18*	Terreinbelasting hoge zijde voor het 1-jaar/50-maximum
19	Niveau waterbodem, conform [Deltares 2023] dat is gebaseerd op [GD 1990] zie Bijlage B.4
20	Grondwaterstand (freatisch niveau) maxima met herhaaltijd van 1 en 50-jaar zie Bijlage B.2 voor toelichting
21	Waterstand minima met herhaaltijd van 1 en 50-jaar. Decimeringshoogte 0,07 m op basis van ervaringsgetallen, zie Bijlage B.2 voor toelichting

## B.9 Correlaties tussen stochasten

In Tabel 18 zijn de correlaties tussen stochasten in laag  $i$  die uit klei of zand kan bestaan.

Tabel 18 Correlaties tussen random variabele, grondeigenschappen van grondlaag  $i$ .

Symbool	$\gamma_{\text{sat,grondlaag},i}$	$\phi_{\text{grondlaag},i}$	$c_{\text{grondlaag},i}$	$K_{1,\text{grondlaag},i}$	$R_{\text{grondlaag},i}$
$\gamma_{\text{sat,grondlaag},i}$	1				
$\phi_{\text{grondlaag},i}$	0.5	1			
$c_{\text{grondlaag},i}$	-0.1	-0.65	1		
$K_{1,\text{grondlaag},i}$	0.5	0.25	0.12	1	
$R_{\text{grondlaag},i}$	0	0	0	0	1

Hierbij wordt opgemerkt:

- De corrosie op de wand (aan landzijde) en het anker zijn mogelijk gecorreleerd via de grond. Echter doordat het grootste deel van de corrosie aan waterzijde zal optreden (en hier het gecombineerde effect van land + water wordt beschouwd) is de eerste aanname dat deze ongecorreleerd zijn.
- Voor de correlatie tussen waterstand en de grondwaterstand dient in feite per grond per grondopbouwscenario een keus te worden gemaakt. Voor situaties waarin nog klei aanwezig (Case A en B) lijkt een redelijke keuze om deze volledig ongecorreleerd te maken. Alhoewel voor een geheel zandig profiel (Case C en D) onderlinge beïnvloeding logisch lijkt is voor deze studie van uit het oogpunt de verandering van de beperken geen correlatie meegenomen van tussen de waterstand en de grondwaterstand. Overigens wordt in tegenstelling tot [TNO-Deltares 2022] het gecombineerde effect waterstand en de grondwaterstand op grondwaterspanningen wel meegenomen op net niet-hydrostatische verloop uitgaande van grondwaterstoming.
- De correlatie tussen  $\phi'$  en  $\delta$  wordt verkregen door het invoeren van een stochast  $R$ . De stochast  $R$  is verder niet gecorreleerd aan andere parameters.
- Voor alle overige niet genoemde stochastische variabelen geldt dat er geen correlaties bestaan met andere variabelen.
- De grondeigenschappen in de grondlaag aan weerszijde van de damwand zijn volledig aan elkaar gecorreleerd (het is dezelfde grondlaag).
- De grondeigenschappen van de kleilaag boven de zandlaag en de kleilaag onder de zandlaag in case A zijn volledig ongecorreleerd.

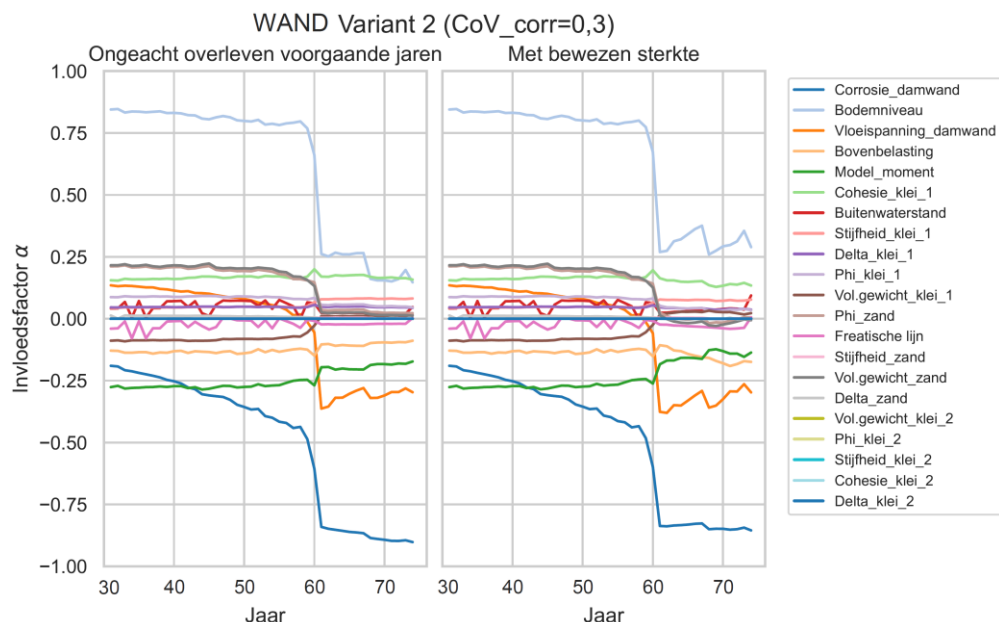
## C Convergentie

Het strengste convergentiecriteria dat in [PTK 2020] kan worden ingevoerd is 1,0%. Om snel een visuele overzicht te krijgen zijn gekleurde bolletjes naast de waarde van de gerealiseerde convergentie weergegeven:

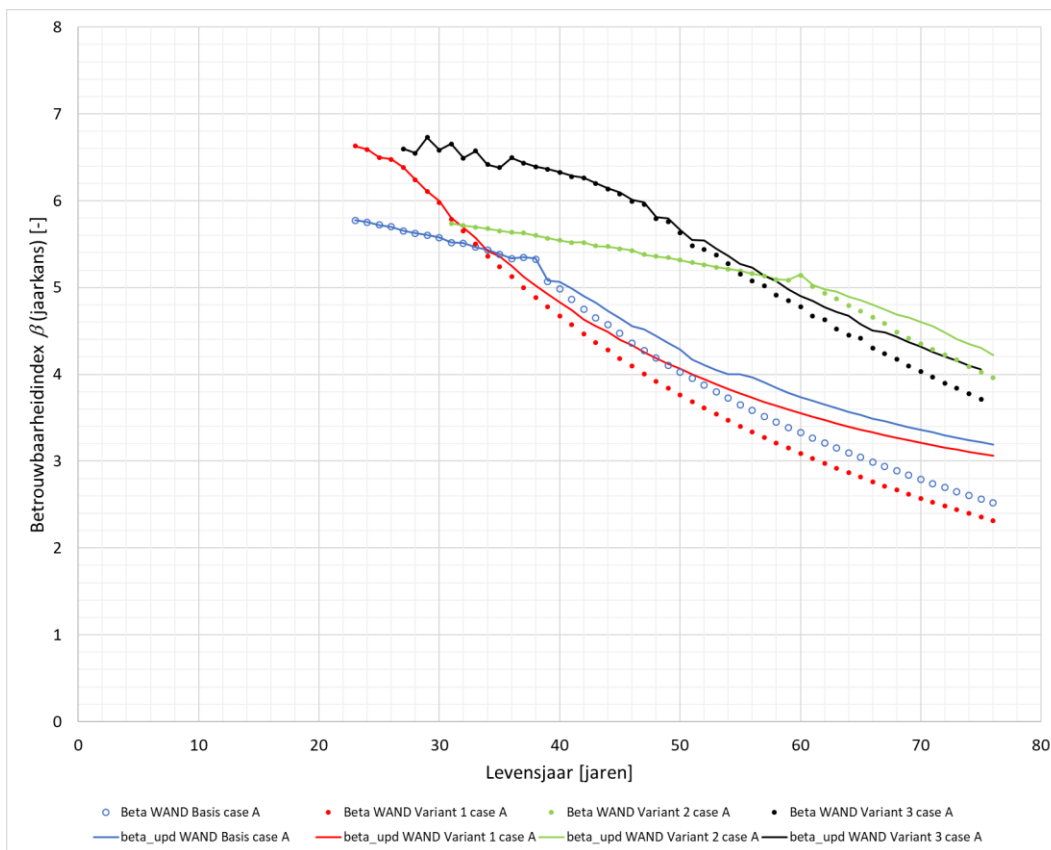
- **Groen** als de gerealiseerde convergentie voldoet aan het in [PRK 2020] strengst mogelijke convergentie criterium van 1%.
- **Orange** als de gerealiseerde convergentie voldoet aan een convergentiecriteria van 2,5%.
- **Rood** als de gerealiseerde convergentie groter is dan 2,5%.

Opmerkingen:

1. De waarde van 2,5% is arbitrair gekozen als zijnde redelijk in de buurt van het strengst mogelijke convergentiecriteria in [PTK 2020].
2. De nauwkeurigheid van de berekende betrouwbaarheidsindex hoeft niet laag te zijn als de waarde van de gerealiseerde convergentie hoger zijn. Bij de interpretatie van de berekeningsresultaten in de volgende fase van dit project is het van belang naar het totale beeld van de resultaten te kijken. De oorzaak van de hogere gerealiseerde convergenties bij GTF-WAND is dat er soms meer dan 1 combinaties van invloedsfactoren zijn die vrijwel tot dezelfde minimale waarde van de betrouwbaarheid leiden (ontwerppunt). De iteratieve FORM-zoekroutine van de Probabilistic Tool Kit lukt het dan niet altijd om te convergeren tot 1 ontwerppunt. Als de verschillen tussen die combinaties van invloedsfactoren waartussen de zoekroutine “verspringt” van de PRK groot is dan is de gerealiseerde convergentie ook groot. In Figuur 70 is ter illustratie een voorbeeld weergegeven waar rond het jaar 60 de combinatie van invloeden die leidt tot de minimale waarde van de betrouwbaarheid (het ontwerppunt) sterk veranderd, als dit precies in 1 jaar gebeurt dan kan dat tot convergentie problemen leiden. In Figuur 71 is het bij behorende verloop van de betrouwbaarheid weergegeven, waar bij het 60<sup>e</sup> levensjaar een klein sprongetje te zien is in de betrouwbaarheid.



Figuur 70 Case A invloedsfactoren  $\alpha$  met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND, variant 1. “Delta” in de legenda is  $R$ , de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$



Figuur 71 Case A betrouwbaarheidsindex met en zonder bewezen sterkte grenstoestandsfunctie WAND.

In de volgende tabellen zijn de gerealiseerde convergenties weergegeven.

Levens- jaar	Case A						Case B						Case B		Case B	
	GEO	GEO	WAND	WAND	WAND	WAND	GEO	GEO	WAND	WAND	WAND	WAND	WAND	ANKER	ANKER	
	Basis	Variant 1	Basis	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Basis	Variant 1	Basis	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Basis	Variant 1		
1	0.0%	0.1%					0.8%	0.4%	0.4%	0.3%	0.6%	0.3%	0.8%	0.3%		
2	0.6%	0.1%					0.8%	0.3%	0.8%	0.3%	0.7%	0.3%	0.8%	0.3%		
3	0.6%	0.1%					0.8%	0.5%	0.8%	0.1%	0.7%	0.3%	0.8%	0.3%		
4	0.6%	0.1%					0.8%	0.4%	0.7%	0.1%	0.8%	0.1%	0.8%	0.3%		
5	0.6%	0.1%					0.8%	0.4%	0.6%	0.1%	0.6%	0.1%	0.8%	0.3%		
6	0.6%	0.1%					0.8%	0.4%	0.4%	0.1%	0.6%	0.1%	0.8%	0.3%		
7	0.6%	0.1%					0.8%	0.4%	0.8%	0.1%	0.5%	0.1%	0.8%	0.3%		
8	1.3%	0.1%					0.8%	0.5%	0.8%	0.7%	0.4%	0.1%	0.8%	0.3%		
9	0.6%	0.1%					0.8%	0.6%	0.8%	0.7%	0.8%	0.1%	0.8%	0.3%		
10	0.6%	0.1%					0.8%	0.7%	0.9%	0.6%	0.7%	0.1%	0.8%	0.3%		
11	0.6%	0.1%					0.3%	0.6%	1.0%	0.6%	0.9%	0.7%	0.2%	0.3%		
12	0.6%	0.1%					0.8%	0.6%	0.7%	0.6%	0.8%	0.7%	0.2%	0.3%		
13	0.6%	0.1%					0.8%	0.6%	0.9%	0.6%	0.9%	0.7%	0.2%	0.3%		
14	0.6%	0.1%					0.8%	0.6%	0.6%	0.6%	0.9%	0.7%	0.1%	0.3%		
15	0.6%	0.1%					0.8%	0.6%	0.6%	0.5%	1.0%	0.7%	0.1%	0.3%		
16	0.6%	0.1%					0.8%	0.6%	0.6%	0.4%	0.8%	0.7%	0.1%	0.3%		
17	0.6%	0.1%					0.8%	0.7%	0.8%	0.4%	0.6%	0.7%	0.1%	0.3%		
18	0.6%	0.1%					0.8%	0.7%	0.9%	0.3%	0.7%	0.7%	0.1%	0.3%		
19	0.6%	0.1%					0.8%	0.7%	0.4%	0.3%	0.6%	0.7%	0.1%	0.3%		
20	0.6%	0.1%					0.8%	0.7%	0.4%	0.2%	0.7%	0.7%	0.1%	0.3%		
21	0.6%	0.1%					0.8%	0.7%	0.2%	0.2%	0.7%	0.6%	0.1%	0.4%		
22	0.6%	0.1%					0.8%	0.7%	0.2%	0.1%	0.5%	0.6%	0.1%	0.3%		
23	0.6%	0.1%	0.5%	1.0%			0.8%	0.7%	0.6%	0.1%	0.6%	0.6%	0.2%	0.3%		
24	0.6%	0.1%	0.8%	0.6%			0.8%	0.7%	0.6%	0.0%	0.4%	0.6%	0.2%	0.3%		
25	0.6%	0.1%	0.6%	0.8%			0.8%	0.7%	0.9%	0.9%	0.8%	0.6%	0.2%	0.3%		
26	0.6%	0.1%	0.9%	0.9%			0.8%	0.6%	1.0%	0.6%	0.9%	0.5%	0.2%	0.3%		
27	0.6%	0.2%	0.7%	0.9%		0.3%	0.8%	0.6%	1.0%	0.4%	0.9%	0.5%	0.2%	0.3%		
28	0.6%	0.2%	0.8%	13.8%		0.7%	0.8%	0.7%	0.8%	0.3%	0.6%	0.5%	0.2%	0.3%		
29	0.6%	0.2%	0.4%	13.3%		0.8%	0.8%	0.7%	0.7%	0.4%	0.4%	0.5%	0.2%	0.3%		
30	0.6%	0.2%	0.8%	16.1%		0.5%	0.8%	0.7%	0.6%	0.2%	0.4%	0.5%	0.2%	0.3%		
31	0.6%	0.2%	0.6%	8.1%	0.9%	0.7%	0.8%	0.7%	0.6%	0.5%	0.2%	0.4%	0.2%	0.3%		
32	0.6%	0.2%	0.8%	9.8%	0.7%	0.2%	0.8%	0.8%	0.5%	0.4%	0.2%	0.4%	0.3%	0.3%		
33	0.6%	0.2%	0.2%	9.6%	0.1%	0.6%	0.8%	0.8%	0.5%	0.6%	0.2%	0.4%	0.3%	0.3%		
34	0.6%	0.2%	0.7%	0.9%	0.7%	0.6%	0.8%	0.7%	0.4%	0.7%	0.7%	0.4%	0.3%	0.3%		
35	0.6%	0.2%	0.8%	0.9%	0.6%	0.2%	0.8%	0.7%	0.5%	0.7%	0.7%	0.3%	0.3%	0.3%		
36	0.6%	0.2%	0.3%	0.8%	0.9%	0.7%	0.8%	0.7%	0.4%	0.7%	0.6%	0.3%	0.3%	0.3%		
37	0.6%	0.2%	0.6%	0.8%	1.0%	0.7%	0.8%	0.7%	0.5%	0.7%	0.6%	0.3%	0.3%	0.3%		
38	0.6%	0.2%	0.7%	1.0%	0.2%	0.9%	0.8%	0.7%	0.5%	0.7%	1.0%	0.2%	0.3%	0.3%		
39		0.2%	1.0%	1.0%	0.0%	0.9%	0.8%	0.7%	0.4%	0.7%	0.9%	0.2%	0.3%	0.3%		
40		0.2%	0.4%	0.9%	0.9%	0.7%	0.8%	0.7%	0.3%	0.6%	0.5%	0.2%	0.3%	0.3%		
41		0.2%	1.0%	0.8%	0.8%	0.8%	0.9%	0.8%	0.3%	0.6%	0.5%	0.1%	0.3%	0.3%		
42		0.2%	0.7%	1.0%	0.9%	0.8%	0.9%	0.7%	0.4%	0.6%	0.9%	0.1%	0.3%	0.3%		
43		0.2%	0.6%	0.8%	0.8%	0.4%	0.9%	0.7%	0.4%	0.5%	0.8%	0.1%	0.3%	0.3%		
44		0.2%	0.9%	1.0%	1.0%	0.8%	0.9%	0.7%	0.1%	0.5%	0.7%	0.0%	0.3%	0.3%		
45		0.2%	0.7%	0.9%	0.9%	0.5%	0.9%	0.6%	0.2%	0.4%	0.6%	0.9%	0.3%	0.3%		
46		0.2%	1.0%	1.0%	0.2%	1.8%	0.9%	0.6%	0.2%	1.3%	0.6%	0.8%	0.3%	0.3%		
47		0.2%	0.9%	1.0%	0.5%	4.0%	0.9%	0.6%	0.1%	0.0%	0.6%	0.7%	0.3%	0.3%		
48		0.2%	1.0%	0.8%	1.0%	3.7%	0.5%	0.6%	0.1%	1.0%	0.5%	0.6%	0.3%	0.3%		
49		0.2%	0.8%	0.8%	0.7%	5.0%	0.5%	0.6%	0.8%	0.7%	0.5%	0.5%	0.3%	0.3%		
50		0.2%	0.9%	0.8%	0.4%	3.6%	0.5%	0.7%	0.1%	0.9%	0.5%	0.4%	0.3%	0.3%		
51		0.2%	0.9%	0.8%	0.9%	19.3%	0.5%	0.7%	12.5%	0.8%	0.5%	0.4%	0.3%	0.3%		
52		0.2%	0.8%	1.0%	0.9%	3.1%	0.5%	0.7%	1.0%	0.4%	0.4%	0.2%	0.3%	0.3%		
53		0.2%	0.6%	1.0%	0.9%	2.3%	0.5%	0.7%	14.4%	0.0%	0.4%	0.2%	0.3%	0.3%		
54		0.2%	0.9%	1.0%	0.9%	1.3%	0.5%	0.7%	0.4%	0.2%	0.4%	0.2%	0.3%	0.3%		
55		0.2%	0.8%	0.9%	0.3%	3.0%	0.5%	0.7%	0.1%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%		
56		0.2%	0.9%	0.9%	0.1%	1.7%	0.5%	0.6%	0.3%	0.1%	0.3%	0.3%	0.4%	0.2%		
57		0.2%	0.8%	0.9%	0.2%	1.0%	0.5%	0.7%	20.3%	0.1%	0.3%	0.3%	0.4%	0.2%		
58		0.2%	1.0%	0.9%	0.8%	0.9%	0.5%	0.8%	0.9%	0.9%	0.3%	0.3%	0.4%	0.4%		
59		0.2%	0.8%	0.9%	0.6%	1.2%	0.5%	0.5%	0.7%	0.1%	0.3%	0.3%	0.5%	0.4%		
60		0.2%	0.9%	0.9%	0.5%	0.9%	0.5%	1.0%	0.4%	0.1%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%		
61		0.2%	0.8%	0.8%	0.9%	0.9%	0.5%	1.0%	0.0%	0.7%	0.3%	0.3%	0.4%	0.3%		
62		0.2%	0.8%	0.9%	0.9%	0.8%	0.5%	1.0%	0.4%	0.1%	0.2%	0.2%	0.5%	0.3%		
63		0.2%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	0.5%	1.0%	0.4%	0.1%	0.0%	0.2%	0.5%	0.3%		
64		0.2%	0.8%	0.8%	0.9%	1.0%	0.5%	0.8%	0.8%	0.1%	0.2%	0.2%	0.6%	0.3%		
65		0.2%	0.9%	0.8%	0.8%	0.9%	0.5%	0.8%	0.4%	0.1%	0.2%	0.2%	0.5%	0.3%		
66		1.0%	0.9%	0.8%	0.9%	0.9%	0.9%	1.0%	0.4%	0.1%	0.2%	0.2%	0.6%	0.3%		
67		1.0%	0.9%	0.8%	0.5%	1.0%	0.9%	0.9%	0.4%	0.1%	0.2%	0.2%	0.6%	0.3%		
68		0.8%	0.9%	0.8%	0.9%	1.0%	0.9%	0.6%	0.4%	0.2%	0.2%	0.2%	0.7%	0.2%		
69		0.8%	0.9%	0.8%	0.9%	0.8%	1.0%	1.0%	0.5%	0.2%	0.1%	0.2%	0.7%	0.3%		
70		0.8%	0.9%	0.8%	0.9%	1.0%	0.8%	1.0%	0.5%	0.2%	0.1%	0.2%	0.3%	0.2%		
71		0.8%	0.9%	0.8%	0.8%	1.0%	0.8%	1.0%	0.5%	0.2%	0.1%	0.2%	0.4%	0.2%		
72		0.8%	0.9%	0.8%	0.5%	0.9%	0.8%	0.6%	0.6%	0.2%	0.1%	0.1%	0.4%	0.3%		
73		0.8%	0.9%	0.8%	0.7%	0.8%	0.9%	0.8%	0.6%	0.2%	0.6%	0.1%	0.4%	0.3%		
74		0.8%	0.9%	0.8%	1.0%	1.0%	0.9%	0.8%	0.6%	0.2%	0.6%	0.1%	0.5%	0.2%		
75		0.8%	0.9%	0.8%	0.9%	1.0%	0.6%	0.9%	0.7%	0.2%	0.6%	0.6%	0.4%	0.2%		
76		0.8%	0.9%	0.8%	0.7%	1.0%	0.6%	0.6%	0.7%	0.2%	0.5%	7.3%	0.4%	0.2%		



Levens- jaar	Case C						Case D						Case D		Case D	
	GEO		WAND		WAND		GEO		WAND		WAND		WAND		ANKER	
	Basis	Variant 1	Basis	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Basis	Variant 1	Basis	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Basis	Variant 1		
1	0.8%	0.5%					0.9%	0.2%	0.7%				0.5%	0.1%		
2	0.8%	0.3%					0.0%	0.3%	0.6%				0.4%	0.0%		
3	0.7%	0.3%					0.0%	0.4%	0.7%				0.3%	0.1%		
4	0.8%	0.3%					0.4%	0.6%	0.7%				0.4%	0.2%		
5	0.3%	0.3%					0.8%	0.7%	1.0%				0.5%	0.2%		
6	0.7%	0.3%					0.8%	0.6%	0.7%				0.7%	0.8%		
7	0.7%	0.3%					0.8%	0.6%	0.6%				0.6%	0.5%		
8	0.8%	0.3%					0.8%	0.6%	0.3%				0.8%	0.2%		
9	0.7%	0.3%					0.9%	0.6%	0.5%				0.8%	0.3%		
10	0.7%	0.3%					0.9%	0.6%	0.9%				0.9%	0.1%		
11	1.0%	0.3%					0.7%	0.6%	0.9%				0.6%	0.3%		
12	0.8%	0.3%					0.9%	0.6%	0.9%	0.9%			0.7%	0.5%		
13	1.0%	0.3%					0.6%	0.6%	0.9%	0.8%			0.7%	9.0%		
14	0.1%	0.3%					0.8%	0.6%	0.5%	0.8%			0.6%	0.5%		
15	0.6%	0.3%					0.8%	0.6%	0.6%	0.8%			0.6%	0.5%		
16	0.7%	0.3%					0.8%	0.6%	0.7%	0.9%			0.6%	0.5%		
17	0.7%	0.3%					0.9%	0.6%	0.7%	0.3%			0.7%	0.5%		
18	0.7%	0.3%					0.9%	0.6%	0.6%	0.9%			0.8%	0.5%		
19	0.9%	0.3%					0.9%	0.6%	0.5%	0.8%			0.8%	0.7%		
20	0.9%	0.3%					0.9%	0.6%	0.6%	0.6%			0.8%	0.3%		
21	0.8%	0.3%	0.0%	0.8%			0.4%	0.6%	0.7%	0.5%			0.8%	0.2%		
22	0.8%	0.3%	0.4%	0.6%			0.5%	0.6%	0.6%	0.4%			0.6%	0.3%		
23	0.8%	0.3%	0.3%	0.5%			0.6%	0.6%	0.7%	0.3%			0.7%	0.3%		
24	1.0%	0.3%	0.2%	0.6%		0.5%	0.6%	0.6%	0.5%	0.3%			0.6%	0.7%		
25	0.7%	0.3%	0.1%	0.4%		0.1%	0.7%	0.6%	0.6%	0.9%			0.6%	0.9%		
26	0.8%	0.3%	0.2%	0.2%	1.5%	0.9%	0.8%	0.6%	0.7%	0.4%			0.6%	0.8%		
27	0.8%	0.3%	0.0%	0.4%	0.1%	0.7%	0.9%	0.6%	0.7%	0.5%			0.9%	0.7%		
28	0.6%	0.3%	0.0%	0.5%	0.1%	0.7%	0.9%	0.6%	0.7%	45.1%			0.5%	0.3%		
29	1.0%	0.5%	0.2%	0.4%	0.4%	0.7%	0.3%	0.6%	0.6%	30.0%			0.5%	0.7%		
30	0.8%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%	0.6%	0.3%	0.6%	0.7%	36.6%			0.4%	0.2%		
31	0.7%	0.5%	0.1%	0.4%	0.4%	0.6%	0.3%	0.6%	0.8%	0.8%			0.4%	0.5%		
32	0.8%	0.7%	1.0%	0.7%	0.3%	0.7%	0.3%	0.6%	0.9%	0.6%			0.4%	0.0%		
33	0.7%	0.5%	0.4%	0.6%	0.3%	0.1%	0.3%	0.6%	0.9%	0.1%			0.9%	0.1%		
34	0.8%	0.5%	1.0%	0.5%	0.2%	0.6%	0.3%	0.6%	0.7%	0.2%			0.8%	0.0%		
35	0.9%	0.5%	0.0%	0.5%	0.2%	0.1%	0.7%	0.6%	0.4%	0.1%			0.6%	0.6%		
36	1.0%	0.5%	0.2%	0.4%	0.1%	0.1%	0.7%	0.6%	0.4%	0.0%			0.6%	0.1%		
37	0.7%	0.5%	0.4%	0.4%	0.7%	0.1%	0.4%	0.6%	0.9%	0.1%			0.5%	0.8%		
38	0.8%	0.5%	0.6%	0.8%	0.0%	0.6%	0.4%	0.6%	0.2%	0.3%			0.5%	0.7%		
39	0.9%	0.4%	0.6%	0.7%	0.0%	0.6%	0.4%	0.6%	0.6%	0.2%			0.4%	0.6%		
40	1.0%	0.4%	0.5%	0.6%	0.0%	0.6%	0.4%	0.6%	0.0%	0.2%			0.3%	0.9%		
41	1.0%	0.4%	0.6%	0.6%	0.0%	0.6%	0.4%	0.6%	0.5%	0.3%			0.2%	0.7%		
42	0.7%	0.4%	0.9%	0.7%	0.1%	0.9%	0.4%	0.6%	0.5%	0.3%			0.2%	0.6%		
43	0.1%	0.1%	0.6%	0.5%	0.2%	0.8%	0.4%	0.6%	0.4%	0.3%			0.0%	0.4%		
44	0.9%	0.4%	0.4%	0.7%	0.2%	0.9%	0.4%	0.6%	0.7%	0.2%			0.1%	0.5%		
45	0.2%	0.4%	0.4%	0.6%	0.4%	0.6%	0.4%	0.6%	0.7%	0.2%			0.1%	0.8%		
46	0.2%	0.4%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%	0.4%	0.6%	0.7%	0.2%			0.0%	0.8%		
47	0.7%	0.4%	0.2%	0.7%	0.2%	0.9%	0.4%	0.6%	0.7%	0.2%			0.3%	0.8%		
48	0.7%	0.4%	0.7%	0.6%	0.4%	0.8%	0.4%	0.6%	0.7%	0.0%			0.6%	0.9%		
49	0.9%	0.4%	0.9%	0.6%	0.2%	1.0%	0.4%	0.6%	0.0%	0.1%			0.7%	0.9%		
50	0.8%	0.3%	0.4%	0.5%	0.5%	1.0%	0.4%	0.6%	0.0%	0.1%			0.7%	0.9%		
51	0.8%	0.3%	0.1%	0.5%	0.7%	1.0%	0.4%	0.6%	0.0%	0.2%			0.5%	0.8%		
52	0.2%	0.4%	0.0%	0.5%	0.3%	0.9%	0.4%	0.7%	0.1%	0.2%			0.4%	0.8%		
53	0.8%	0.4%	0.0%	0.5%	0.1%	0.8%	0.4%	0.7%	0.1%	0.1%			0.4%	0.6%		
54	0.6%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.7%	0.4%	0.6%	0.6%	0.1%			0.8%	0.4%		
55	0.9%	0.4%	0.6%	0.3%	0.9%	0.6%	0.7%	0.6%	0.5%	0.1%			0.8%	0.1%		
56	0.5%	0.4%	0.0%	0.6%	0.5%	0.6%	0.7%	0.6%	0.6%	0.1%			0.9%	0.2%		
57	0.3%	0.4%	0.2%	0.5%	0.2%	0.3%	0.7%	0.6%	0.6%	0.1%			0.8%	0.0%		
58	0.6%	0.4%	0.6%	0.6%	0.0%	0.7%	0.7%	0.6%	0.5%	0.1%			0.3%	0.1%		
59	0.1%	0.4%	0.0%	0.2%	0.9%	0.9%	1.0%	0.6%	0.5%	0.2%			1.0%	0.3%		
60	0.5%	0.3%	0.2%	0.2%	0.6%	0.7%	1.0%	0.6%	0.5%	0.1%			0.4%	0.4%		
61	0.2%	0.3%	0.2%	0.1%	0.6%	0.6%	0.9%	0.6%	0.5%	0.1%			0.5%	0.1%		
62	0.6%	0.3%	0.3%	0.1%	0.4%	0.8%	0.9%	0.6%	0.5%	0.1%			0.6%	0.1%		
63	0.6%	0.3%	0.2%	0.2%	1.0%	0.3%	0.9%	0.6%	0.5%	0.1%			0.6%	0.2%		
64	0.6%	0.3%	0.1%	0.3%	0.6%	0.2%	0.9%	0.6%	0.4%	0.1%			0.5%	0.1%		
65	1.0%	0.3%	0.1%	0.4%	1.0%	0.3%	0.8%	0.6%	0.5%	0.1%			0.5%	0.1%		
66	0.4%	0.4%	0.5%	0.4%	0.3%	0.2%	0.8%	0.6%	0.5%	0.1%			0.5%	0.2%		
67	0.4%	0.4%	0.0%	0.6%	0.4%	0.4%	0.8%	0.6%	0.5%	0.2%			0.6%	0.3%		
68	0.8%	0.4%	0.1%	0.6%	0.3%	0.1%	0.7%	0.6%	0.6%	0.2%			0.5%	0.4%		
69	0.0%	0.4%	0.1%	0.8%	0.7%	0.2%	0.7%	0.6%	0.9%	0.2%			0.4%	0.4%		
70	0.5%	0.4%	0.4%	0.6%	0.6%	0.1%	0.6%	0.6%	0.6%	0.2%			0.9%	0.2%		
71	0.8%	0.4%	0.3%	0.9%	0.8%	0.1%	0.6%	0.6%	0.2%	0.3%			0.9%	0.3%		
72	0.6%	0.4%	0.6%	0.9%	0.5%	0.1%	0.6%	0.6%	0.4%	0.3%			0.9%	0.4%		
73	0.9%	0.4%	0.6%	0.7%	0.9%	0.9%	0.6%	0.6%	0.4%	0.6%			1.0%	0.4%		
74	0.1%	0.4%	0.3%	0.8%	0.4%	0.9%	0.5%	0.6%	0.5%	0.6%			0.8%	0.5%		
75	0.1%	0.4%	0.4%	0.7%	0.5%	0.9%	0.5%	0.6%	0.6%	0.9%			0.9%	0.1%		
76	0.4%	0.4%	0.6%	0.8%	0.9%	0.8%	0.5%	0.6%	0.6%	0.0%			0.4%	0.1%		

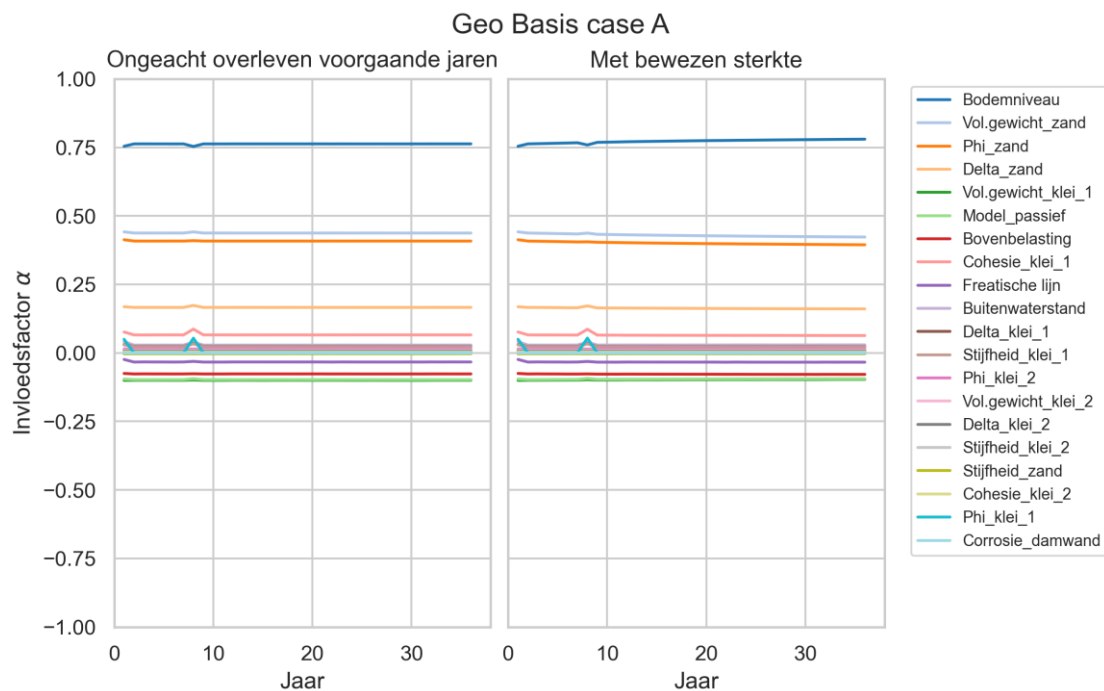
# D Resultaten probabilistische analyses met en zonder bewezen sterkte

## D.1 Resultaten probabilistische analyses met en zonder bewezen sterkte

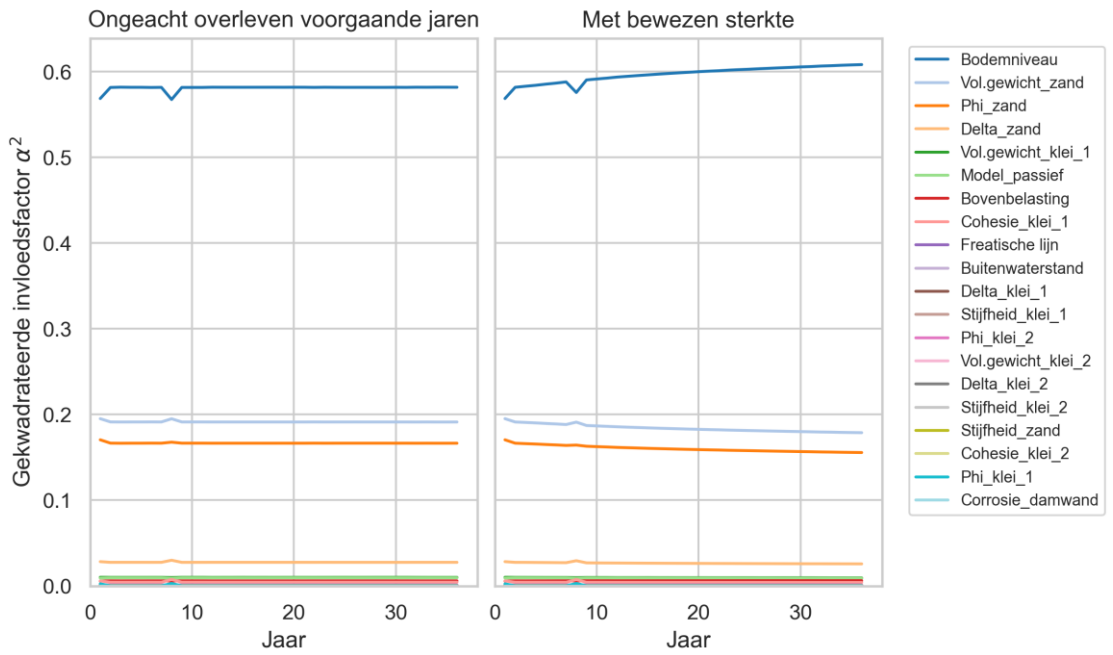
### D.1.1 Case A – Onverankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie GEO

#### D.1.1.1. GTF-GEO Basis case A:

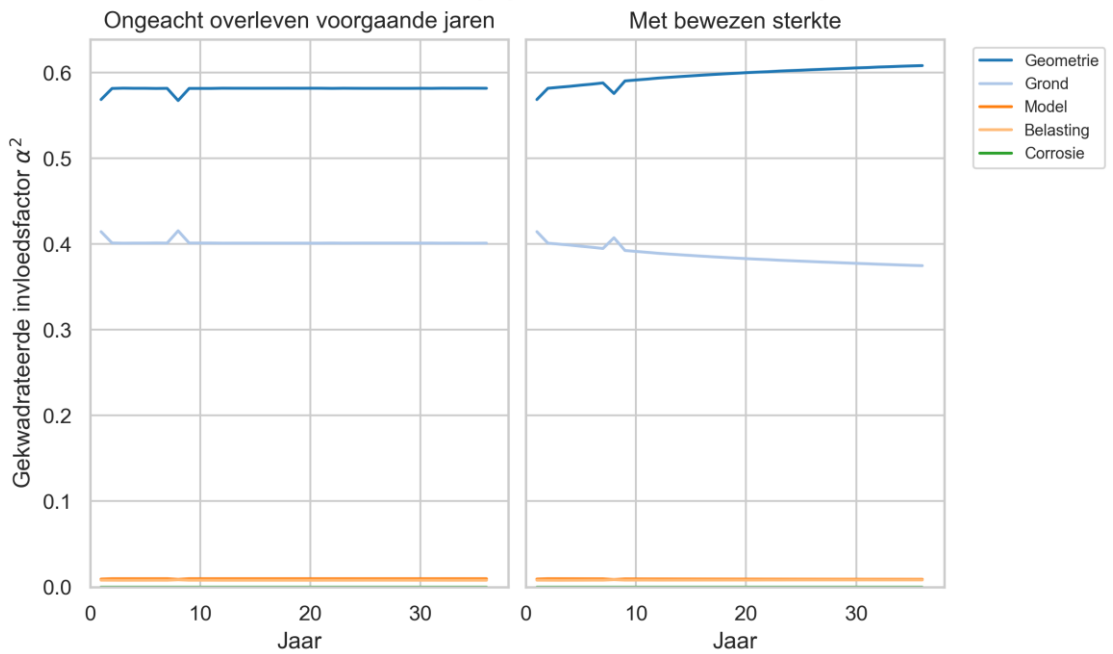
In de navolgende figuren staat “Delta” voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



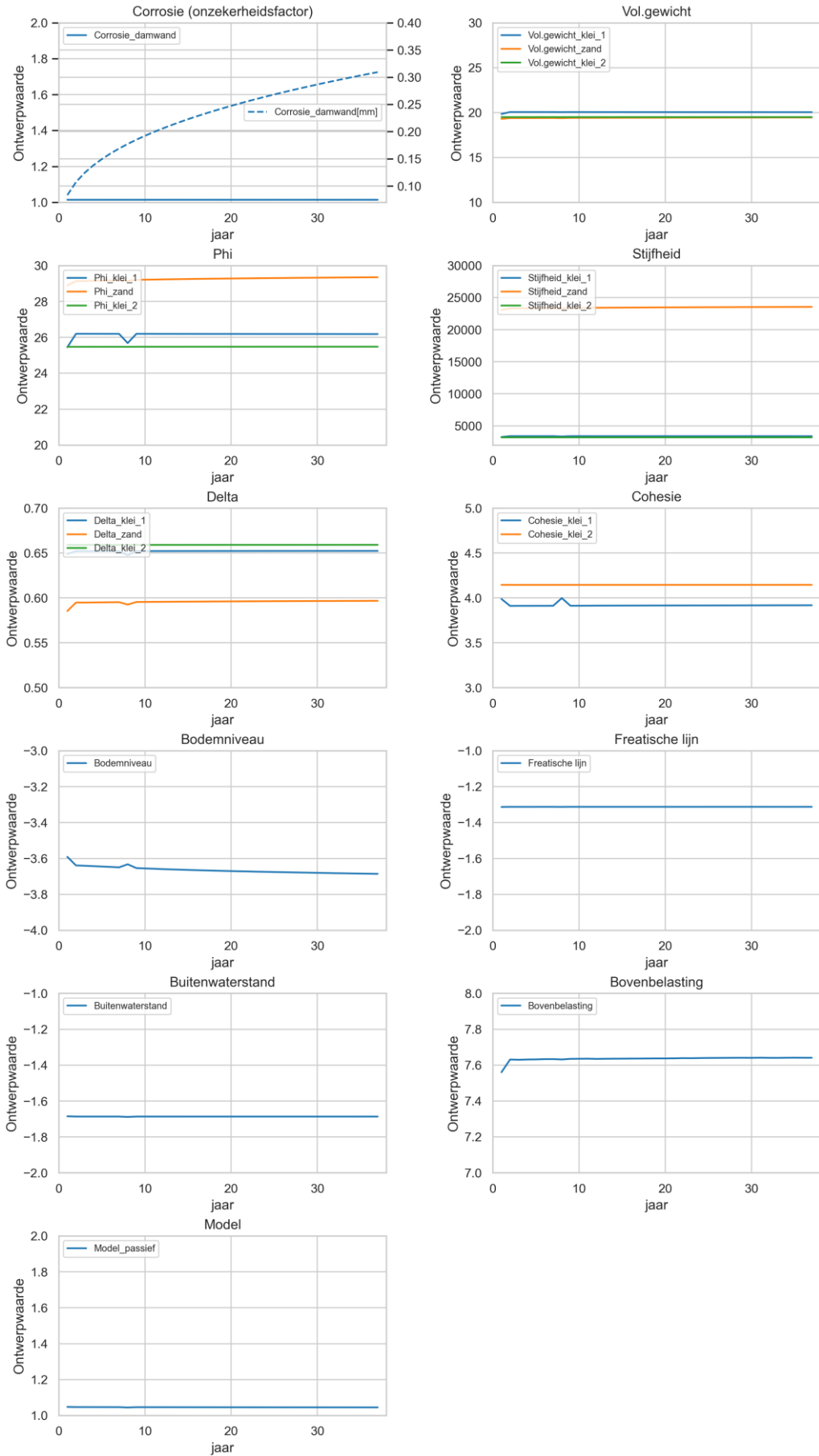
### Geo Basis case A - gegroepeerd naar Variable



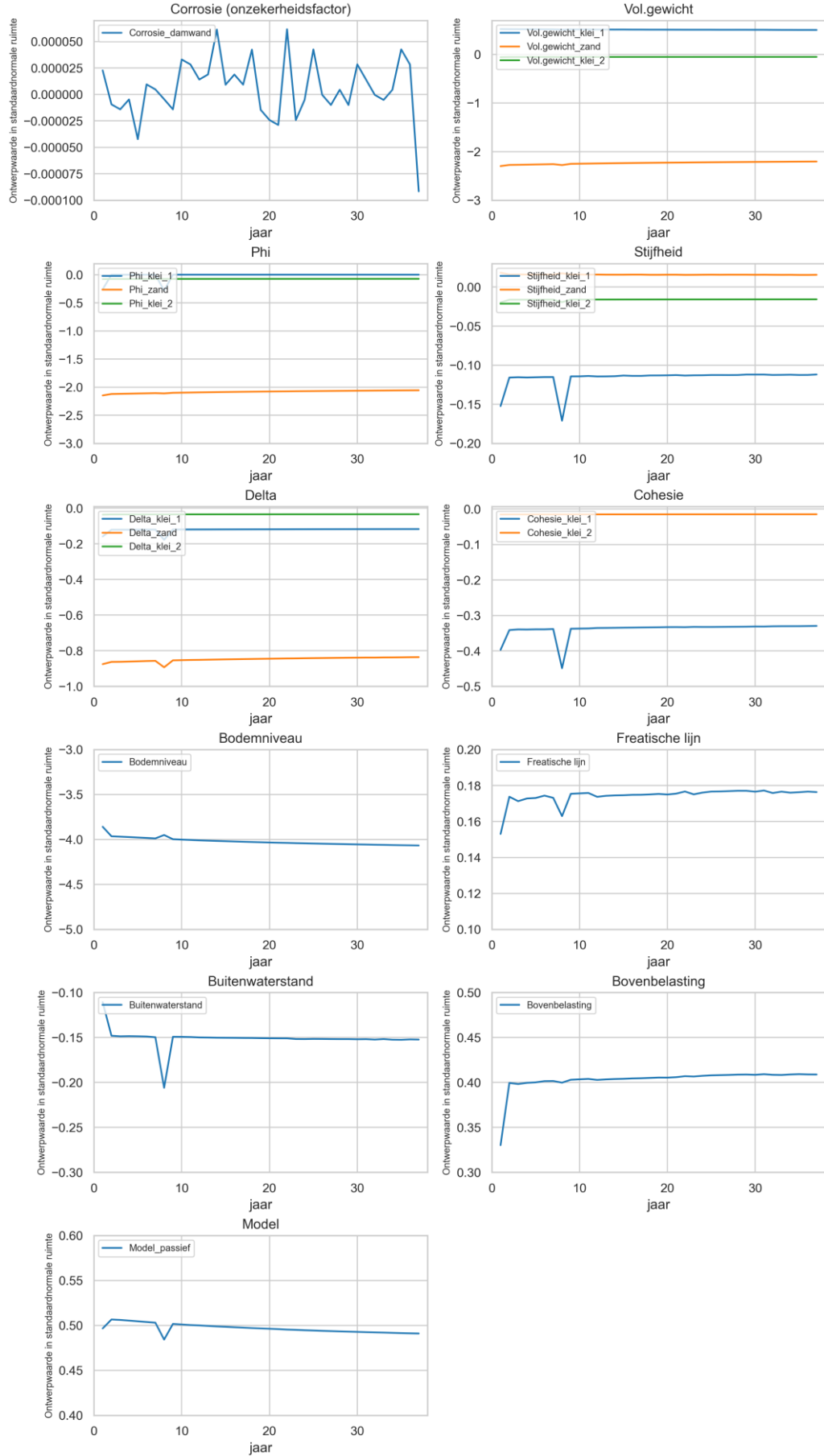
### Geo Basis case A - gegroepeerd naar Variable\_group



Geo Basis case A

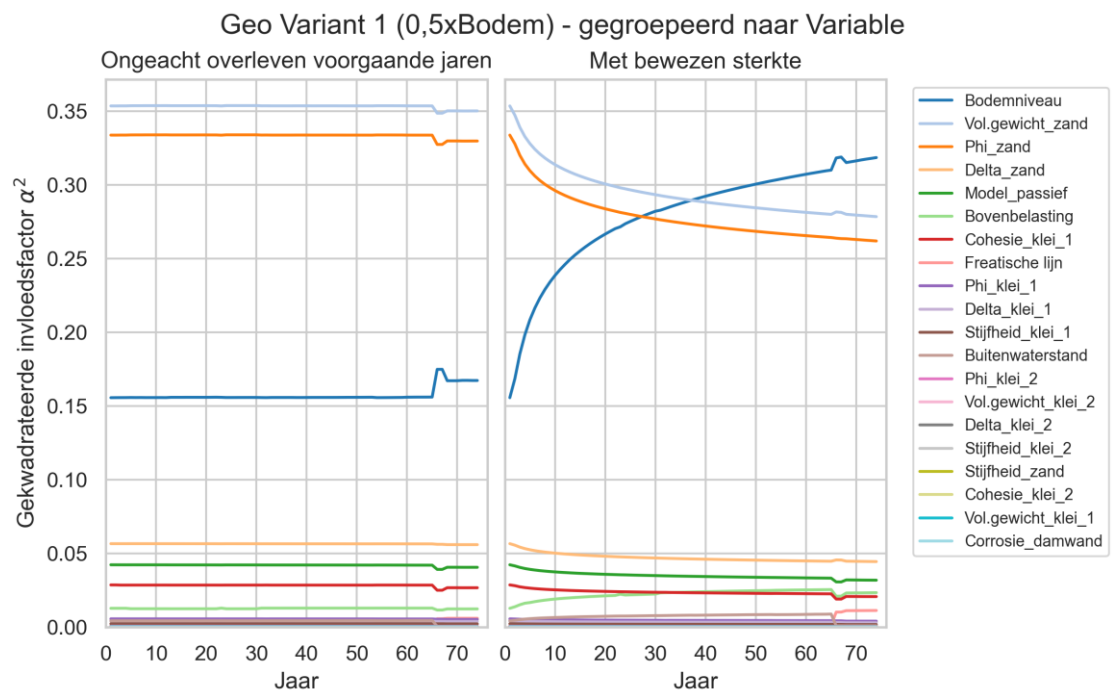
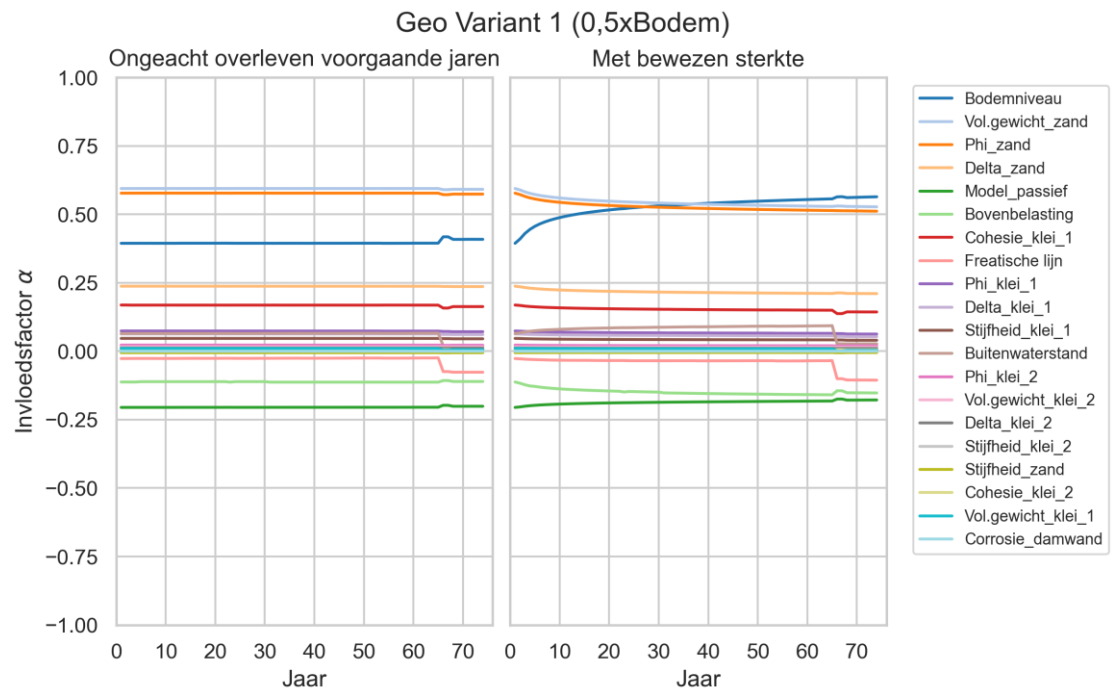


Geo Basis case A

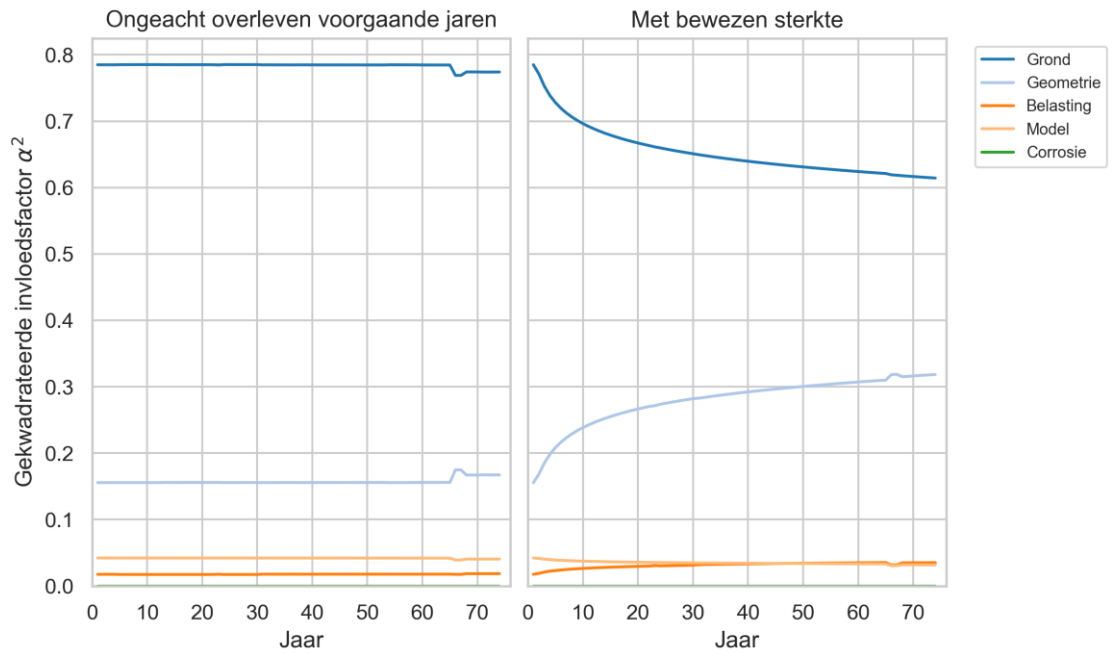


D.1.1.2. GTF-GEO Variant 1 Case A:

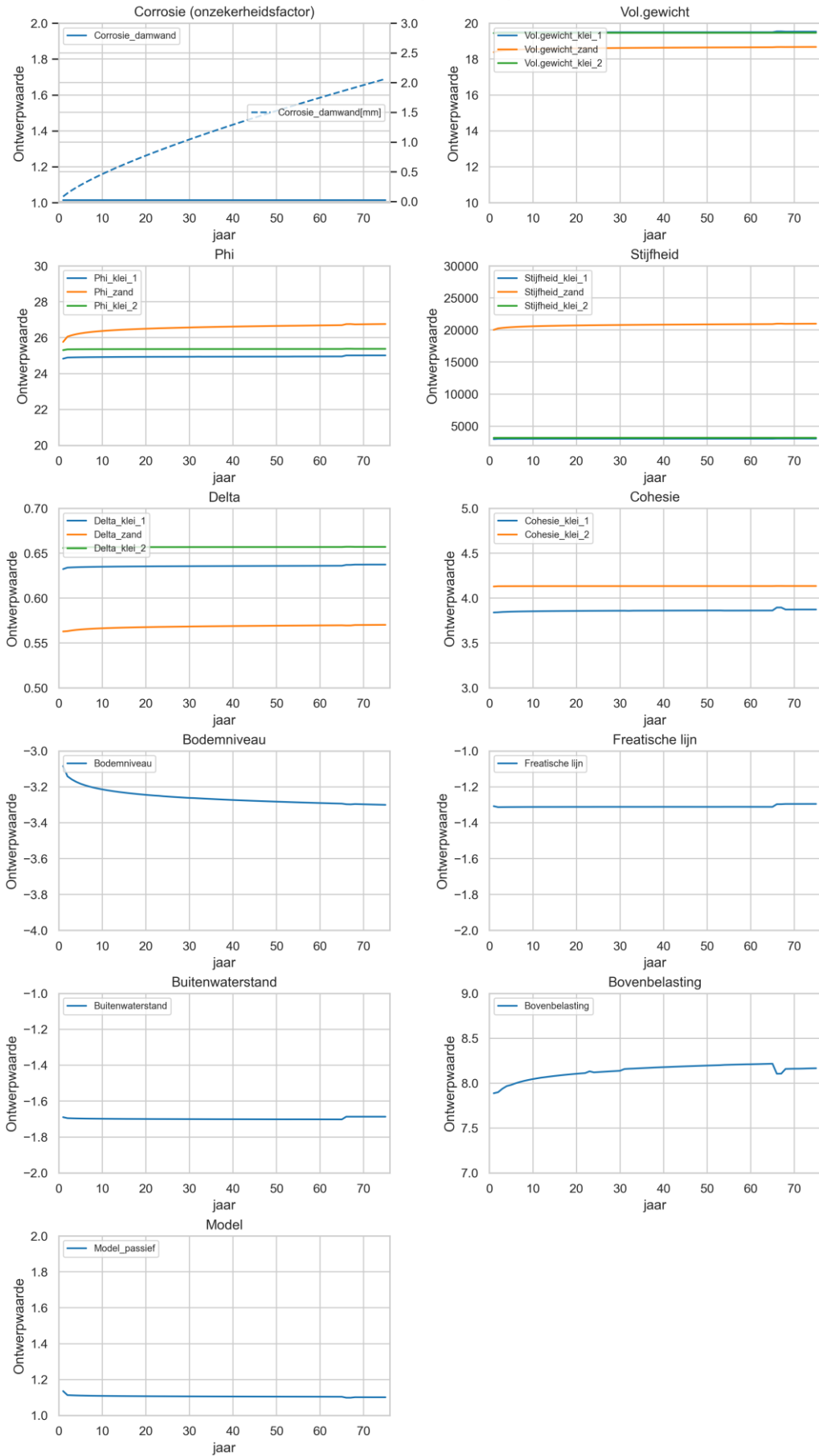
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



### Geo Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

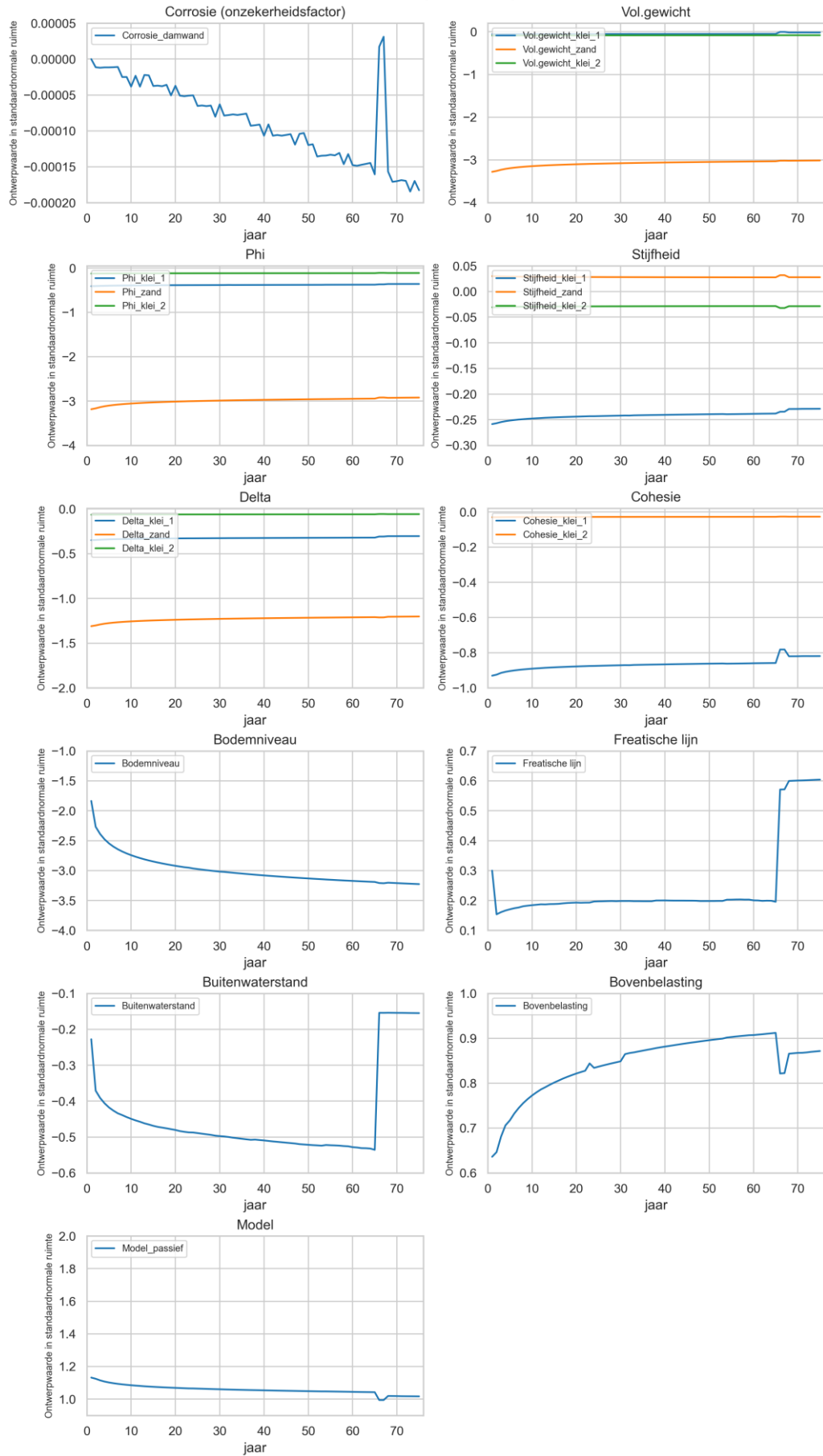


Geo Variant 1 (0,5xBodem)





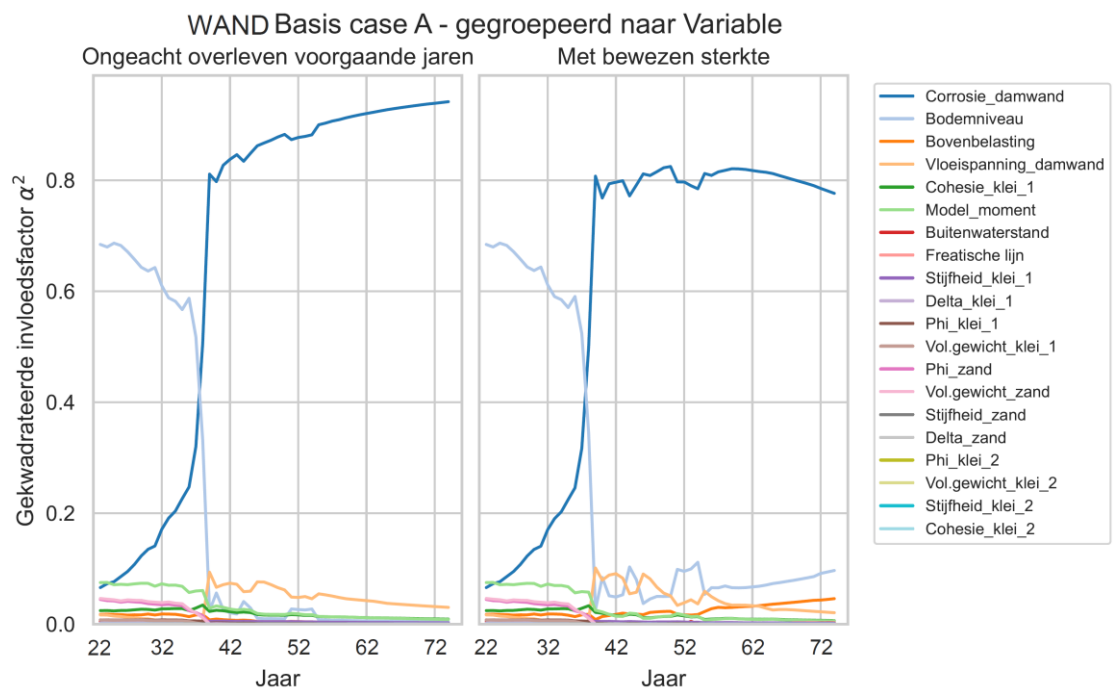
Geo Variant 1 (0,5xBodem)

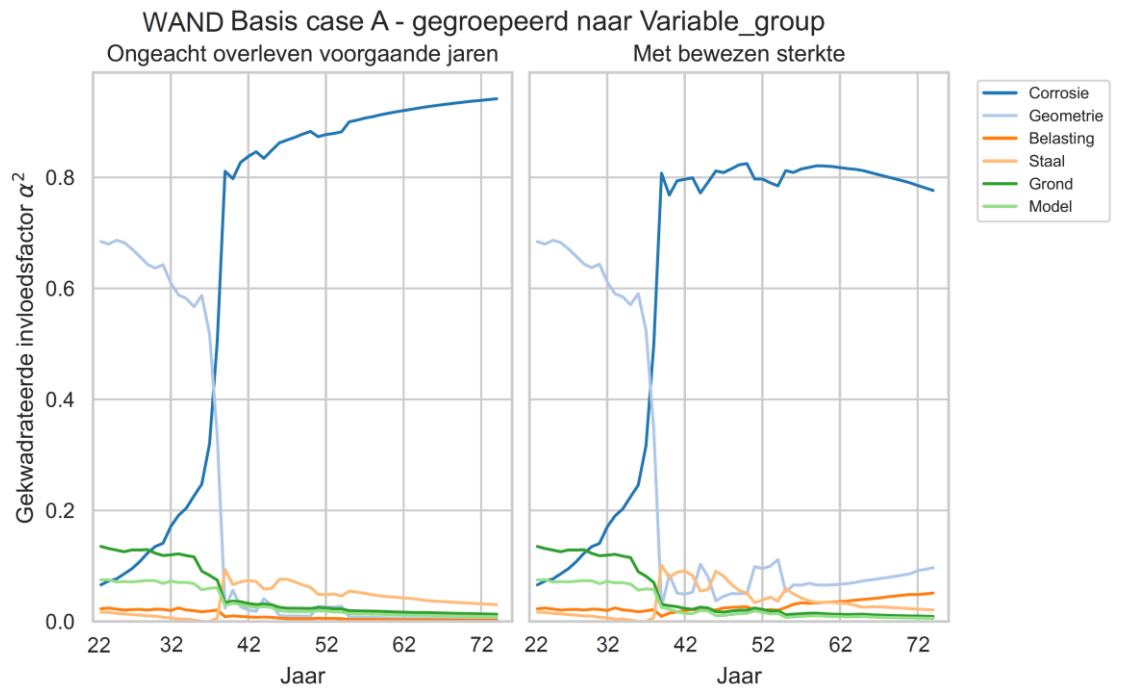


**D.1.2 Case A Onverankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie WAND**

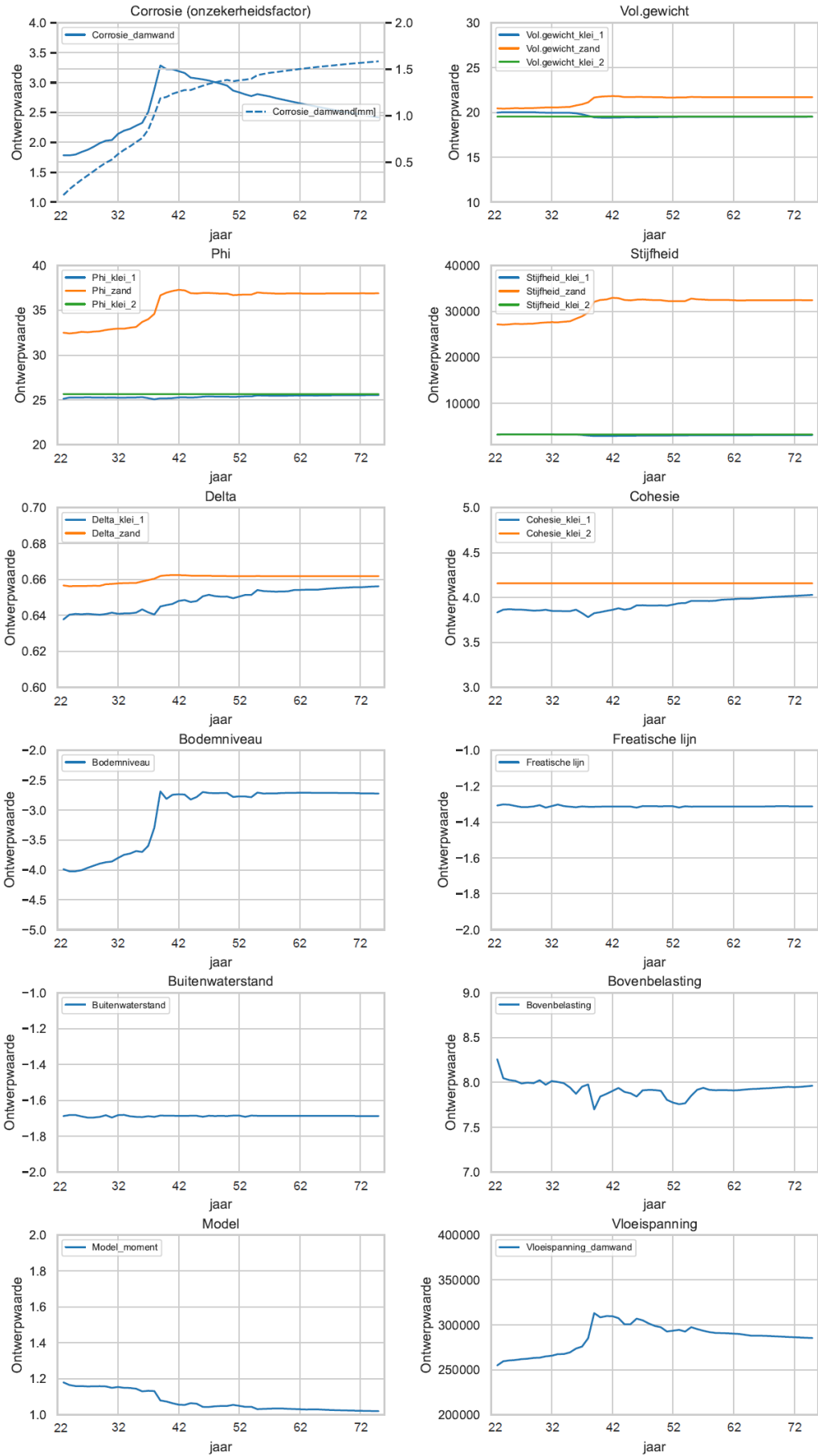
D.1.2.1. GTF-WAND Basis case A:

In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .

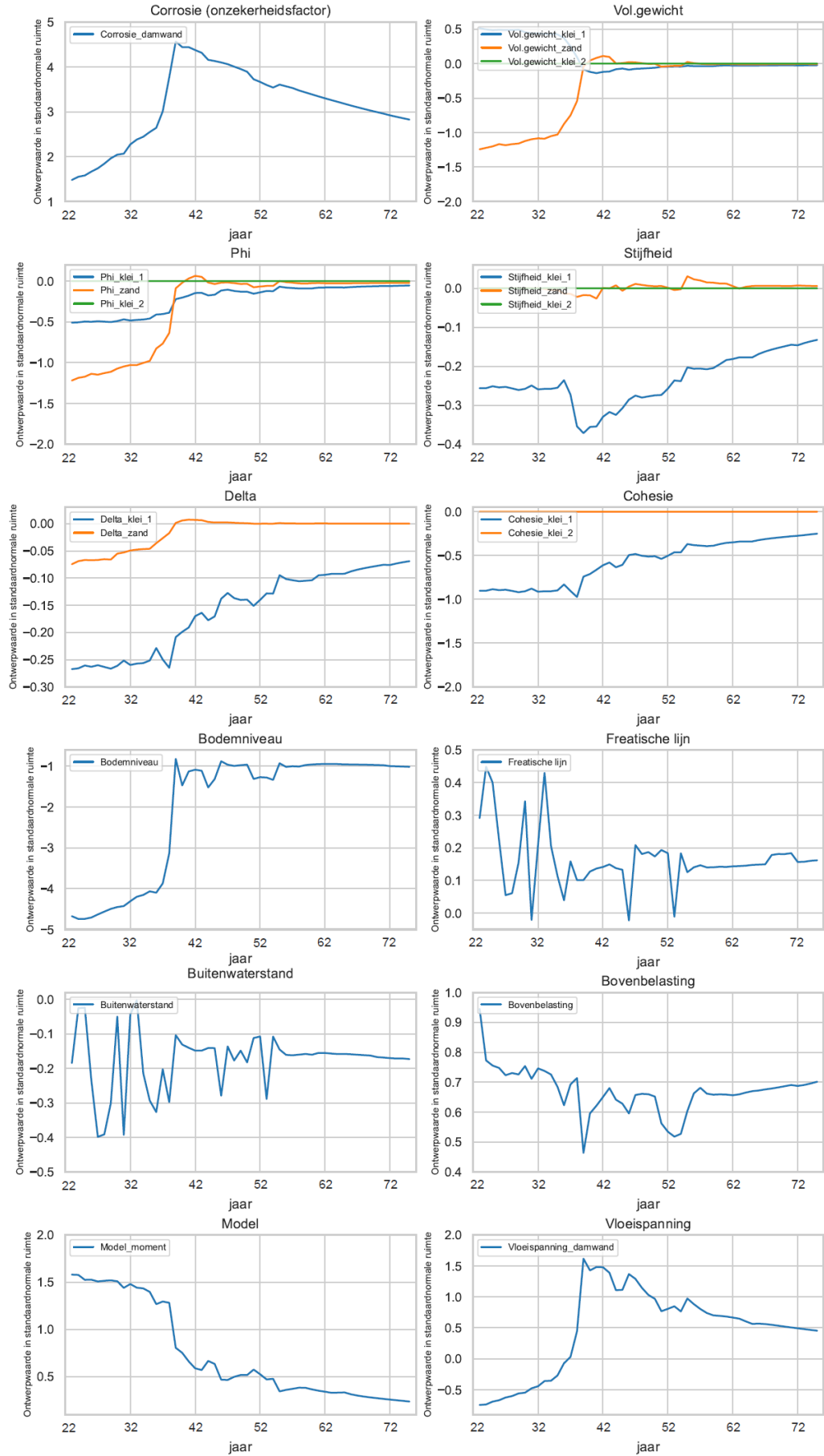




WAND Basis case A

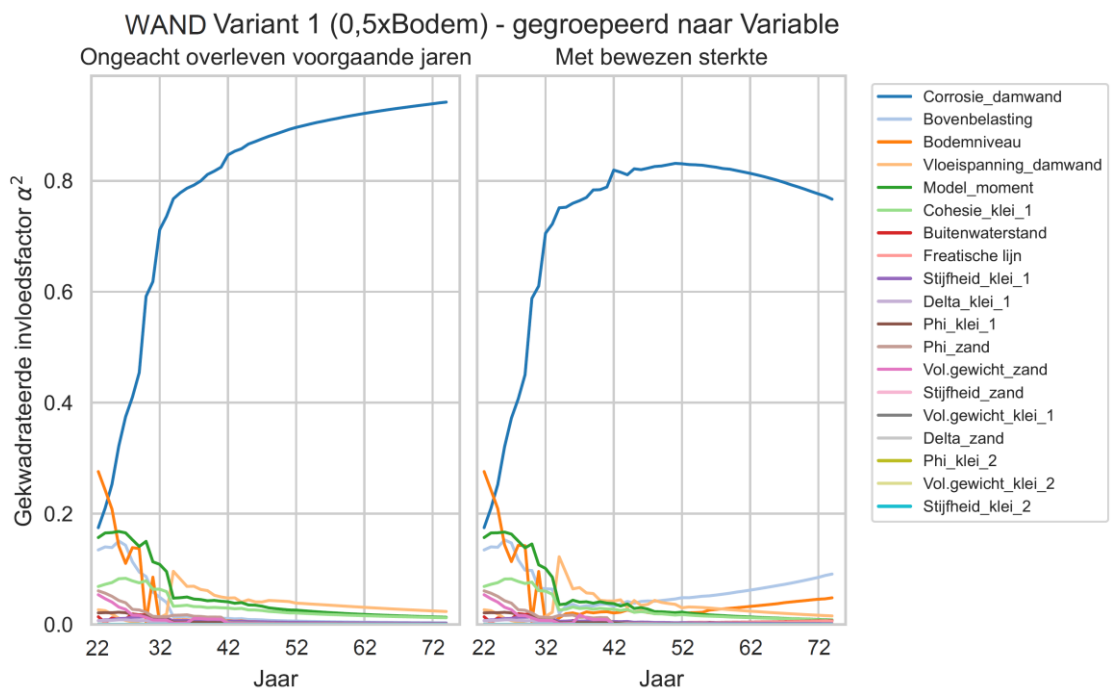
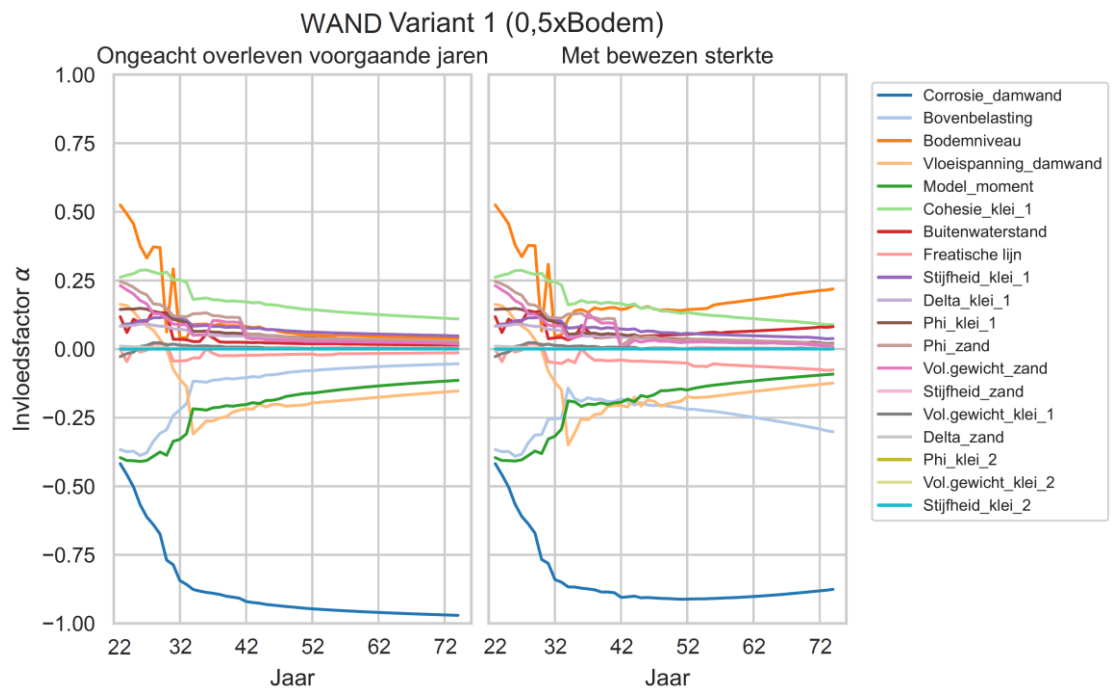


WAND Basis case A

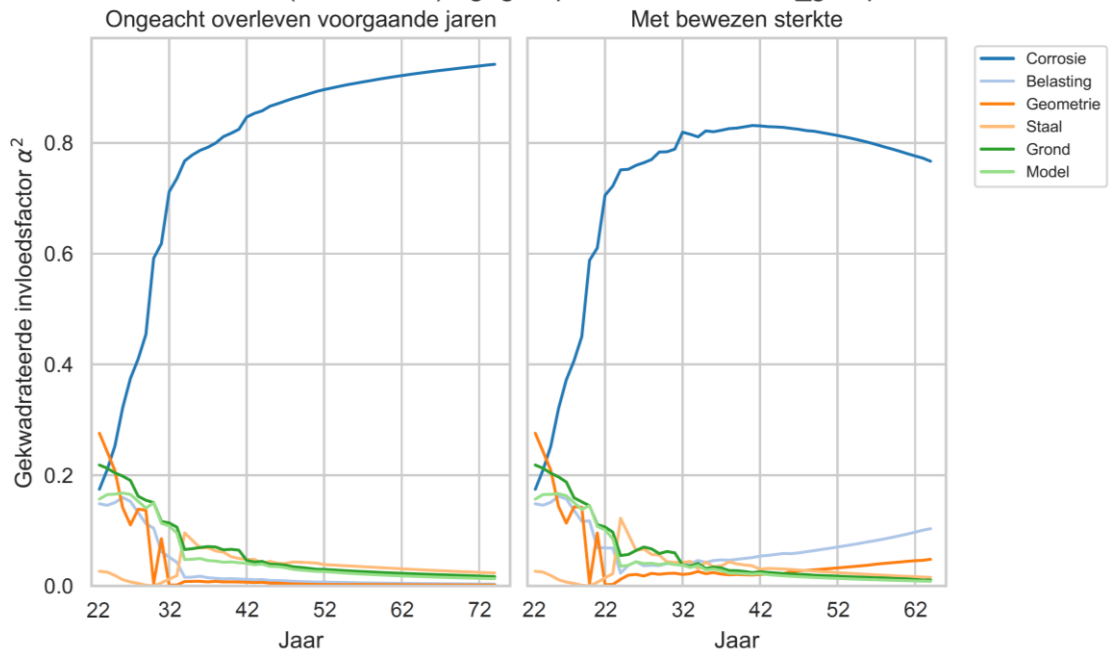


D.1.2.2. GTF-WAND Variant 1 case A:

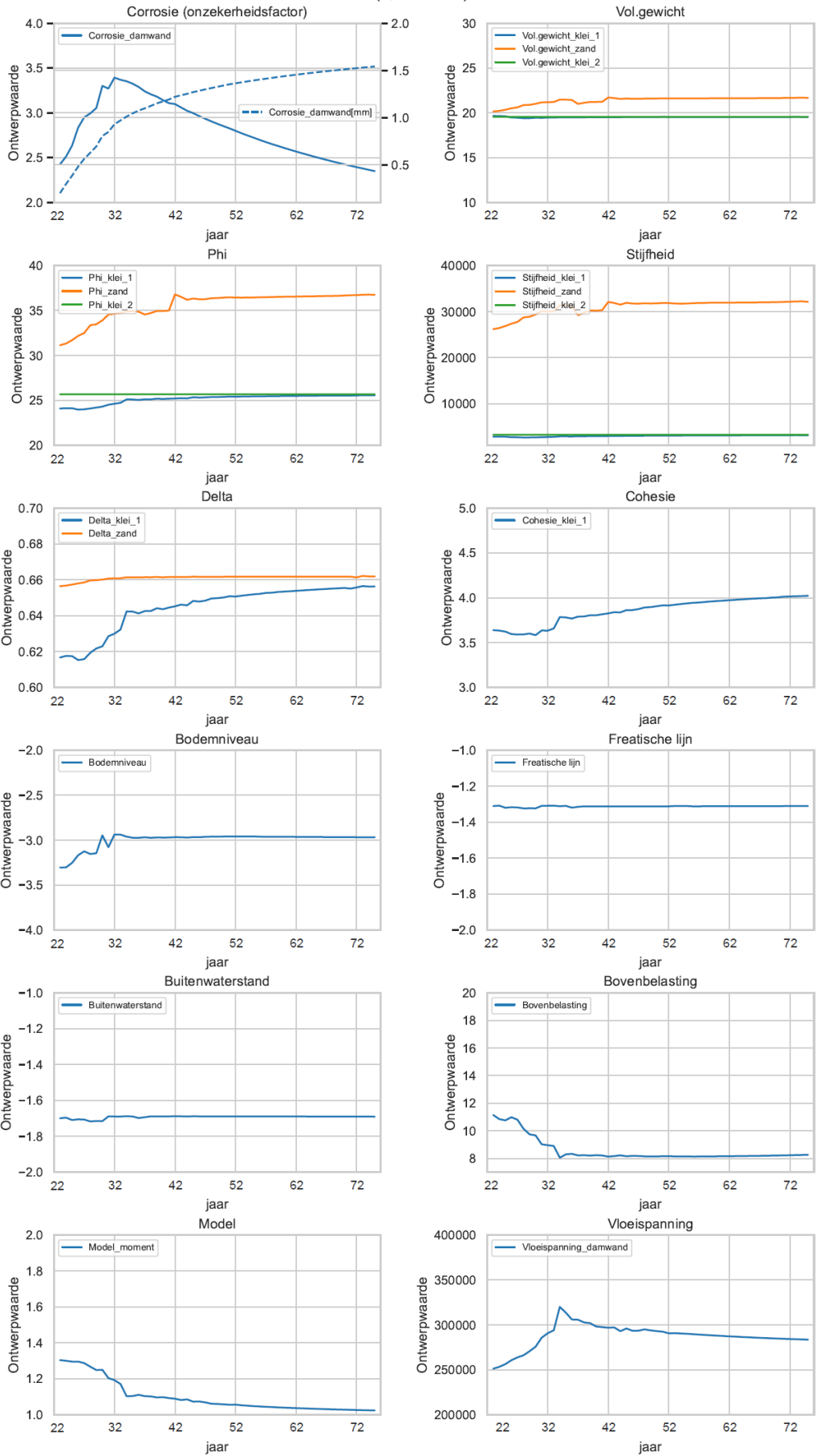
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



### WAND Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

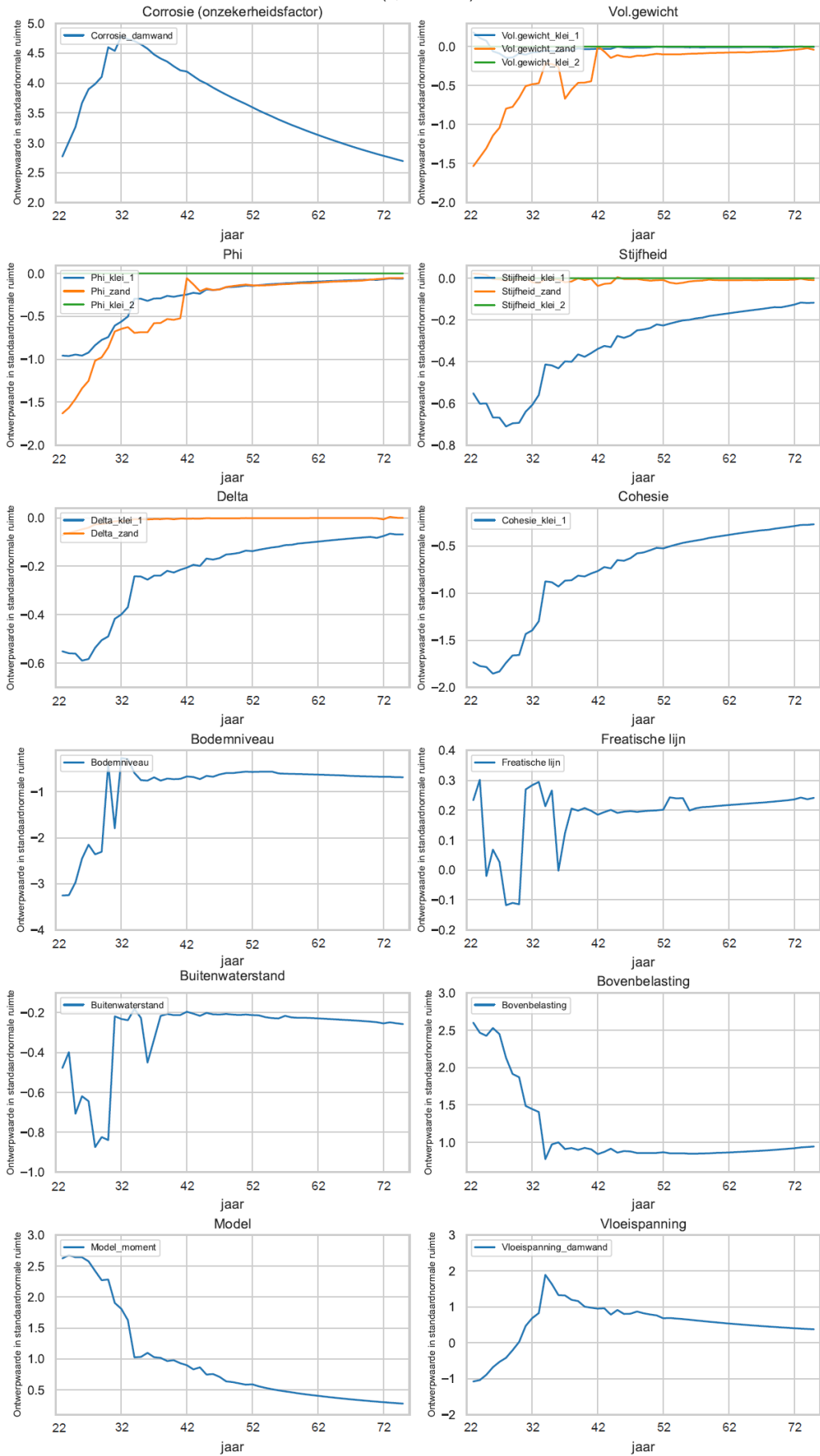


WAND Variant 1 (0,5xBodem)



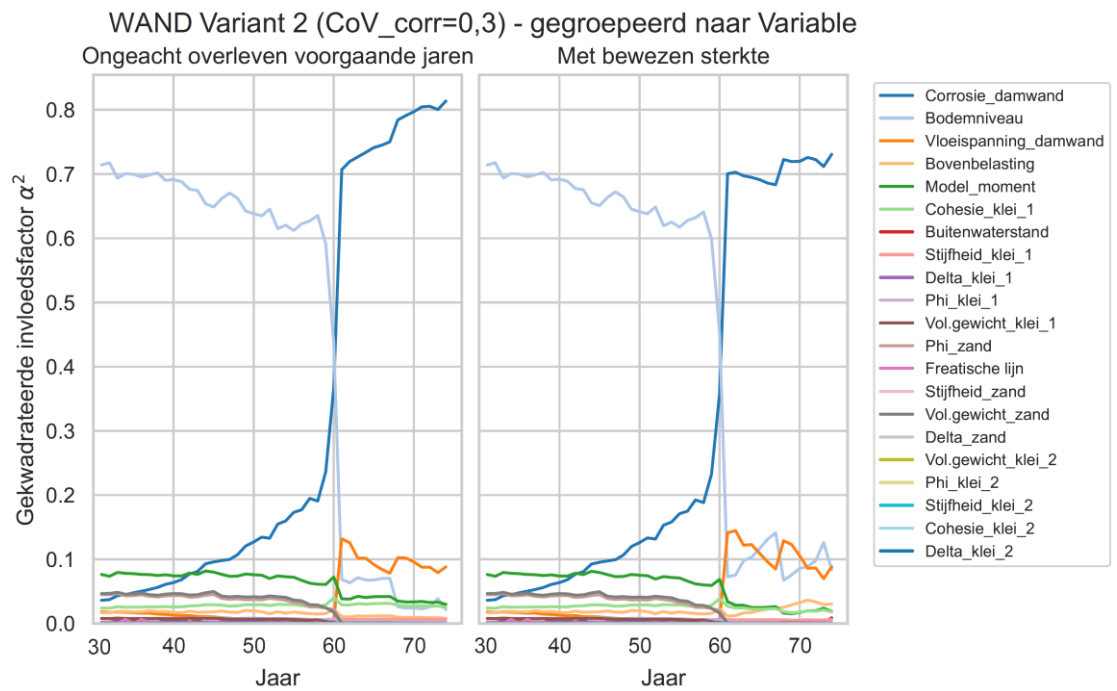
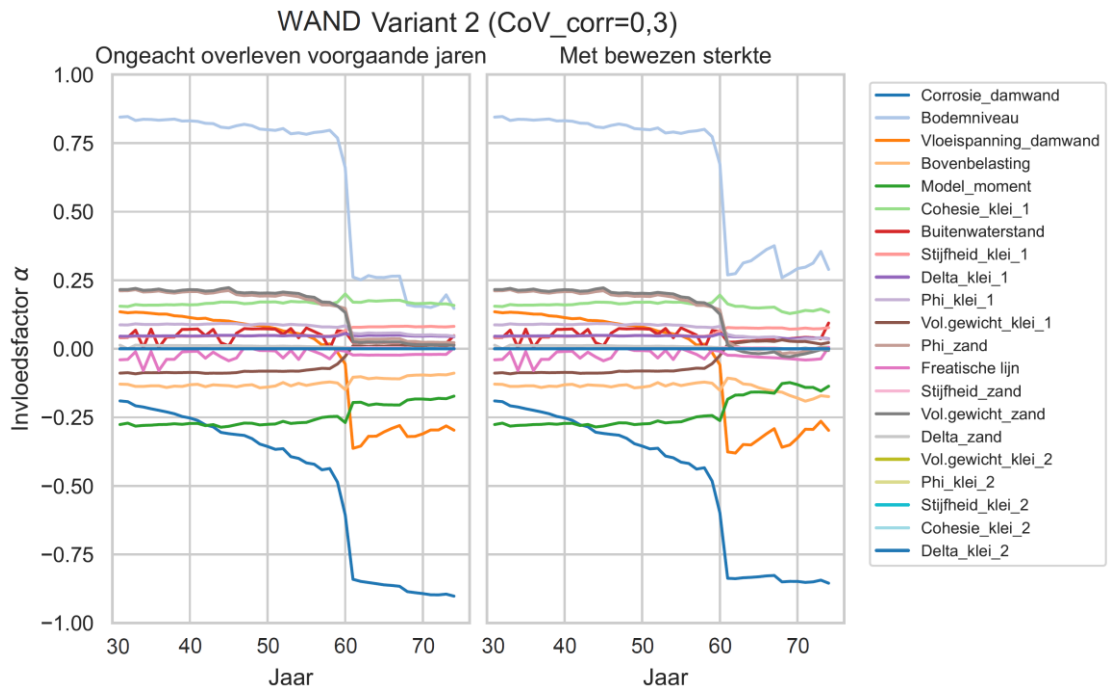


WAND Variant 1 (0,5xBodem)

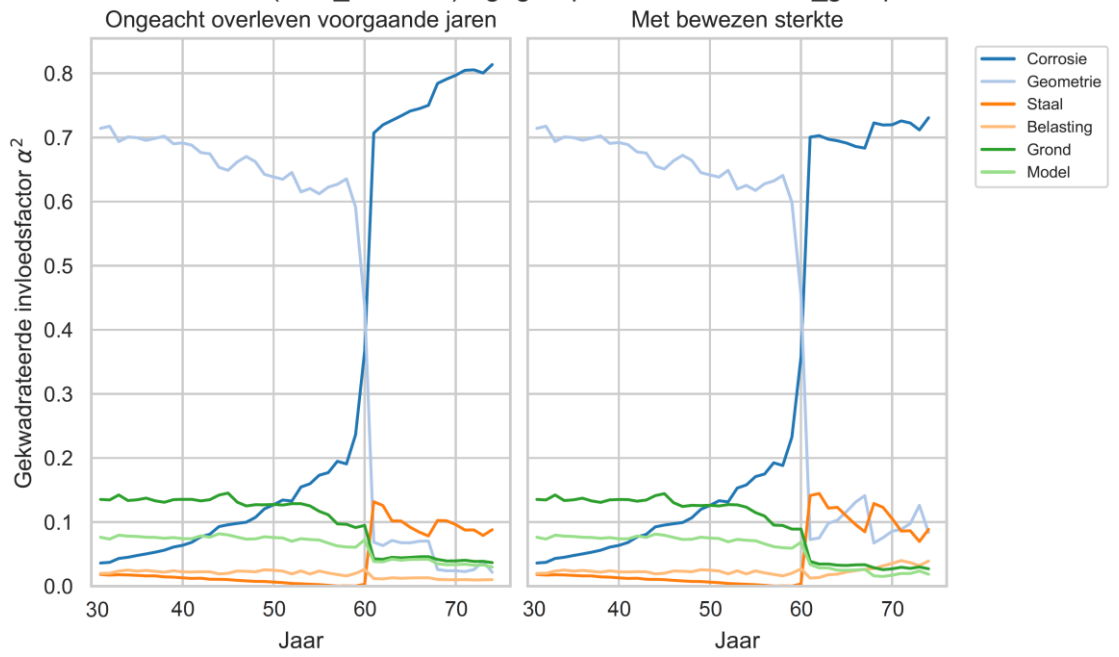


D.1.2.3. GTF-WAND Variant 2 case A:

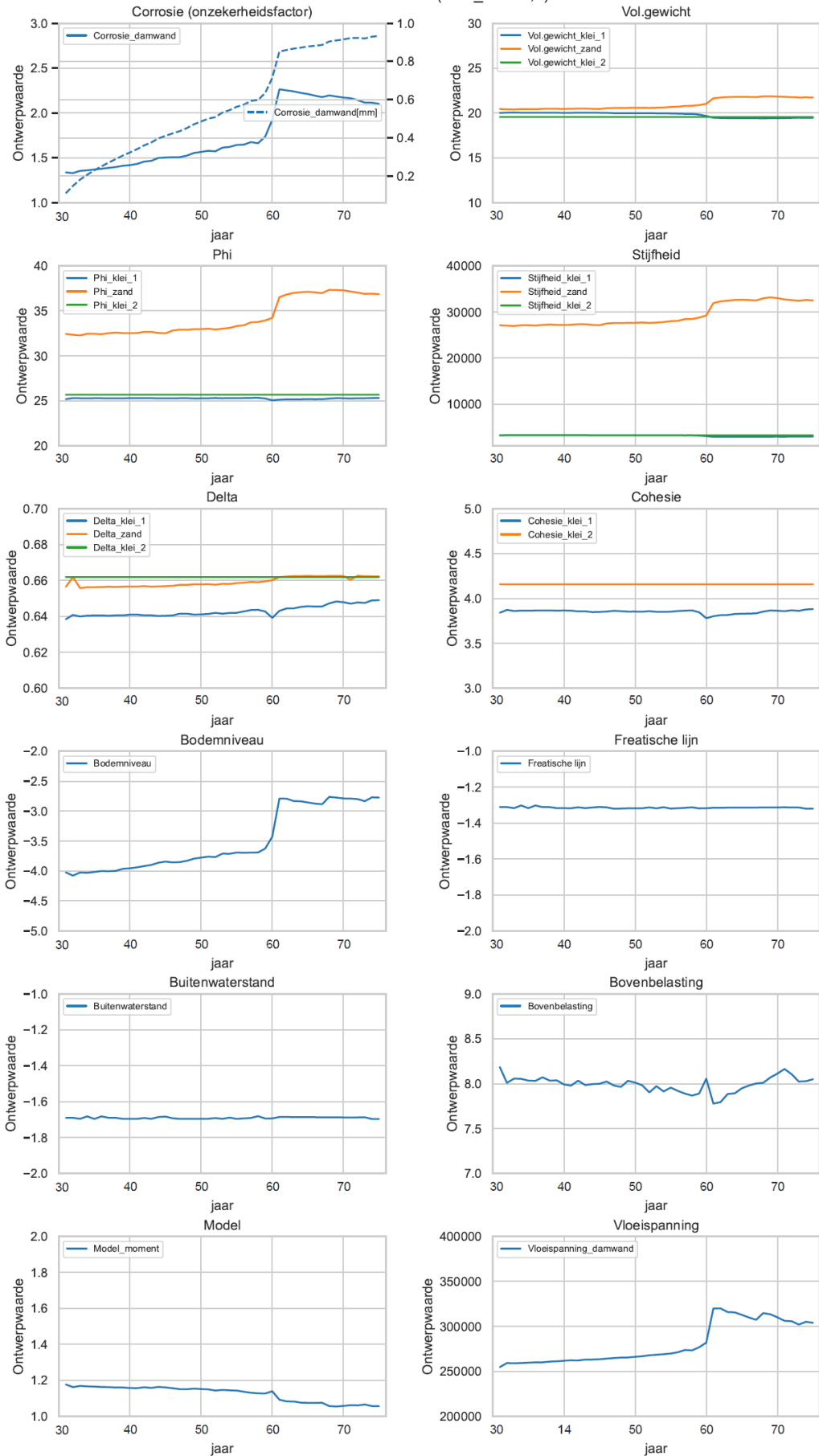
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



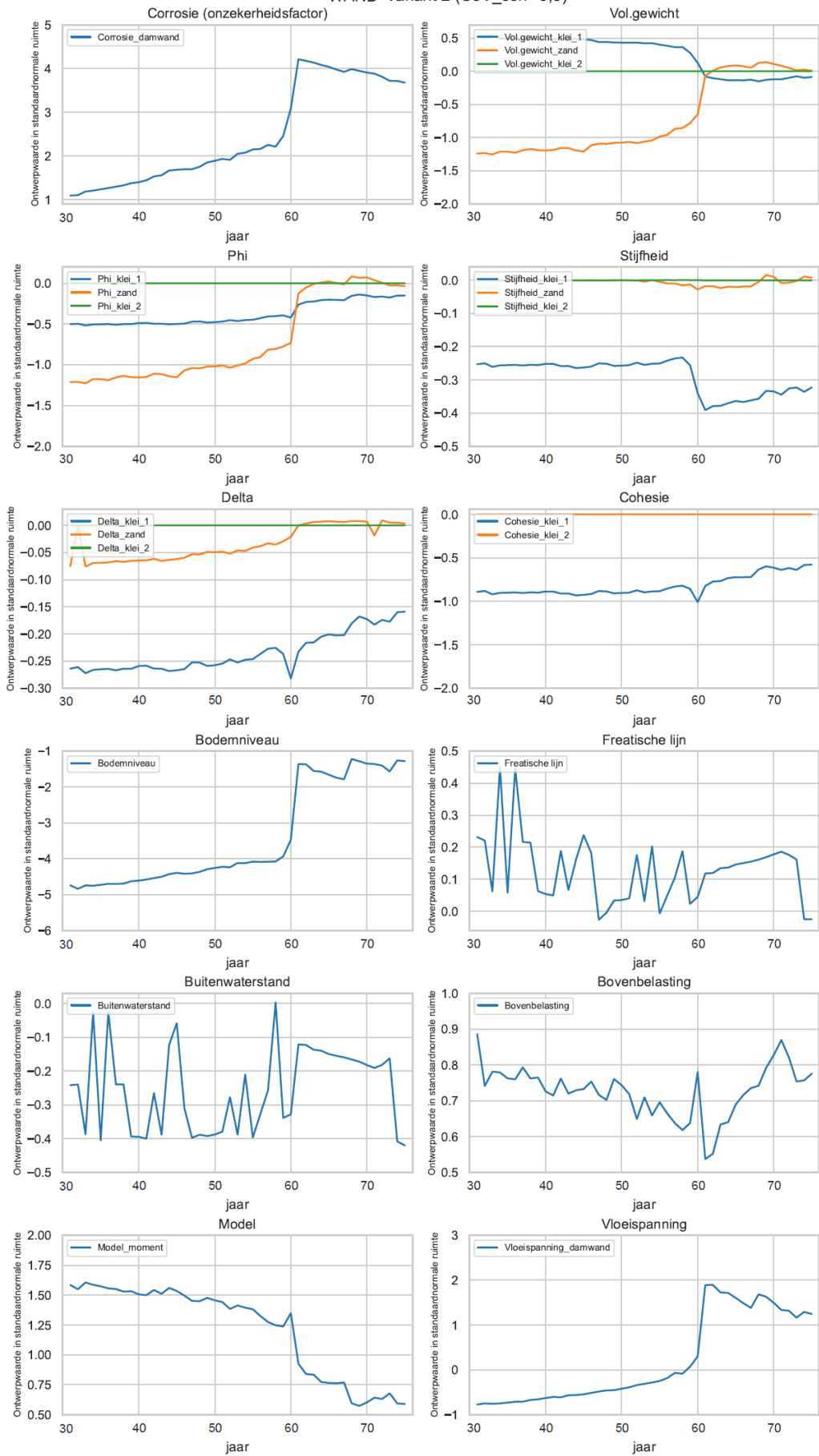
WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3) - gegroepeerd naar Variable\_group



WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3)

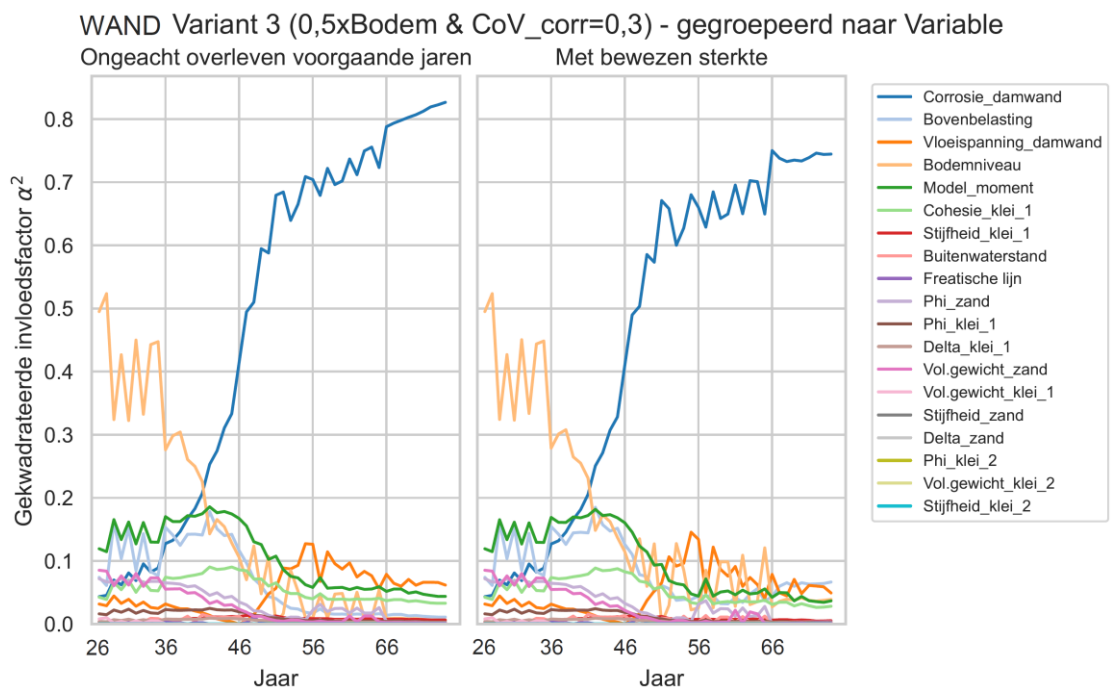
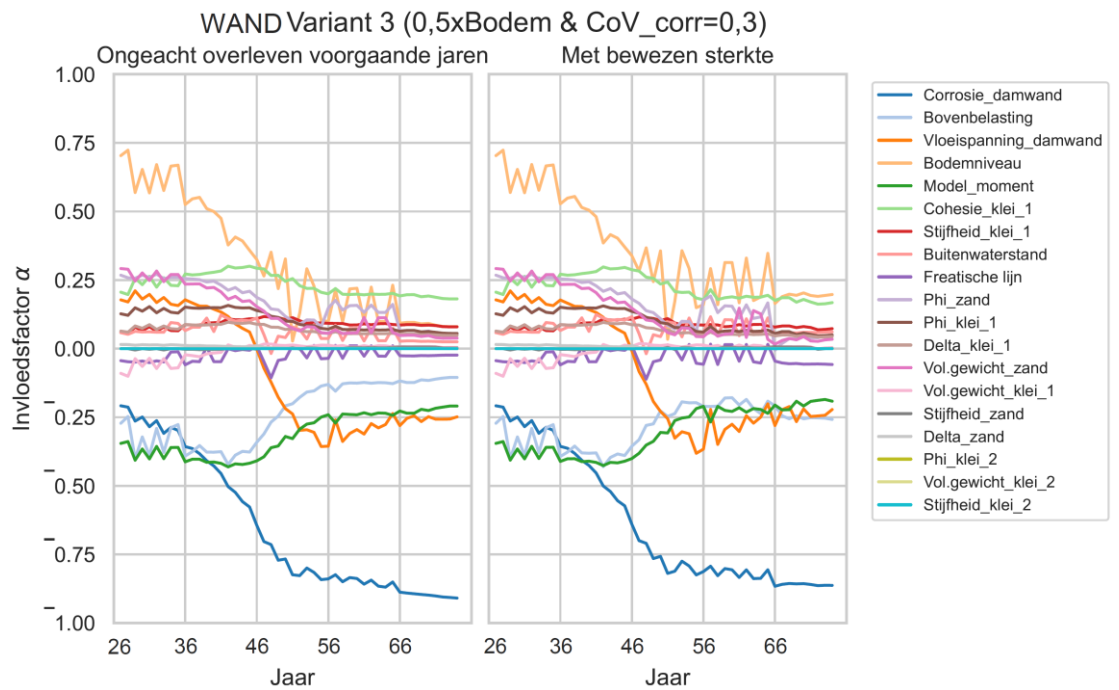


WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3)

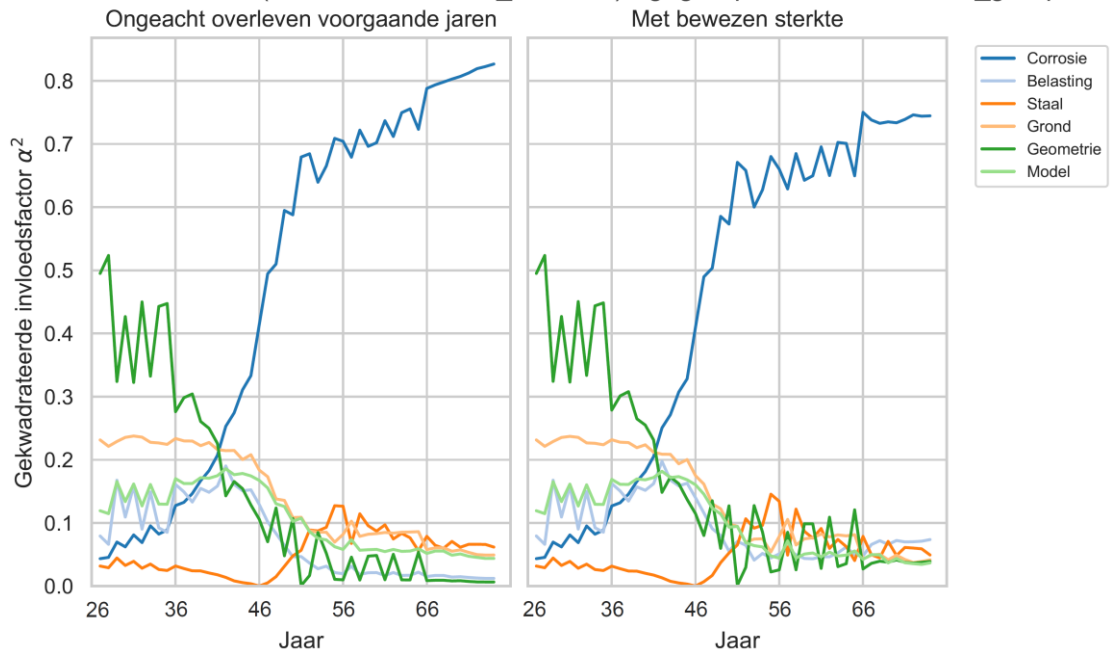


D.1.2.4. GTF-WAND Variant 3 case A:

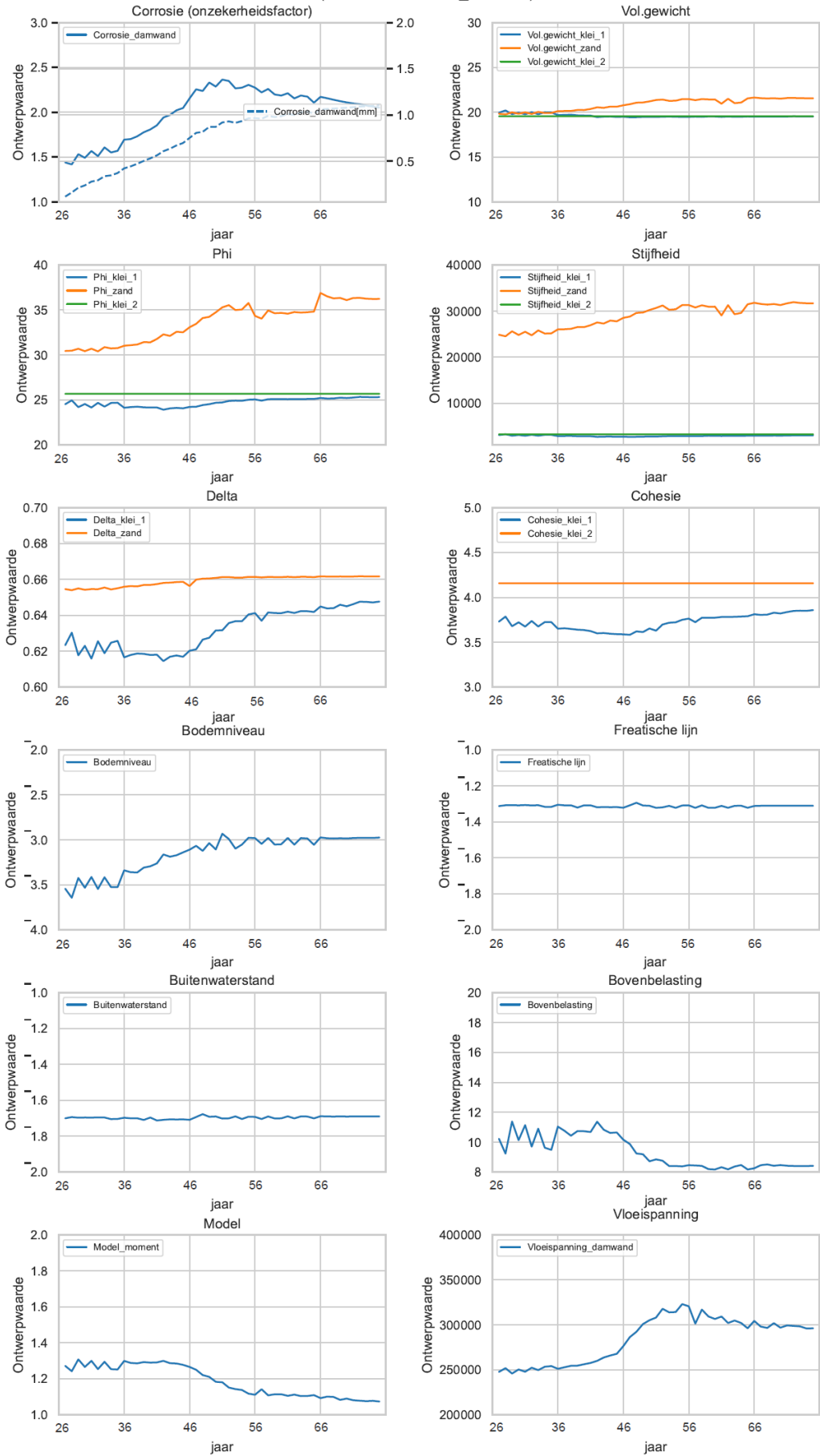
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



### WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3) - gegroepeerd naar Variable\_group

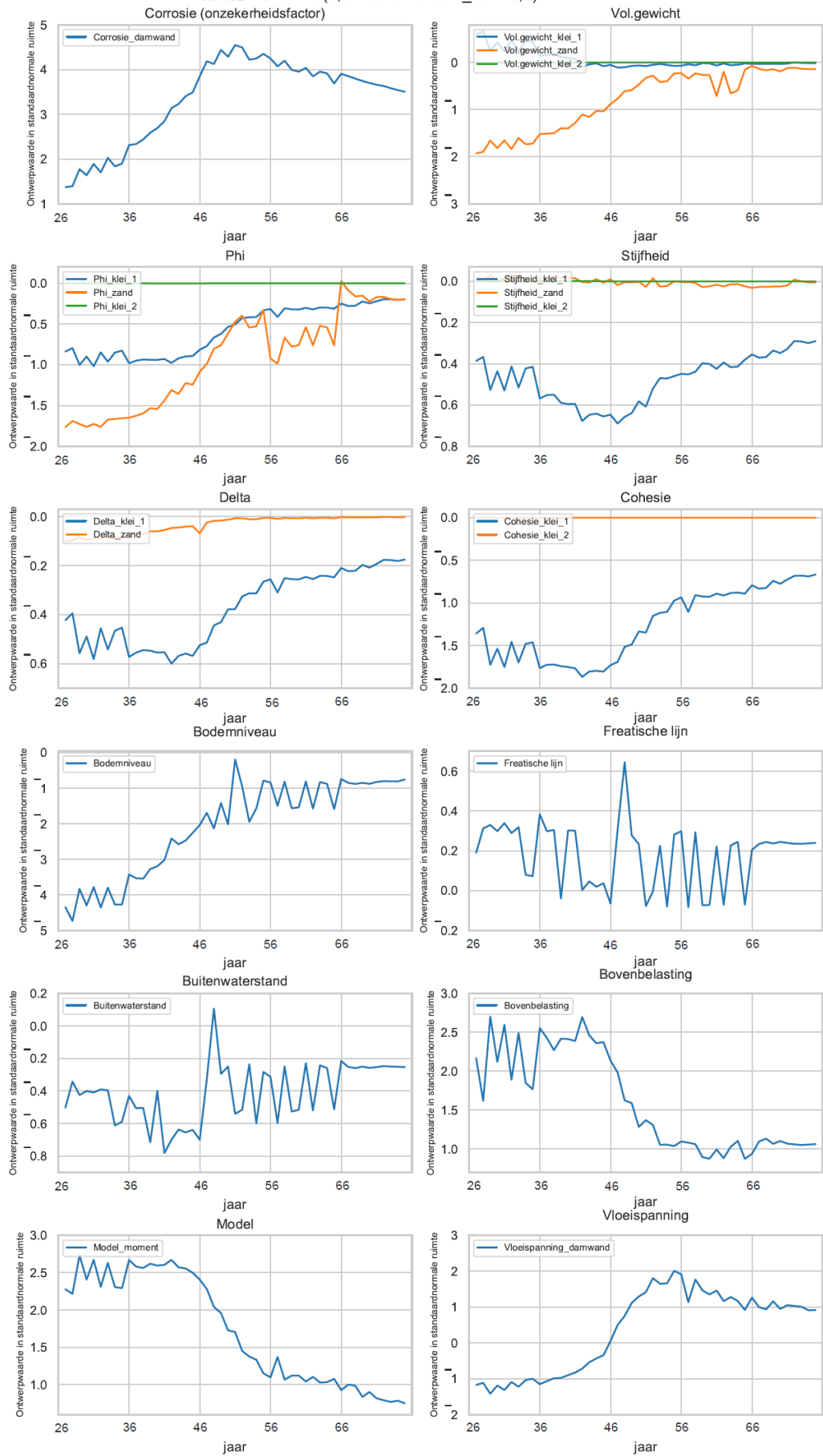


WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3)





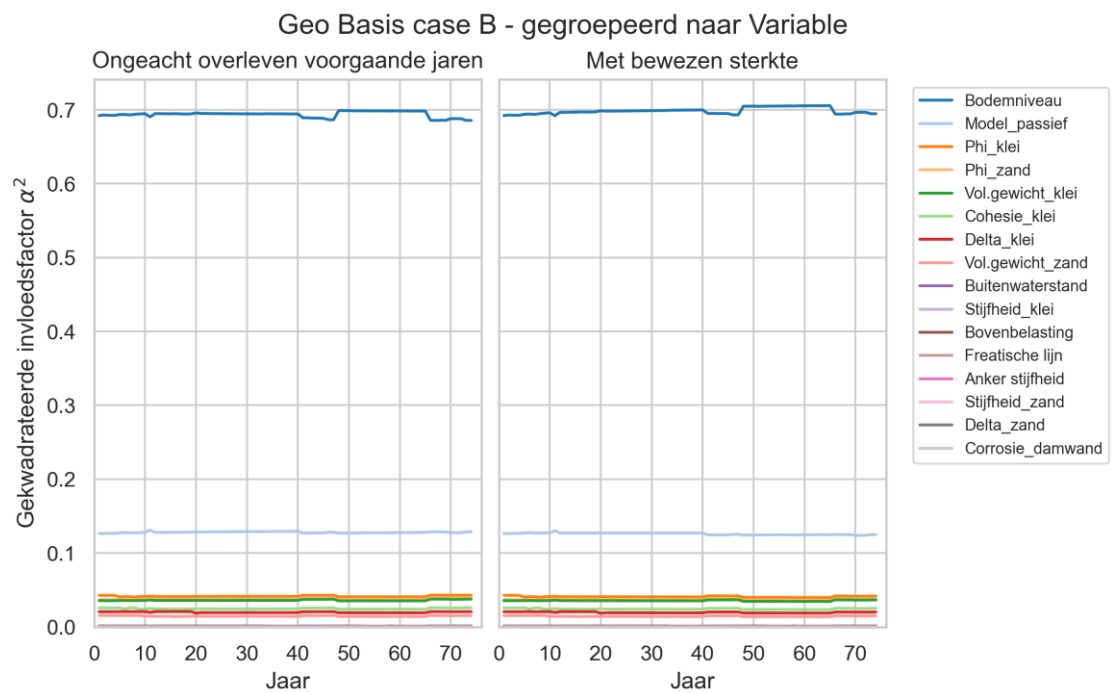
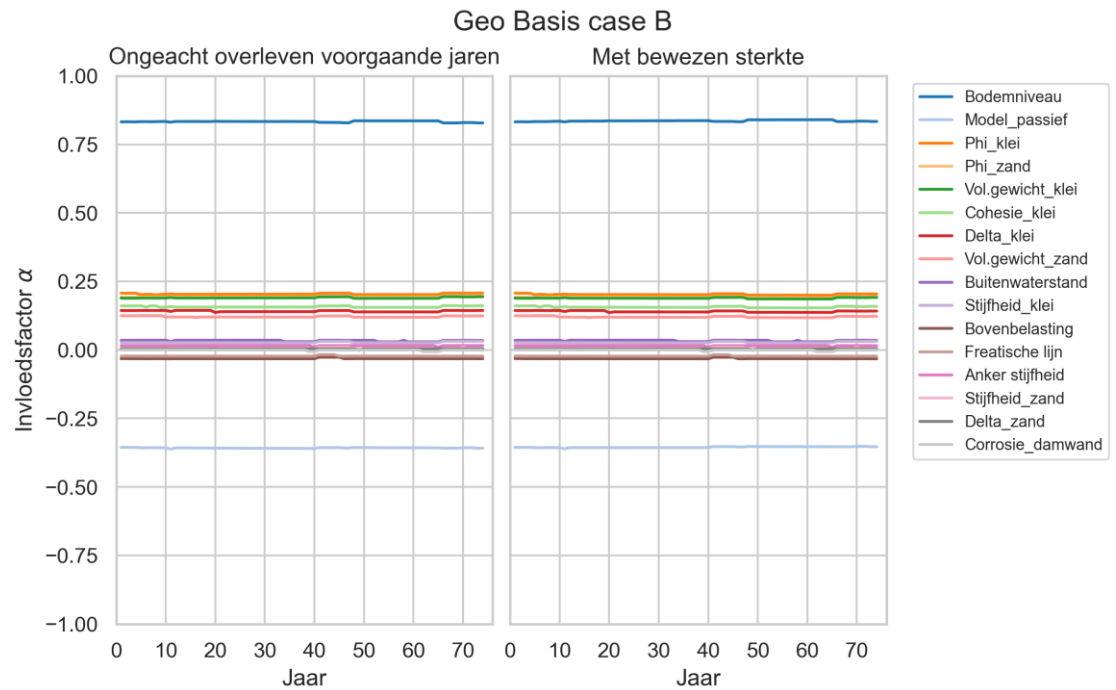
WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3)



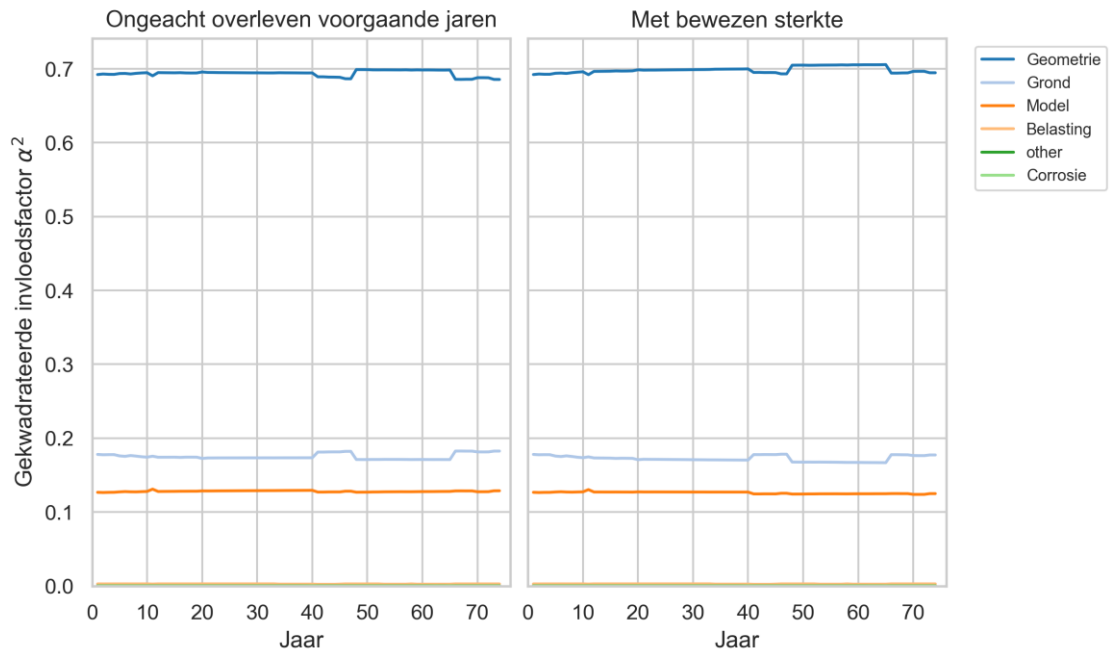
### D.1.3 Case B – Verankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie GEO

#### D.1.3.1. GTF-GEO Basis case B:

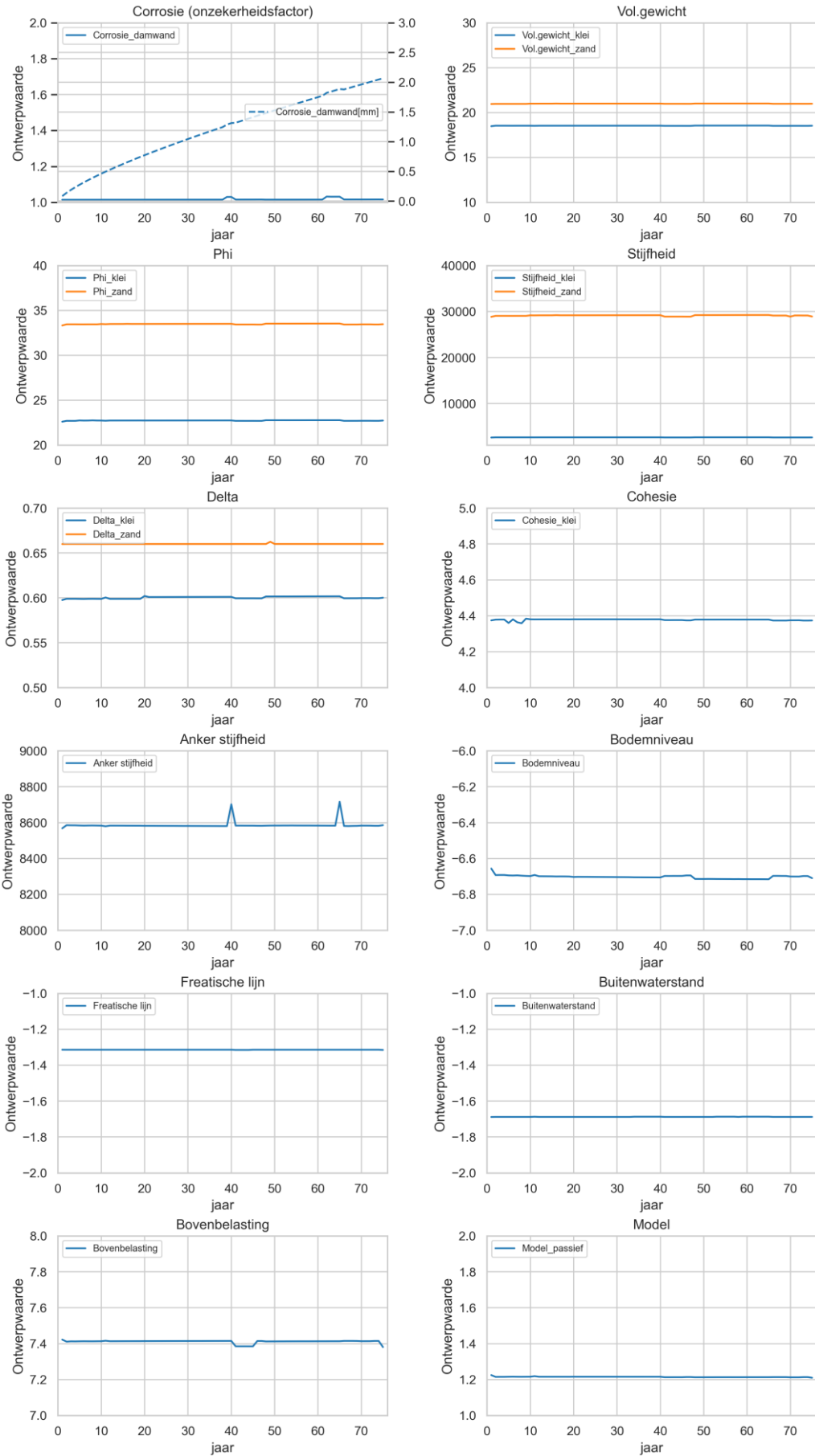
In de navolgende figuren staat “Delta” voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



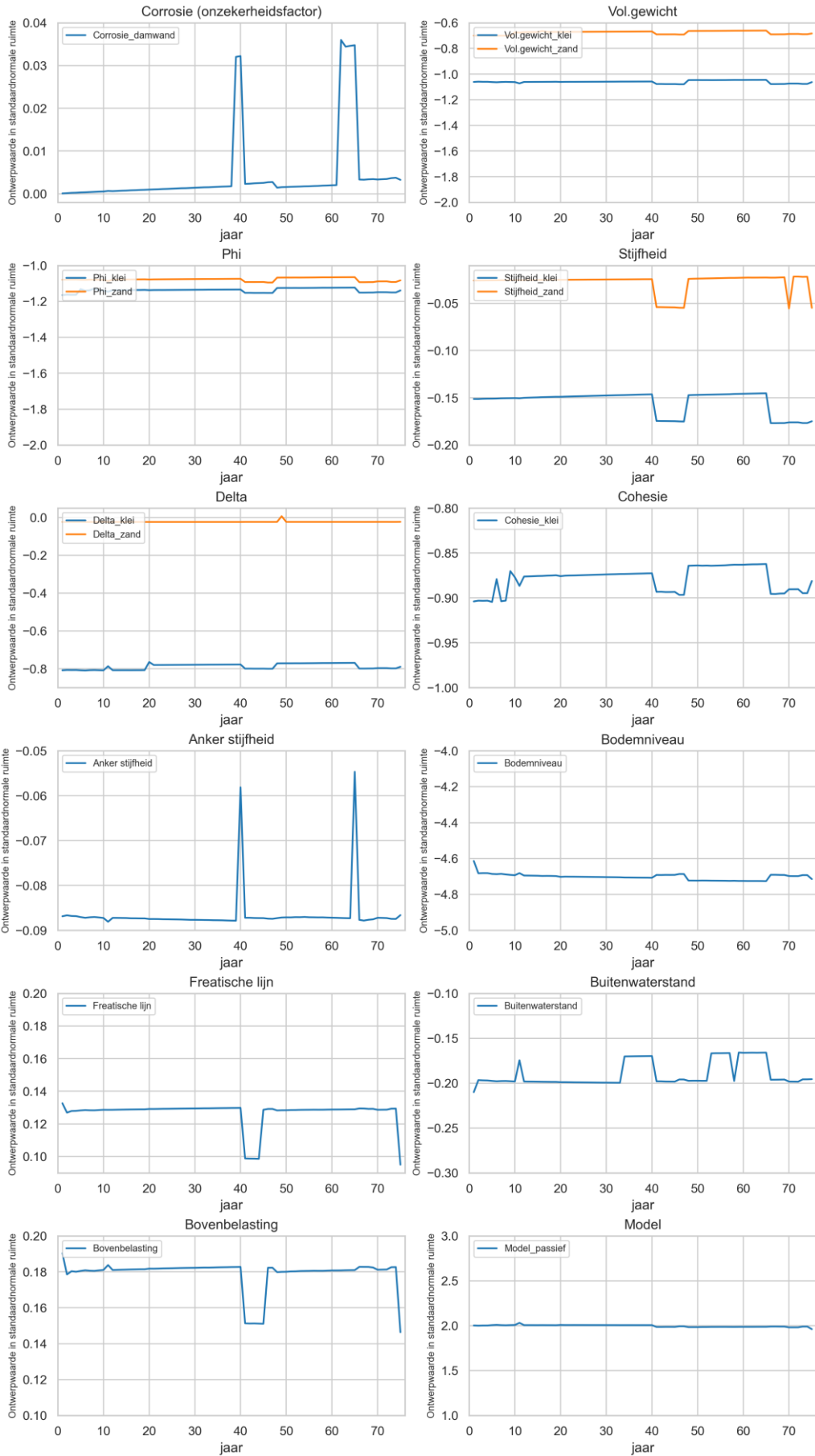
### Geo Basis case B - gegroepeerd naar Variable\_group



Geo Basis case B

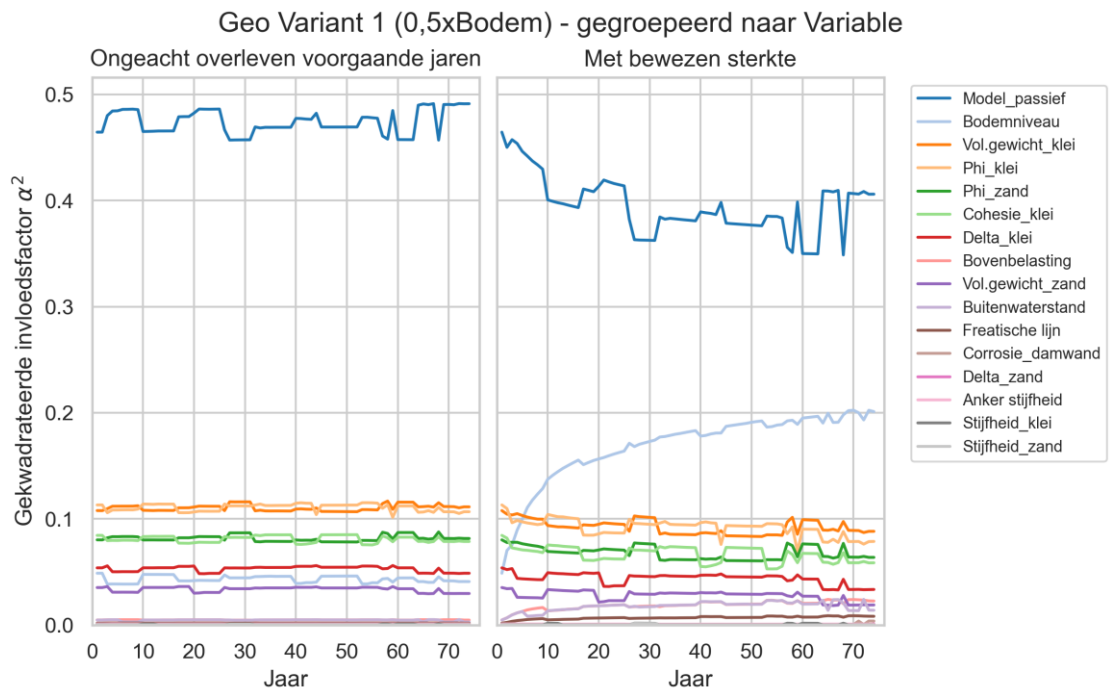
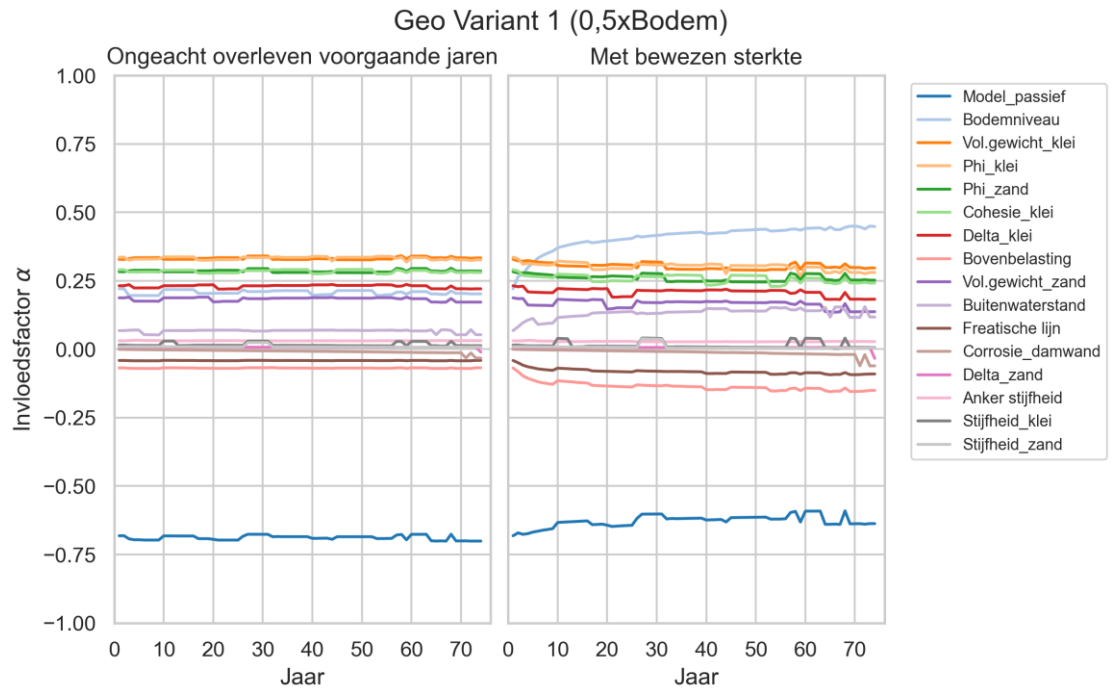


Geo Basis case B

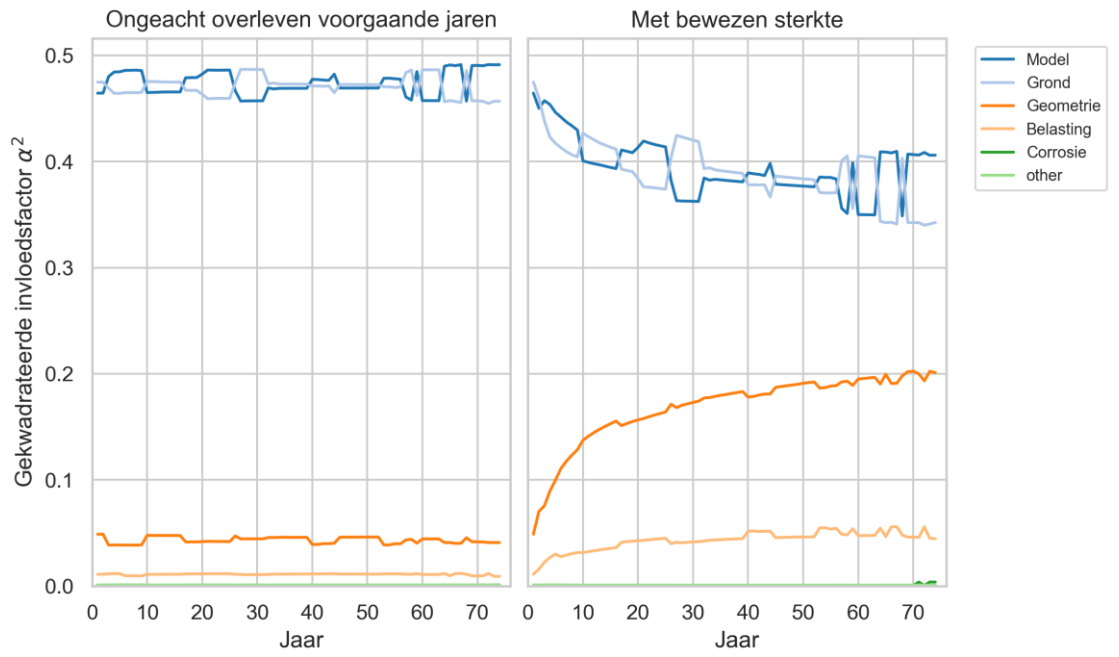


D.1.3.2. GTF-GEO Variant 1 case B:

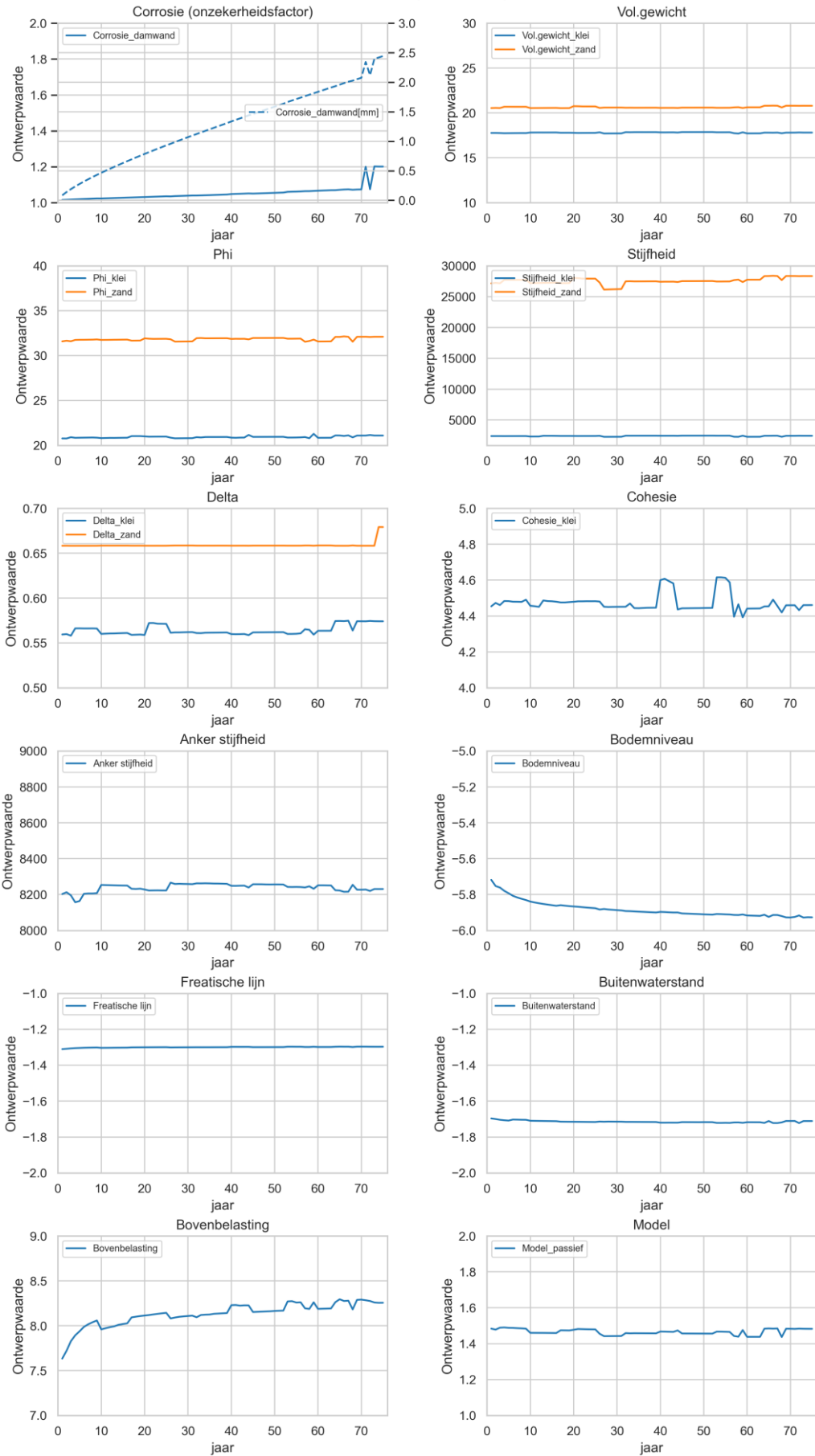
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



### Geo Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

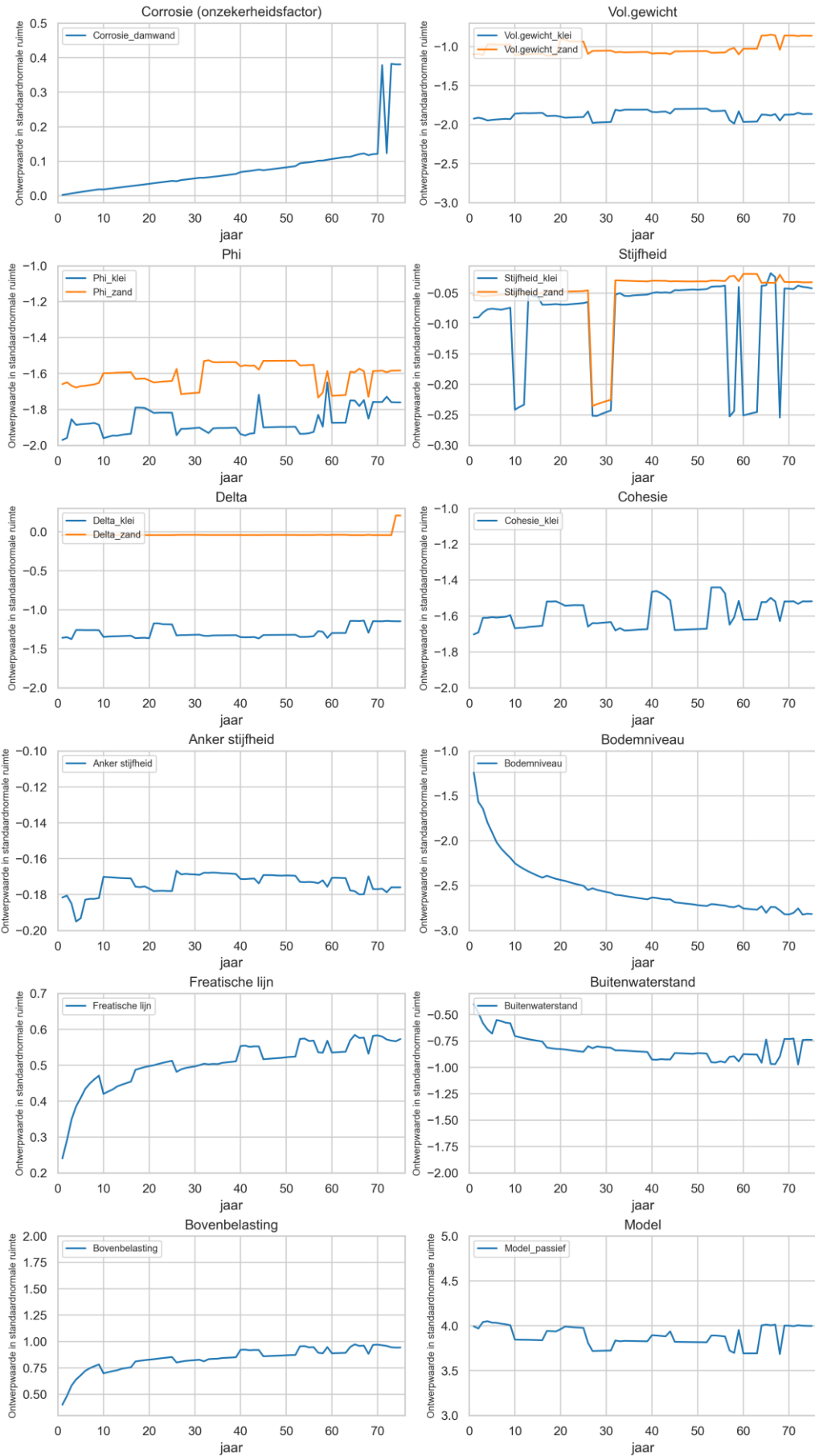


Geo Variant 1 (0,5xBodem)





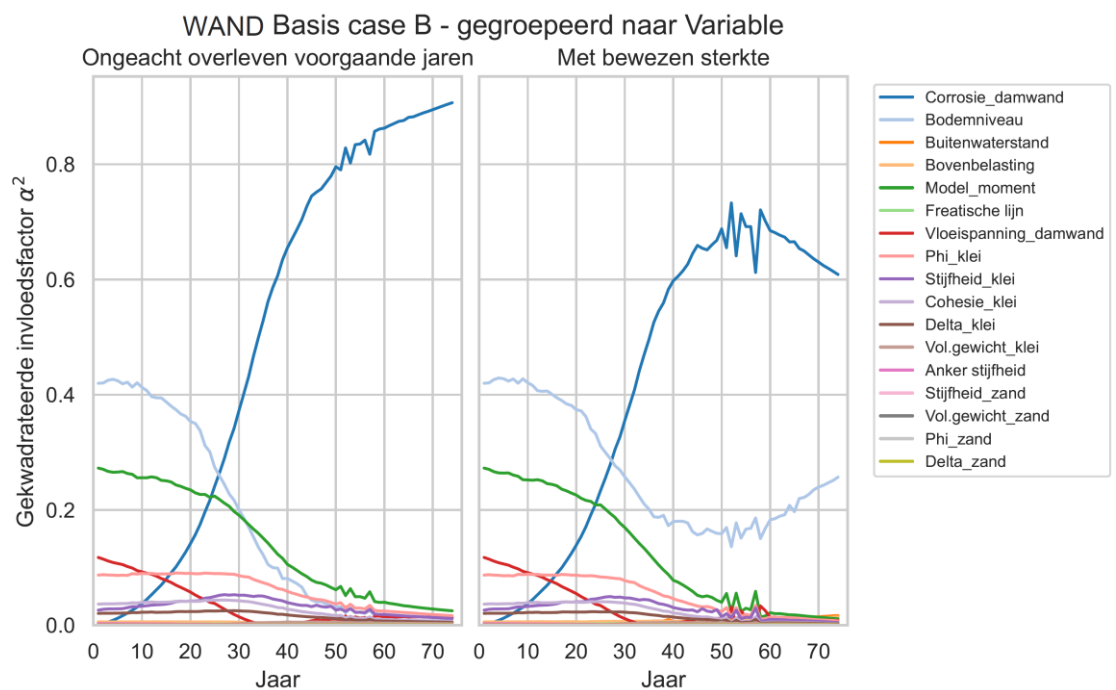
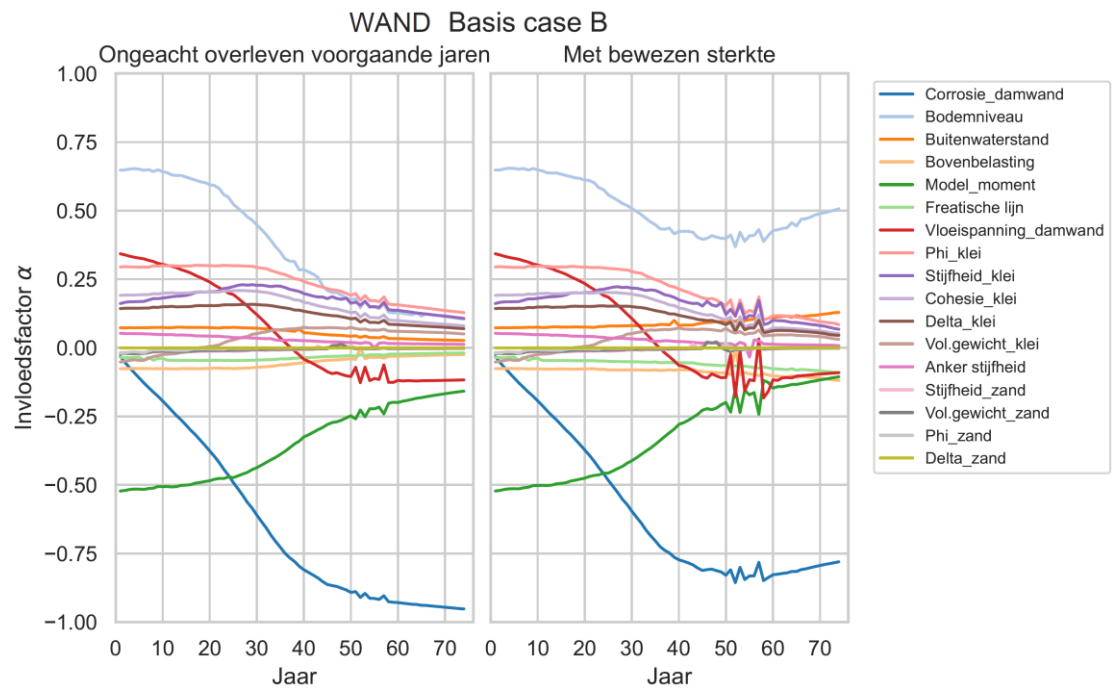
Geo Variant 1 (0,5xBodem)

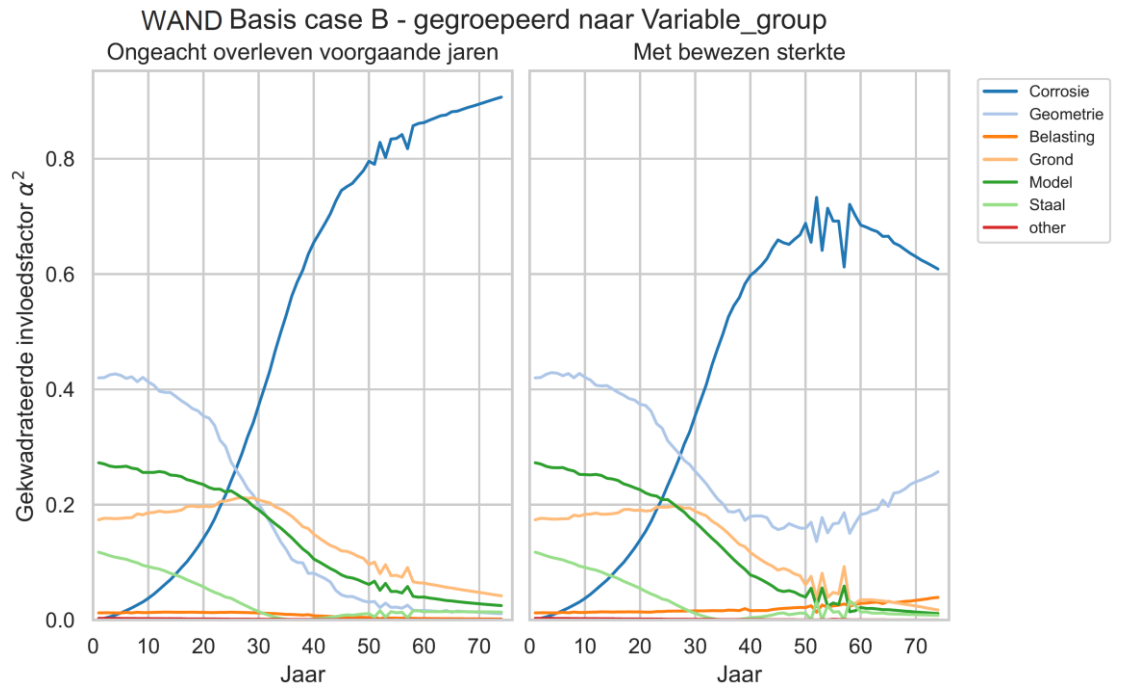


**D.1.4 Case B – Verankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie WAND**

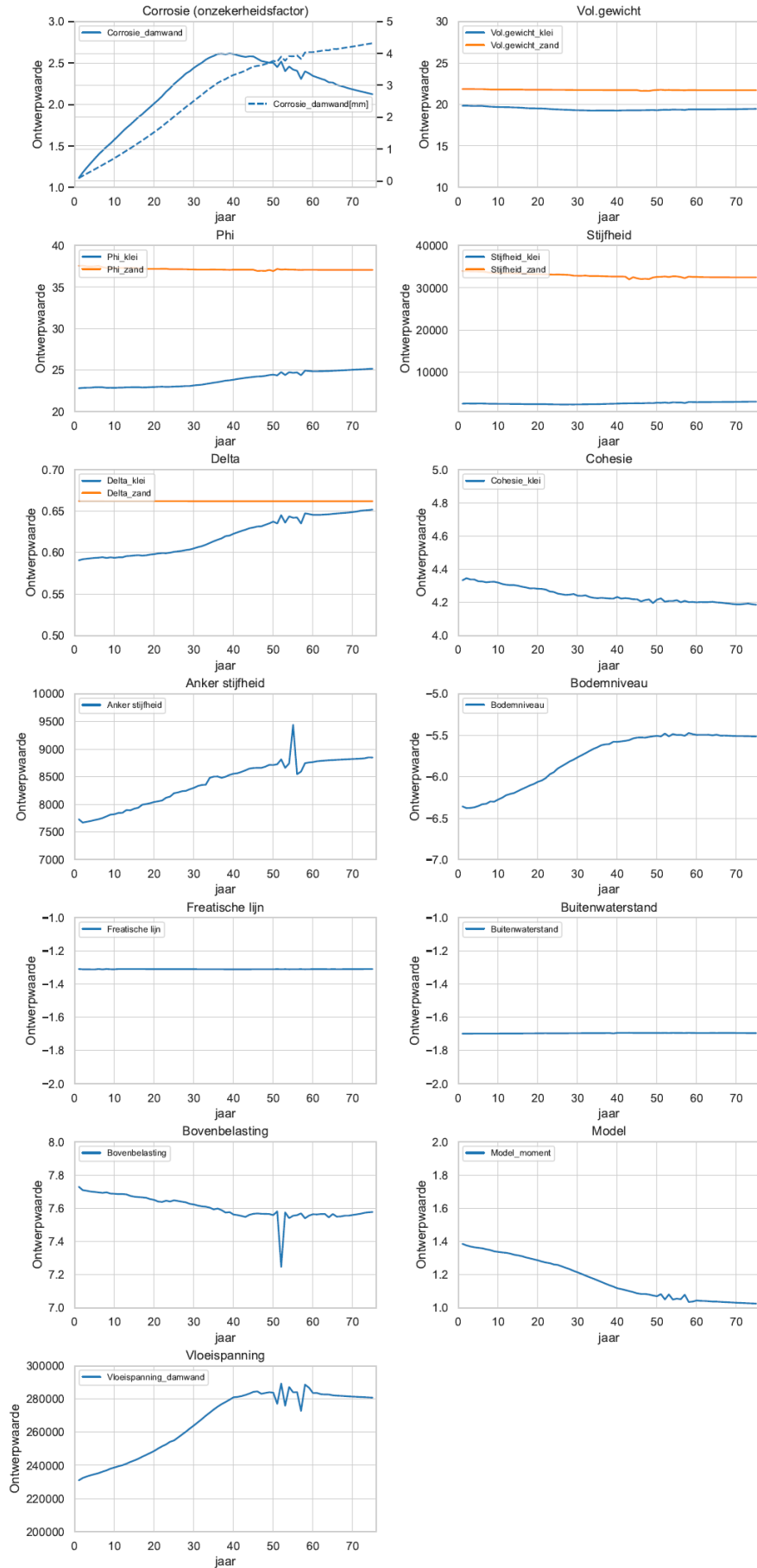
D.1.4.1. GTF-WAND Basis case B:

In de navolgende figuren staat “Delta” voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .

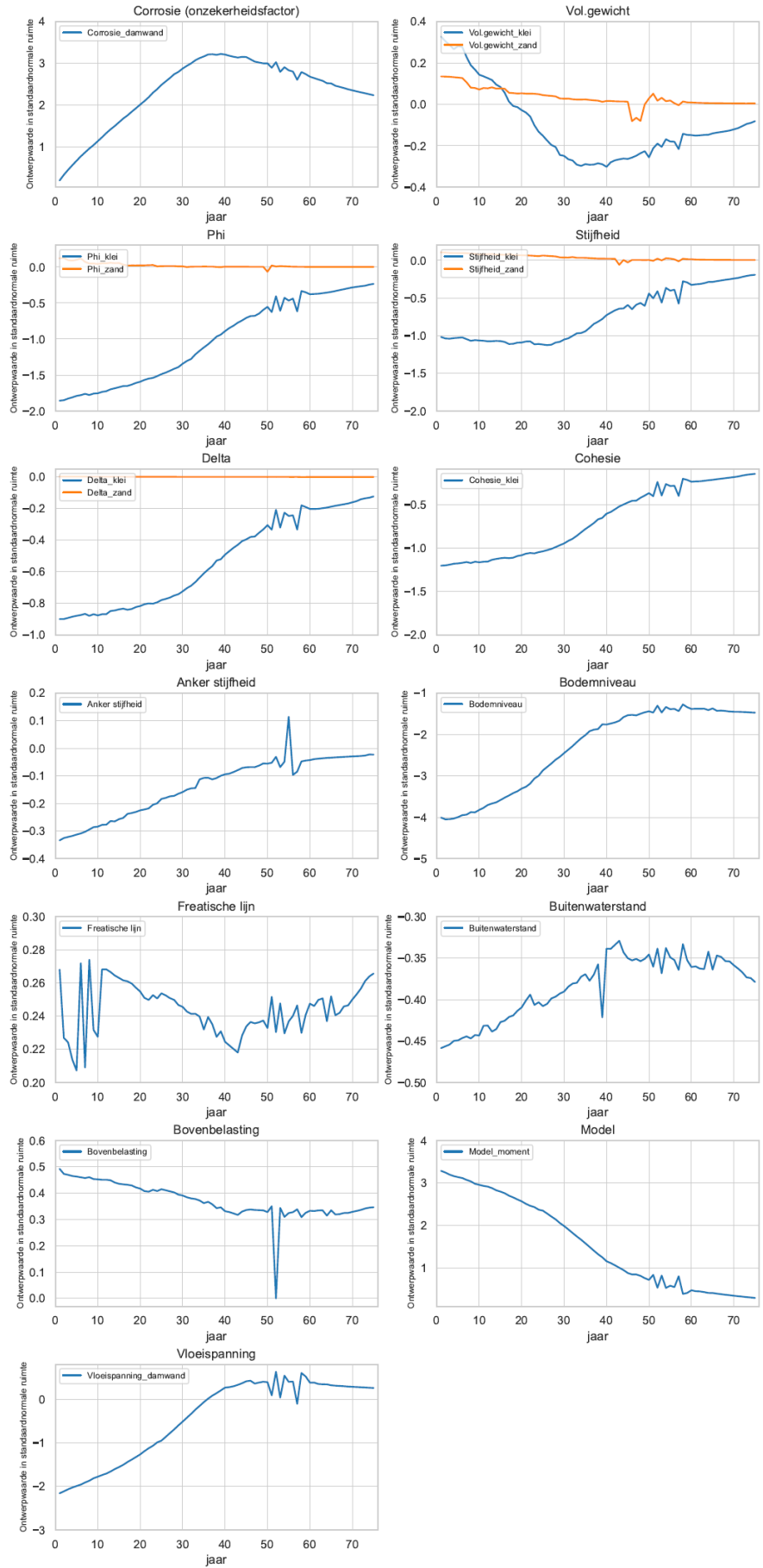




WAND Basis case B

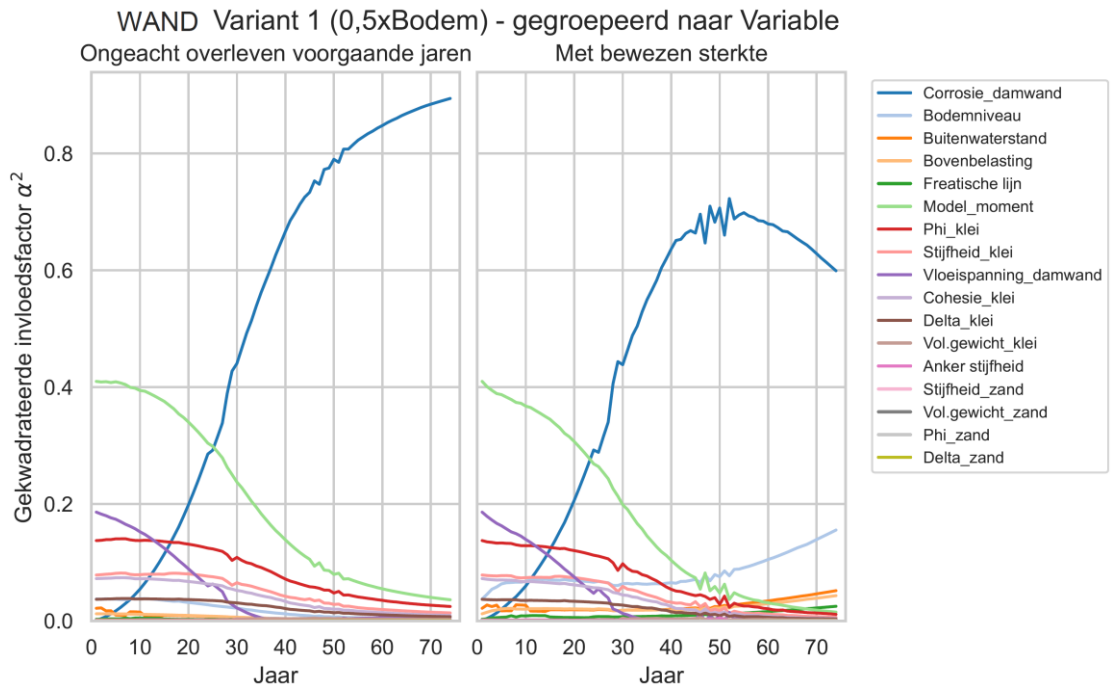
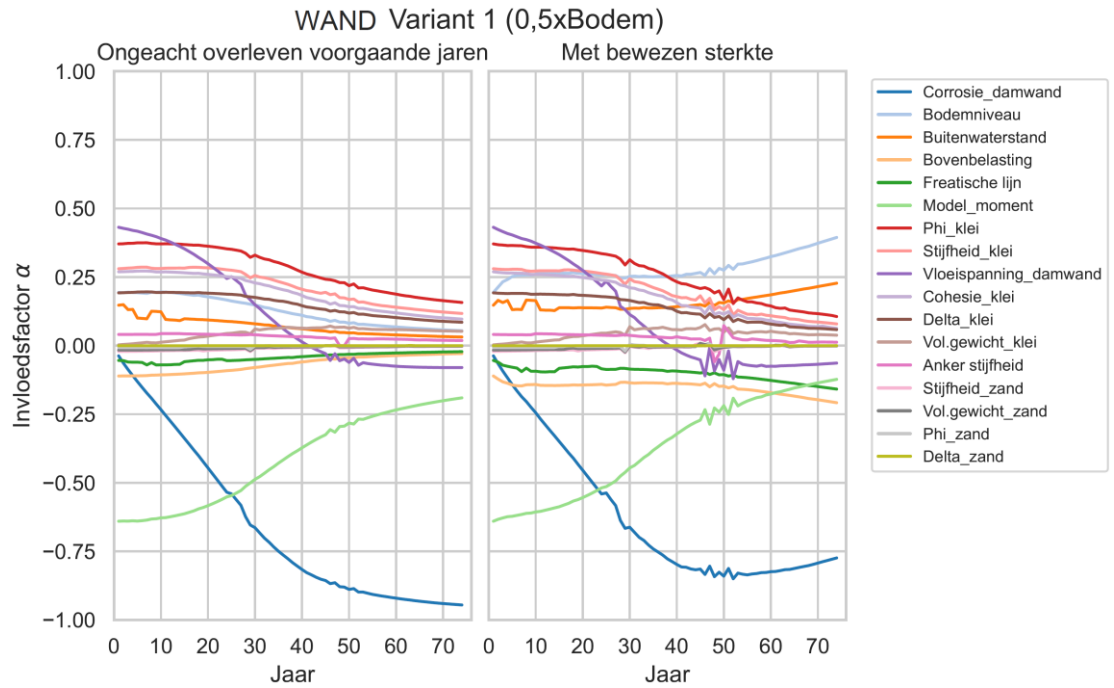


WAND Basis case B

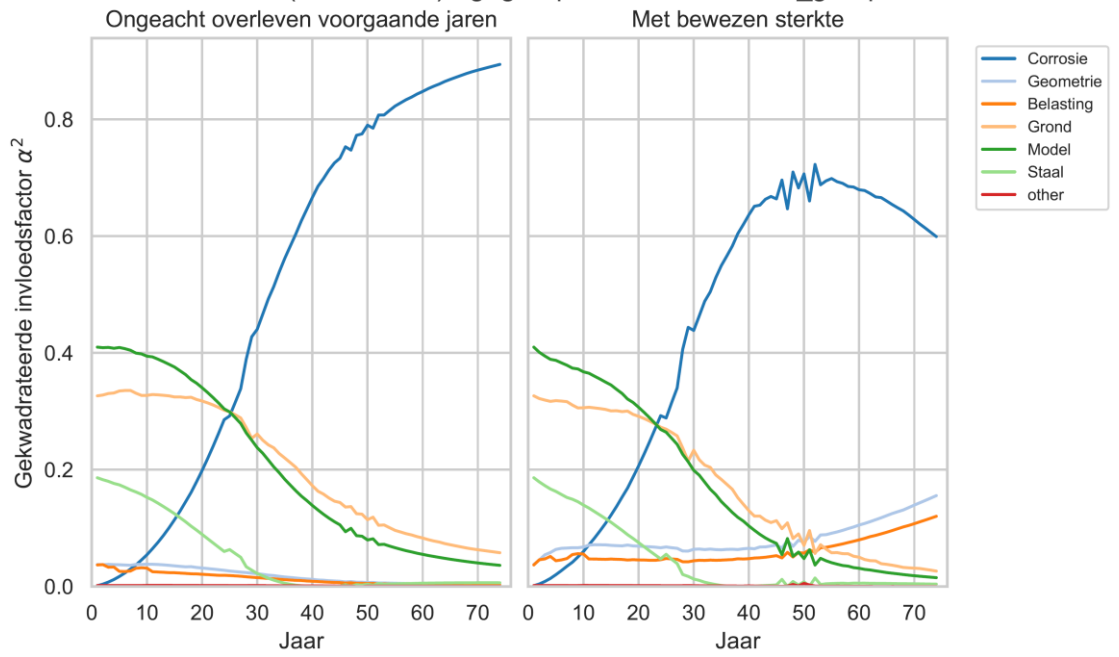


D.1.4.2. GTF-WAND Variant 1 case B:

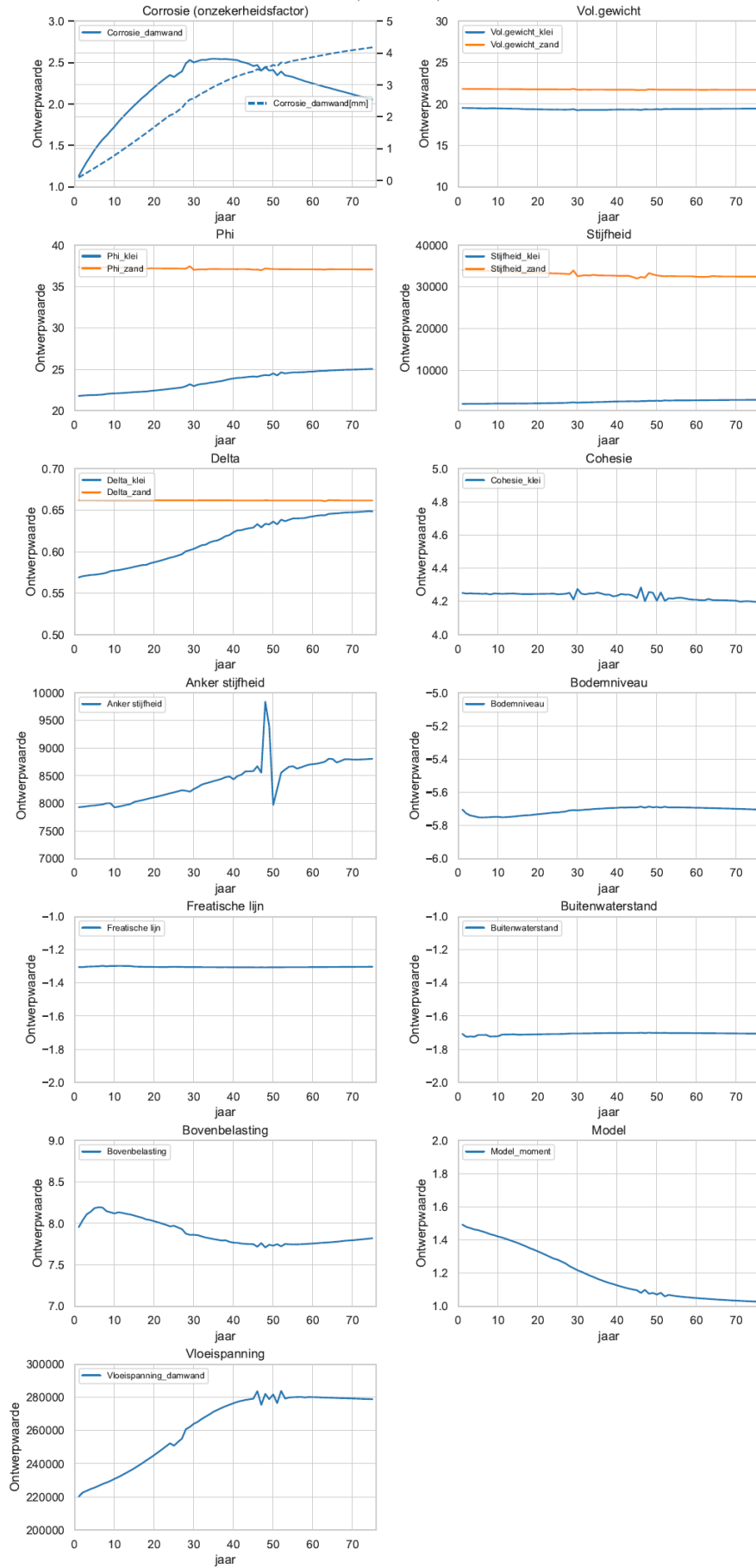
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



WAND Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

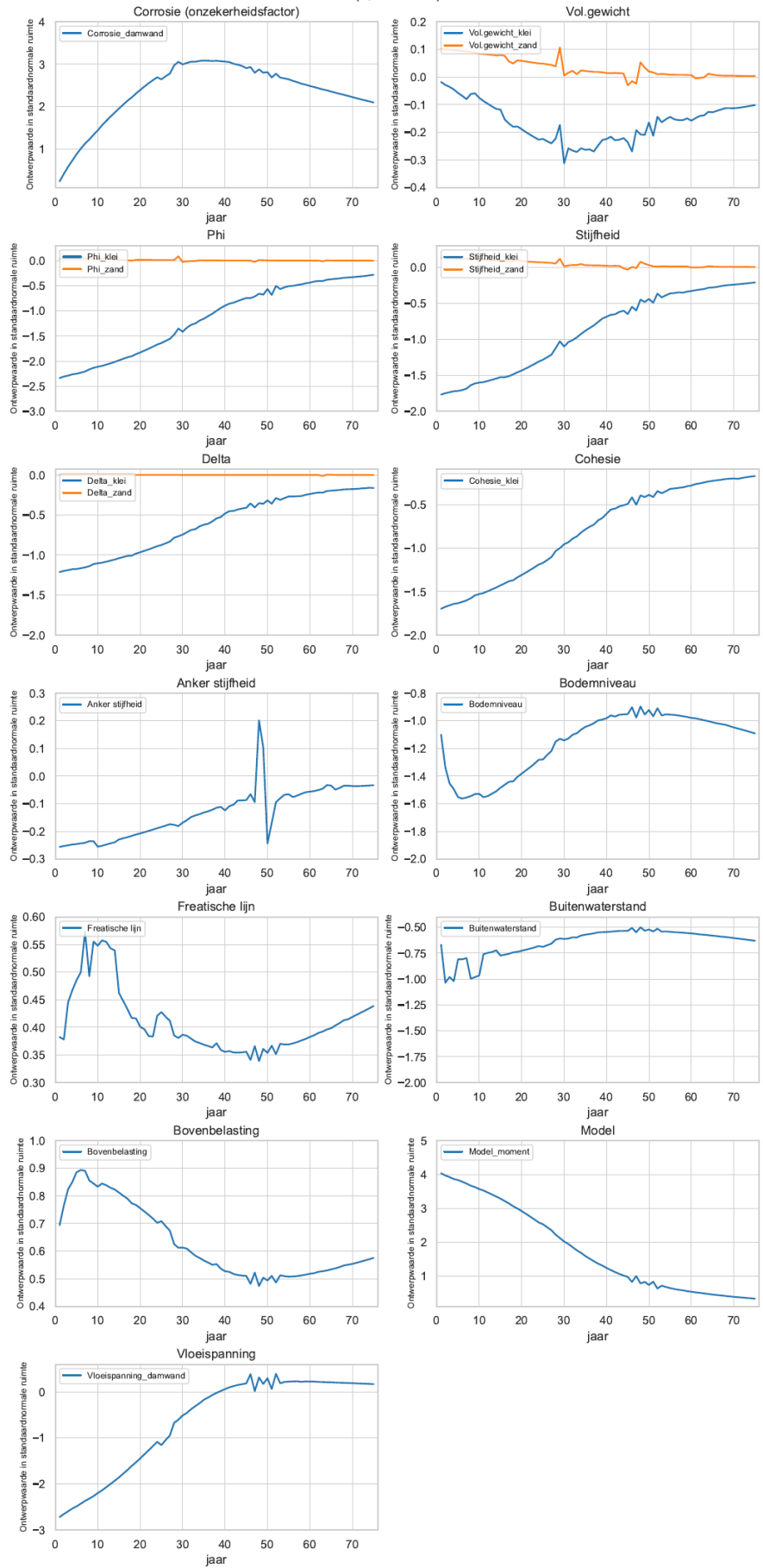


WAND Variant 1 (0,5xBodem)



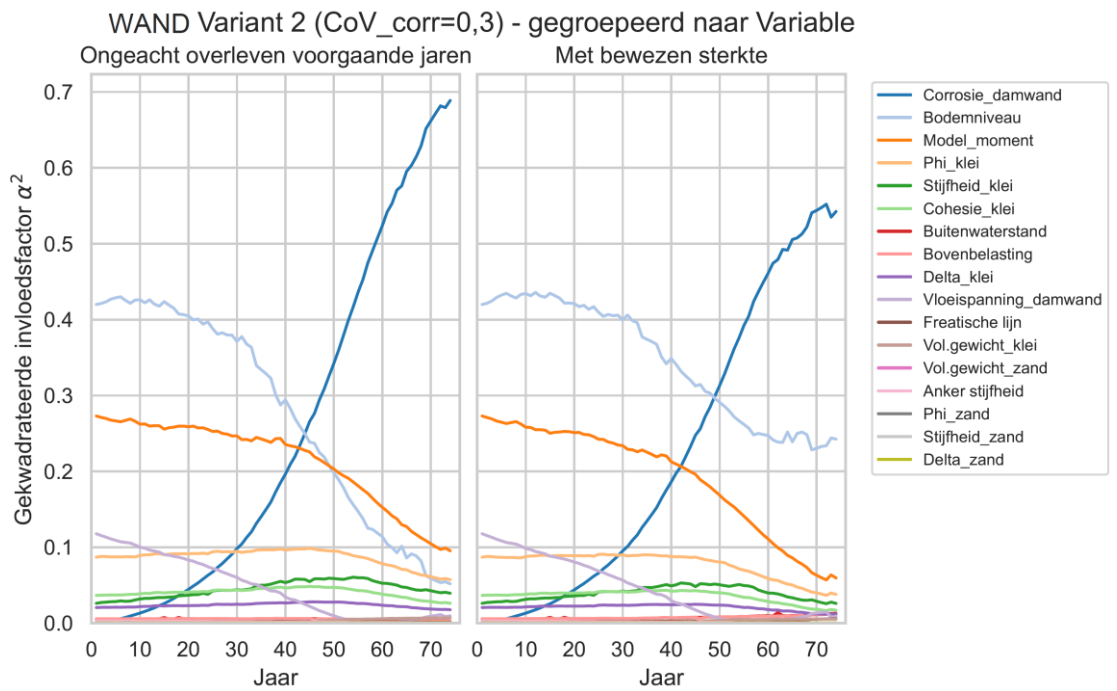
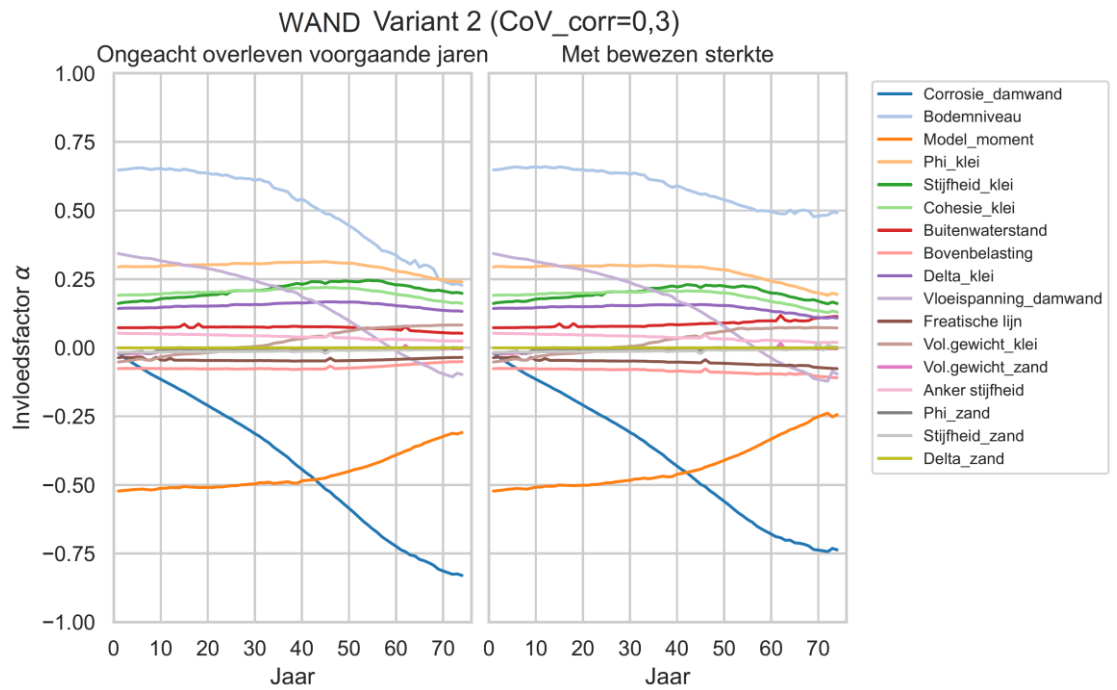


WAND Variant 1 (0,5xBodem)

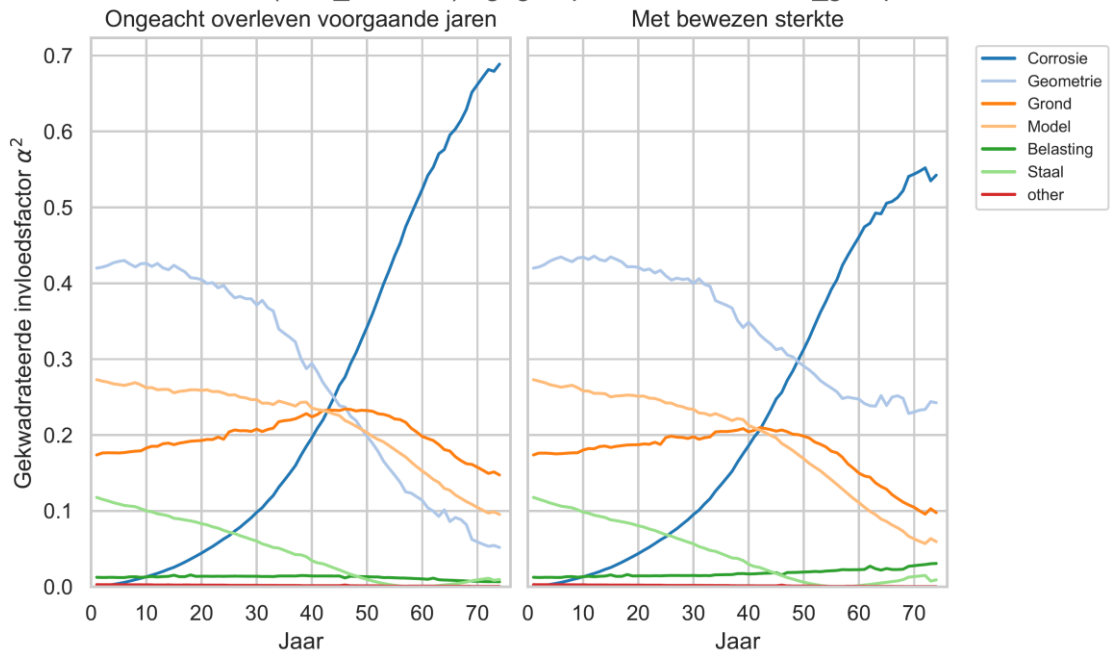


D.1.4.3. GTF-WAND Variant 2 case B:

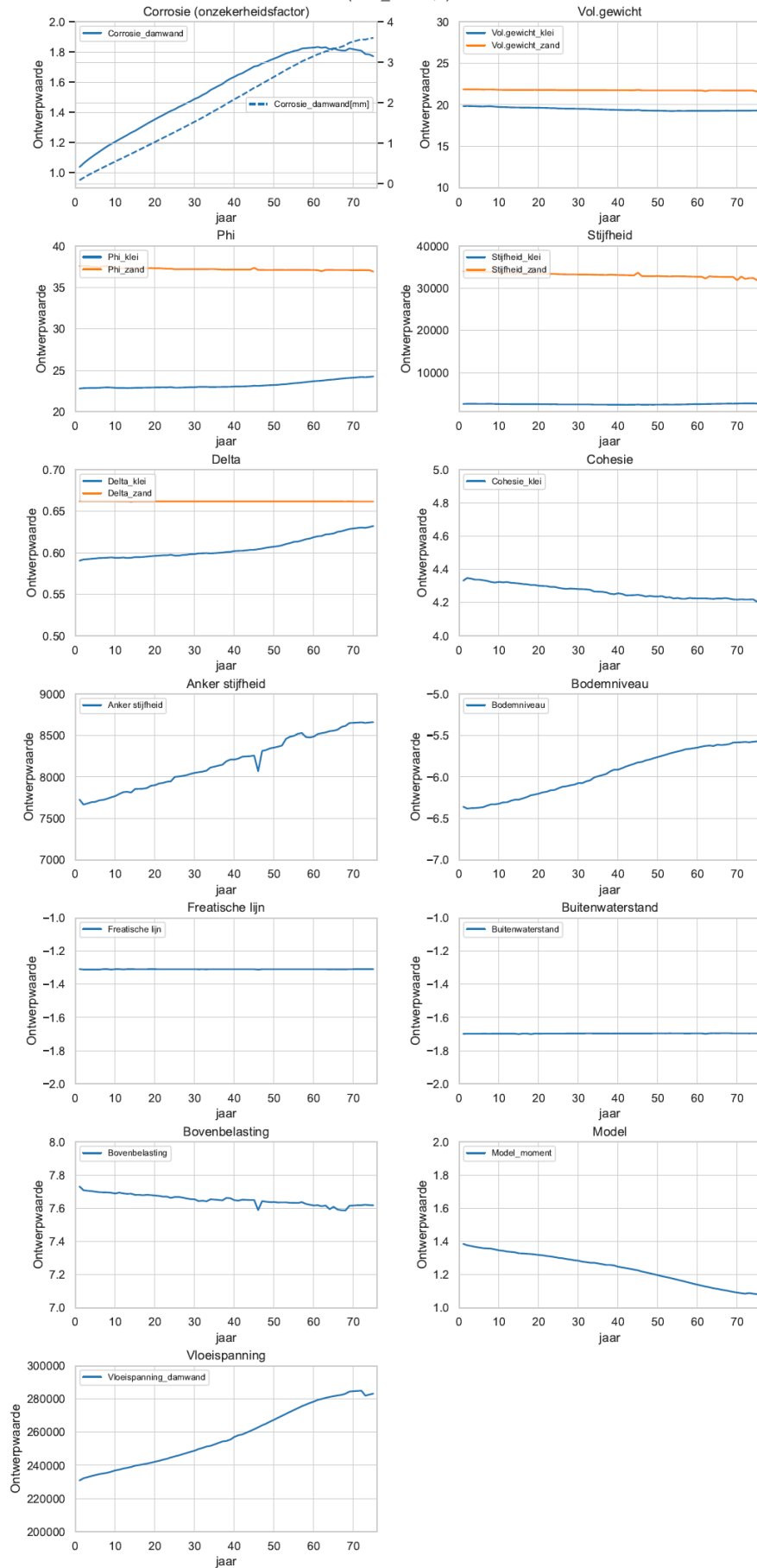
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



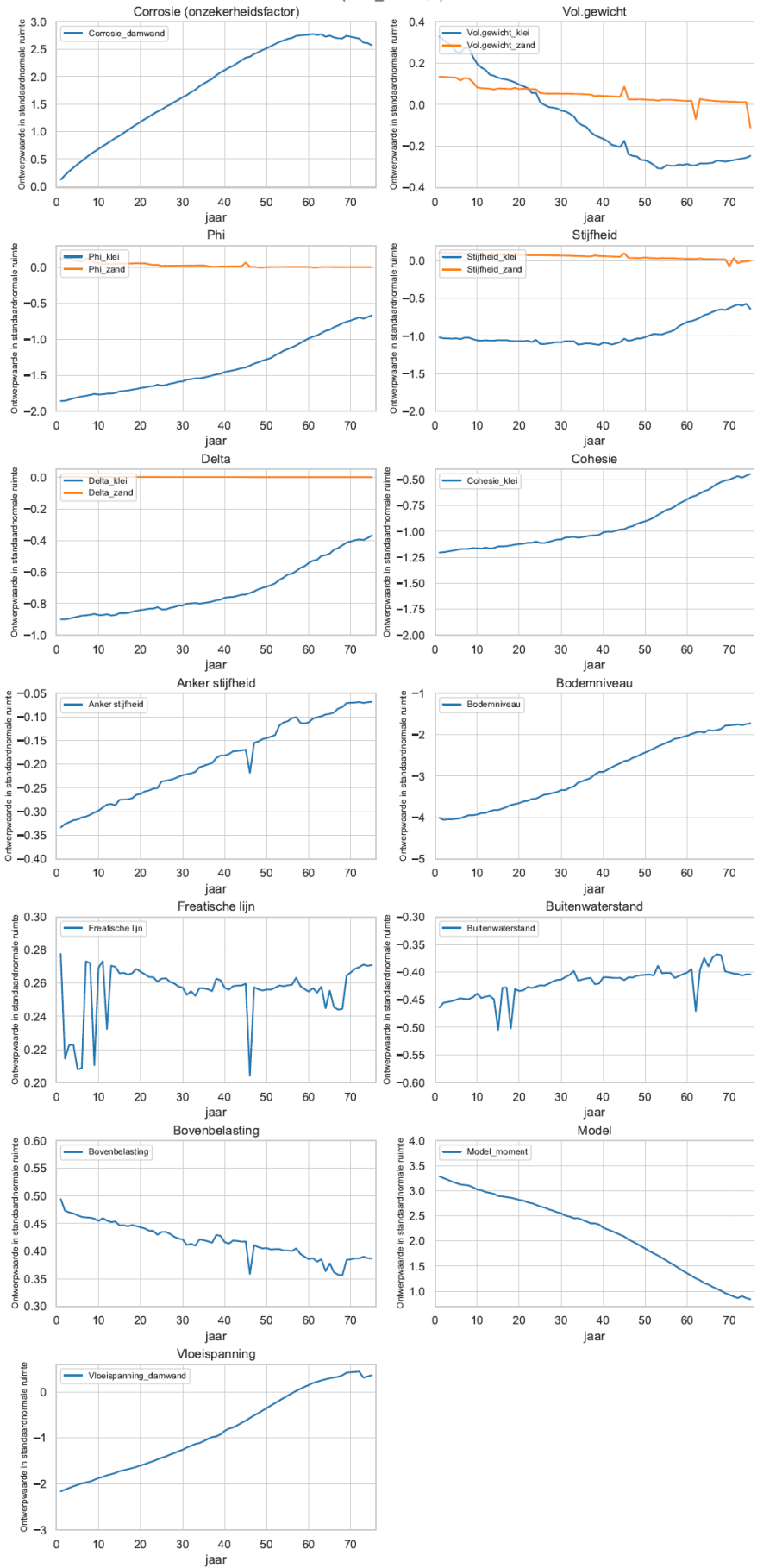
WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3) - gegroepeerd naar Variable\_group



WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3)

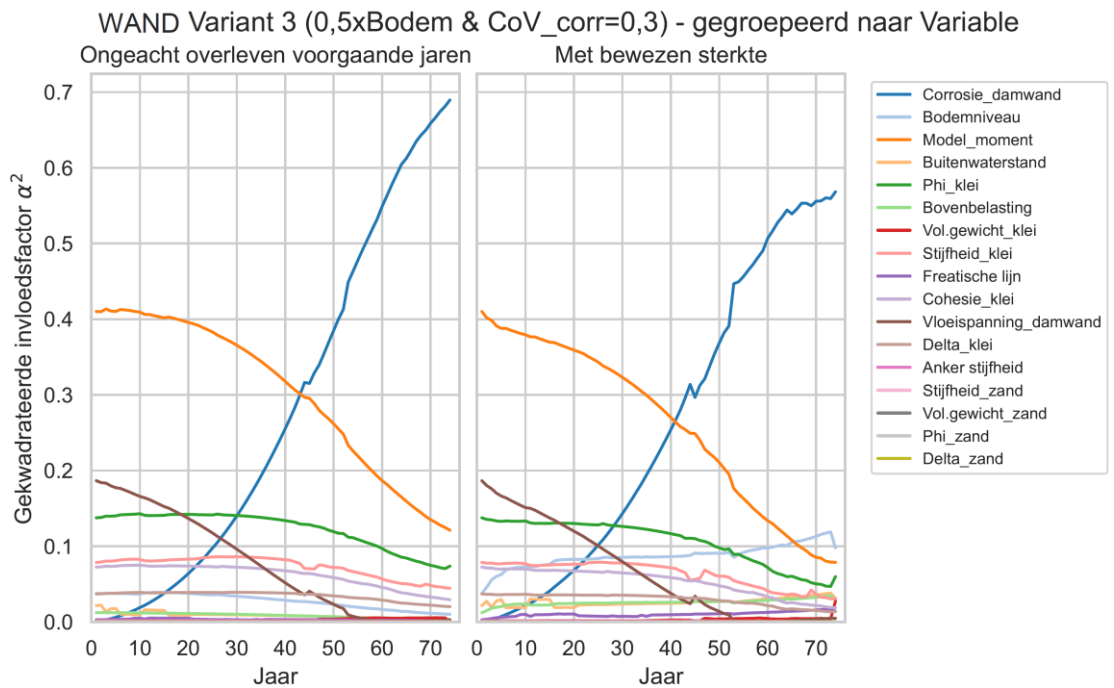
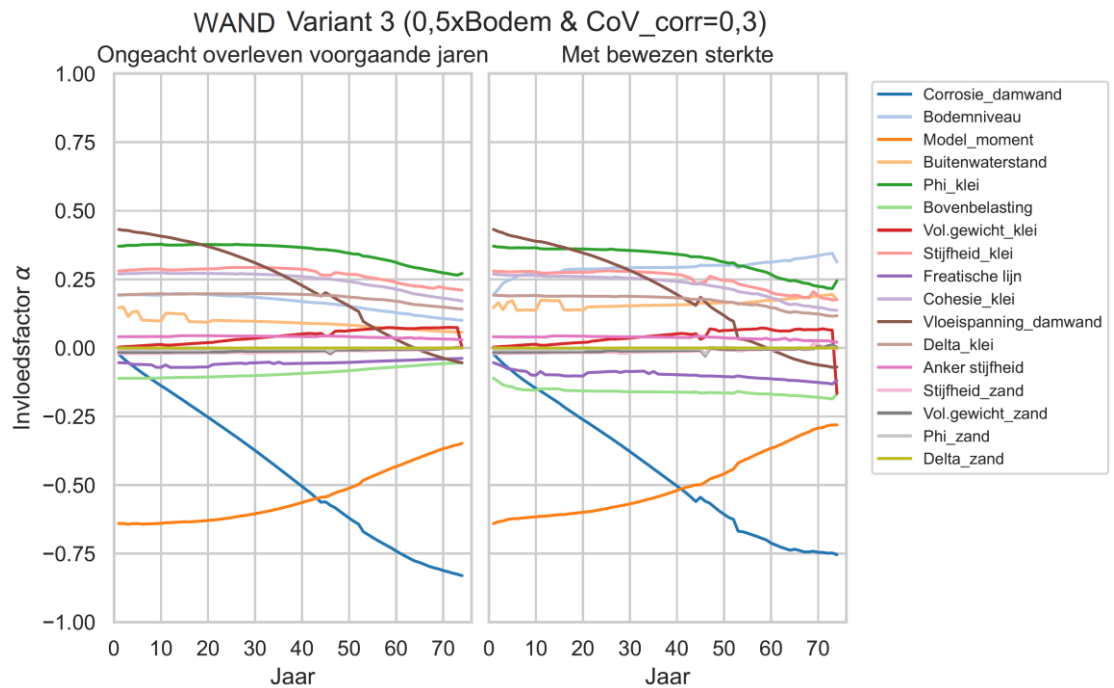


WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3)

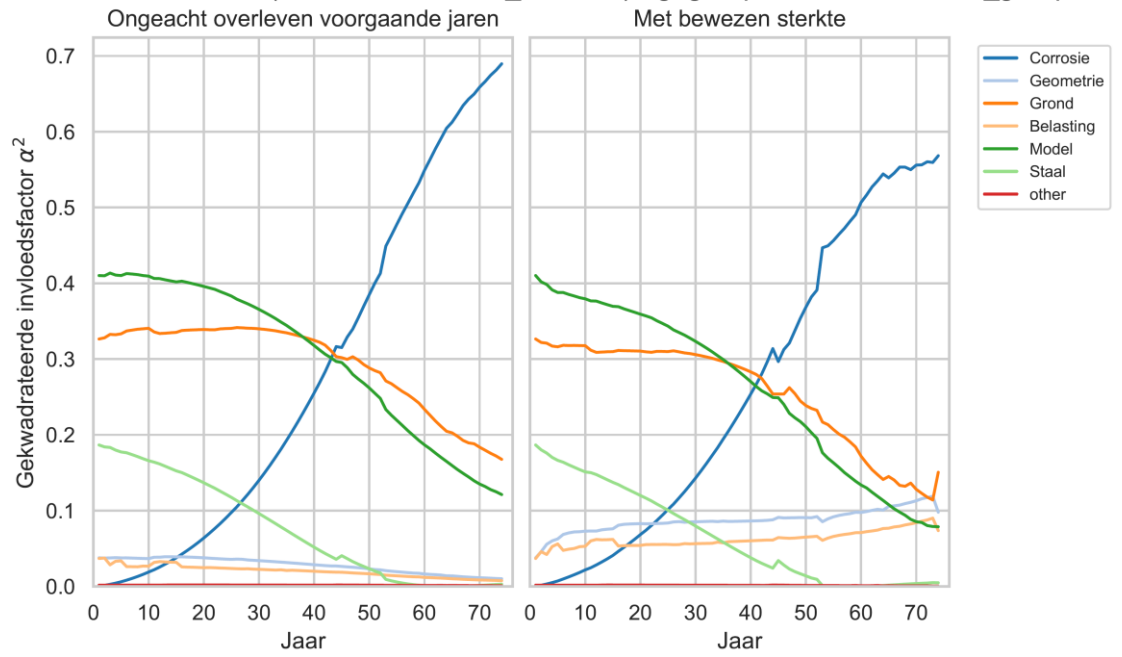


D.1.4.4. GTF-WAND Variant 3 case B:

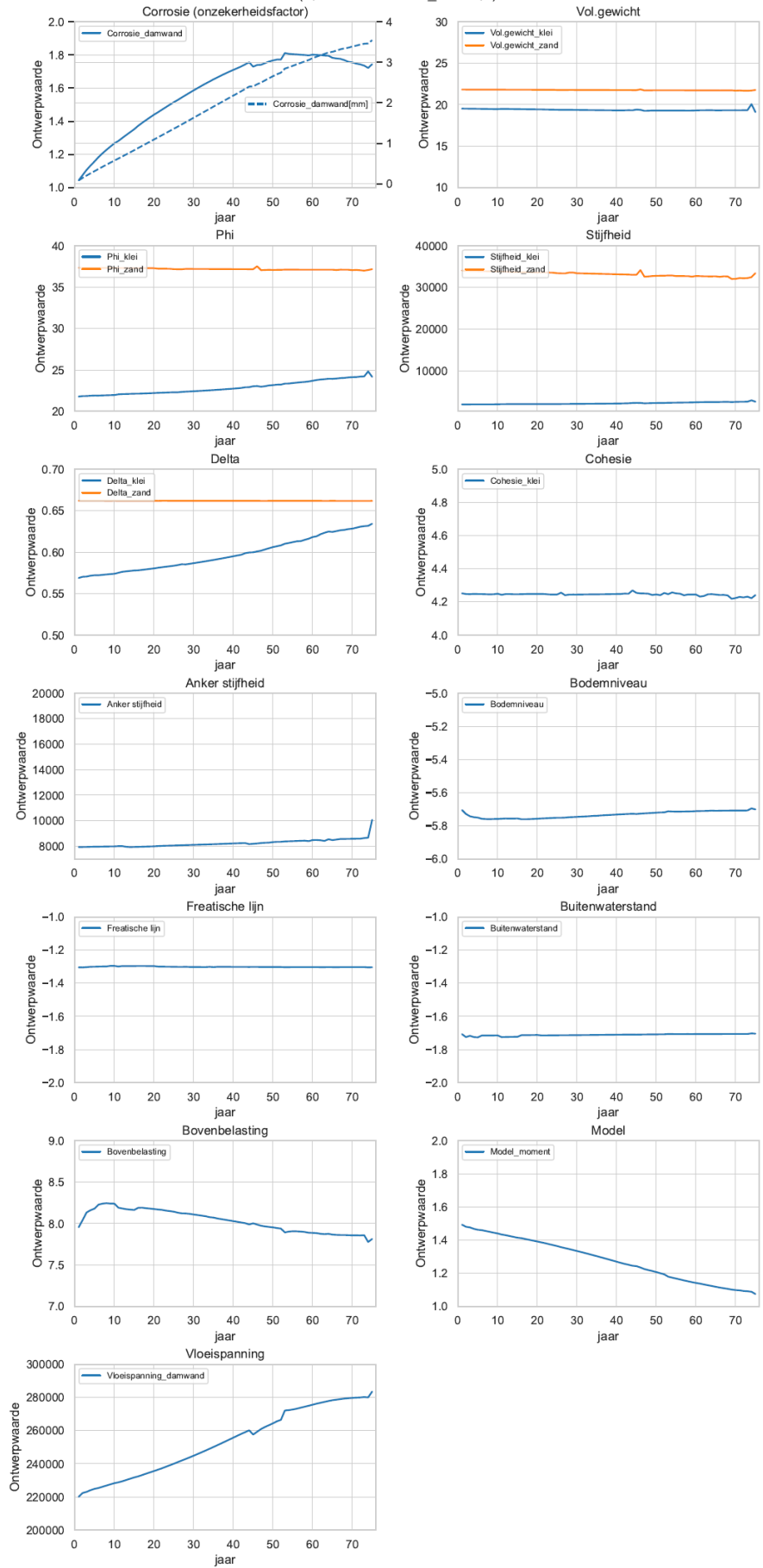
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3) - gegroepeerd naar Variable\_group

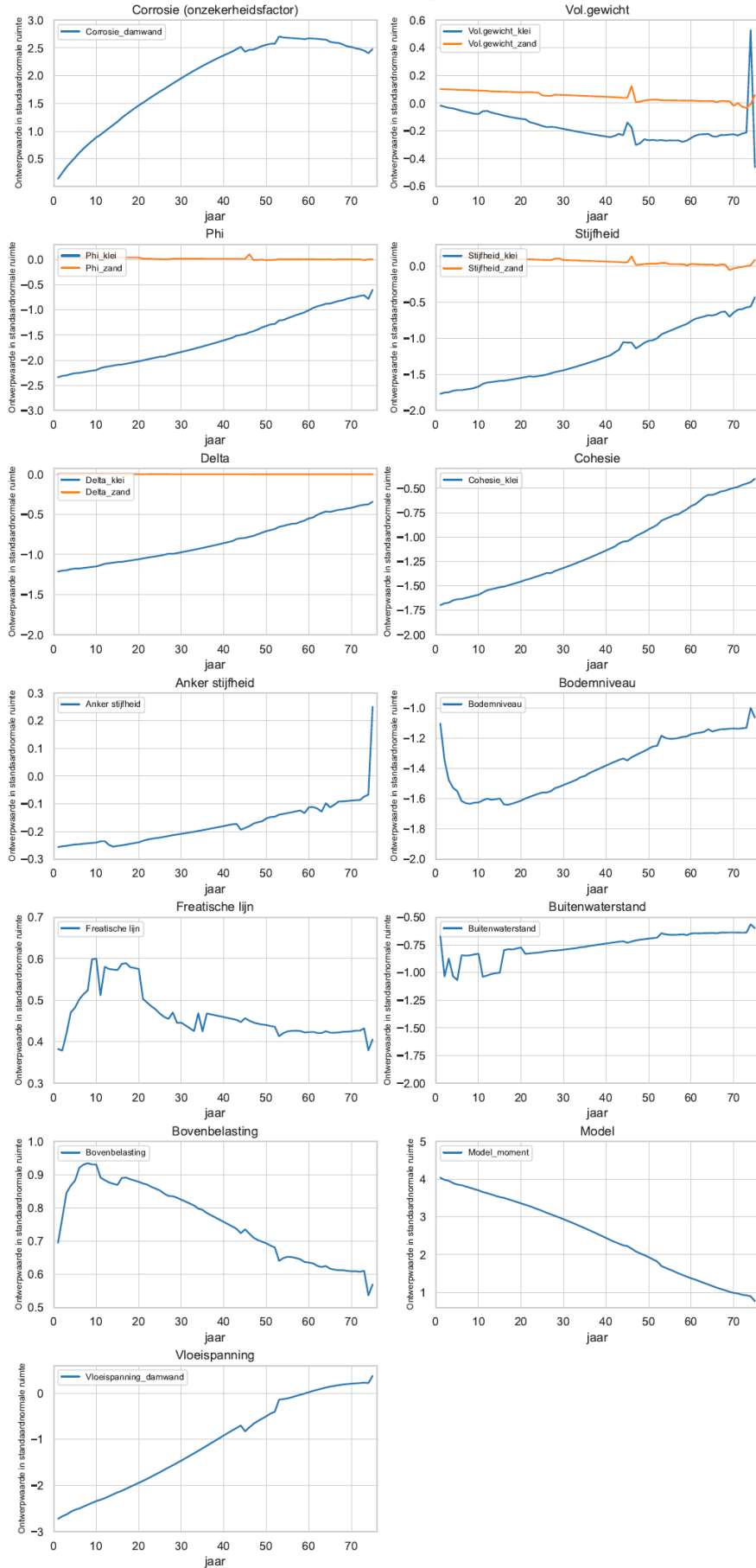


WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3)





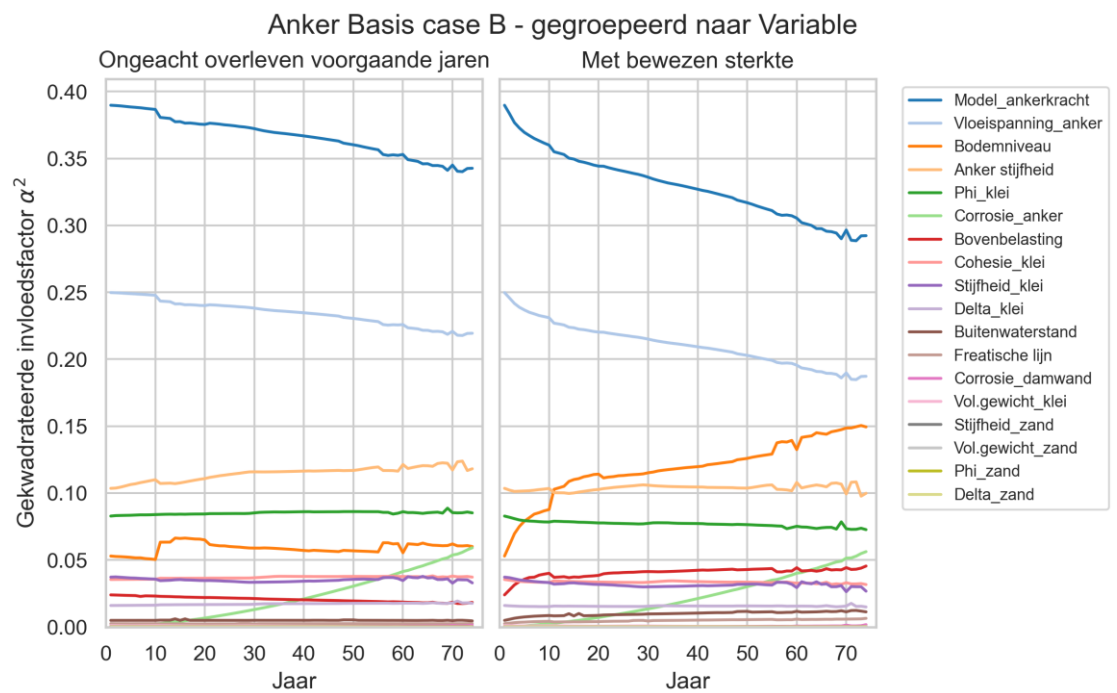
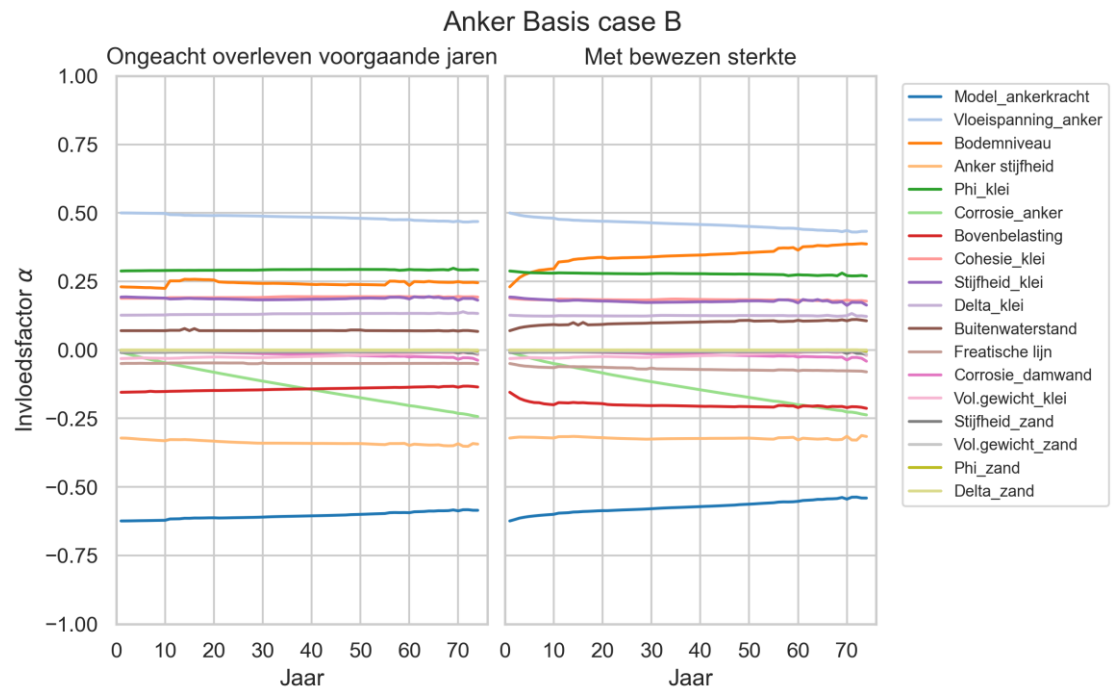
WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3)



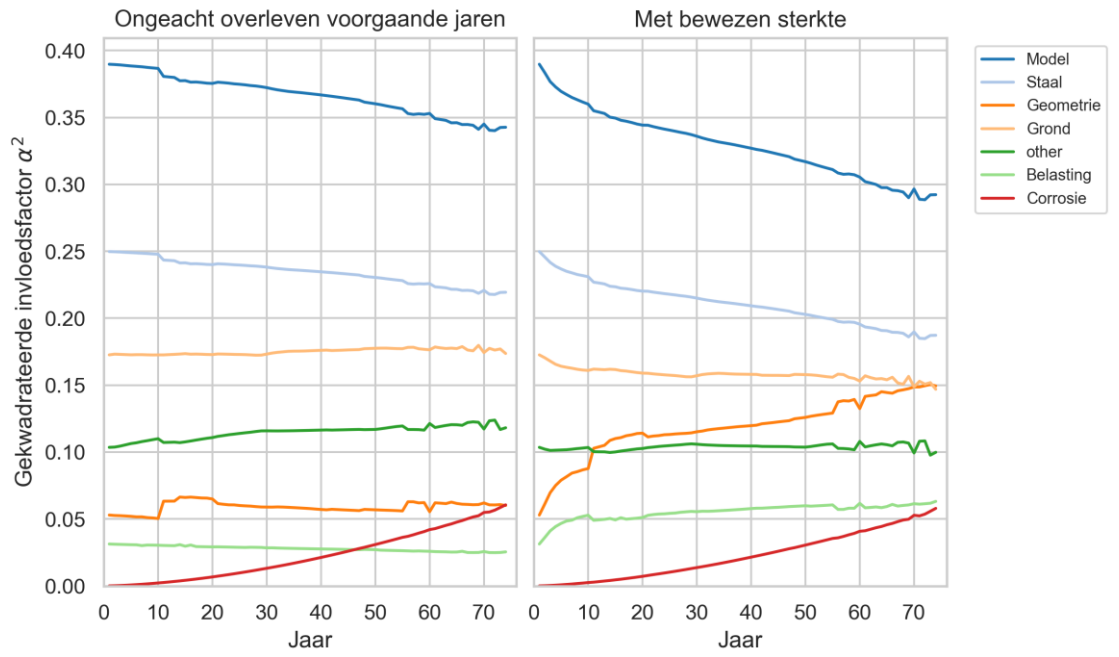
**D.1.5 Case B – Verankerde damwand zonder grondwaterstroming grenstoestandsfunctie ANKER**

D.1.5.1. GTF-ANKER Basis case B:

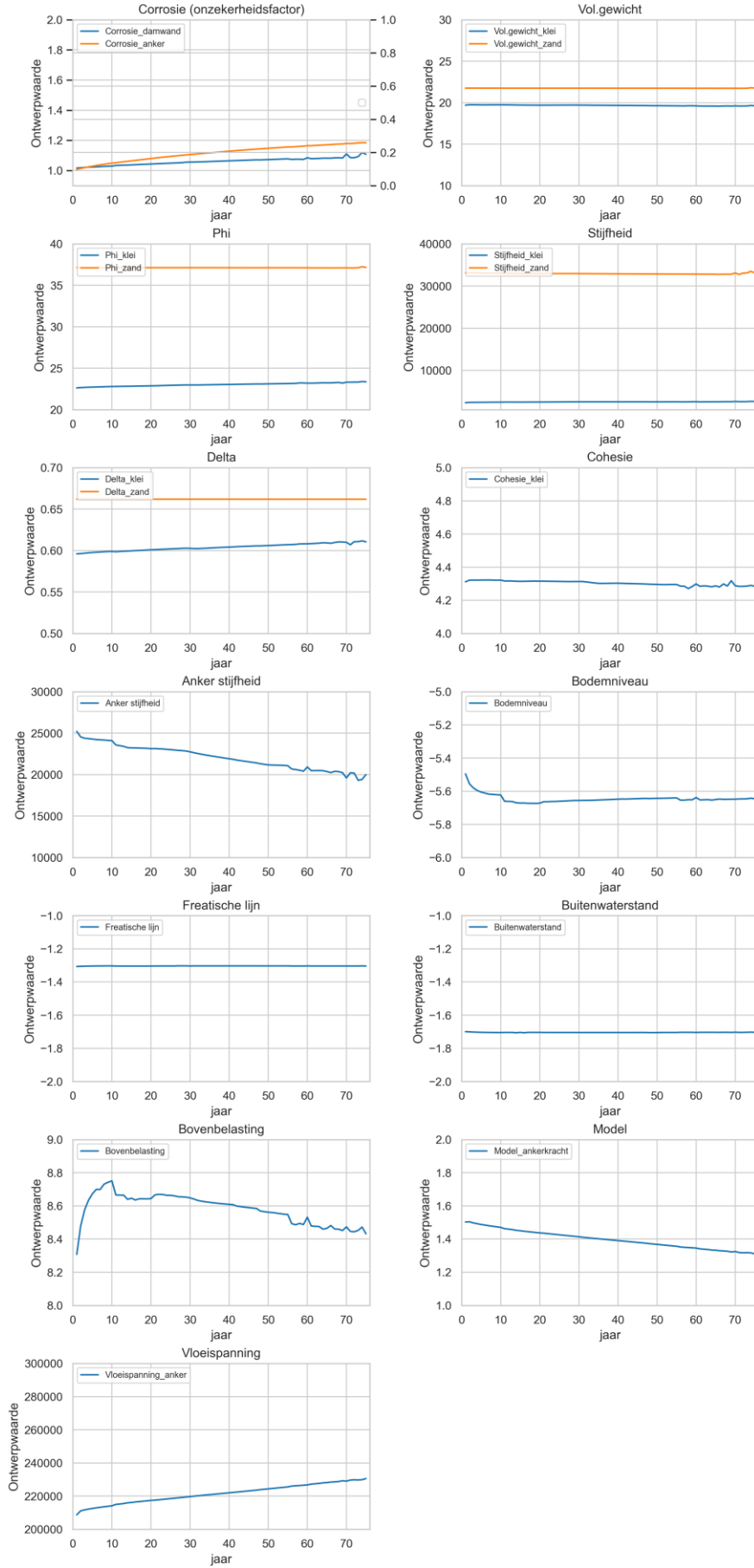
In de navolgende figuren staat “Delta” voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



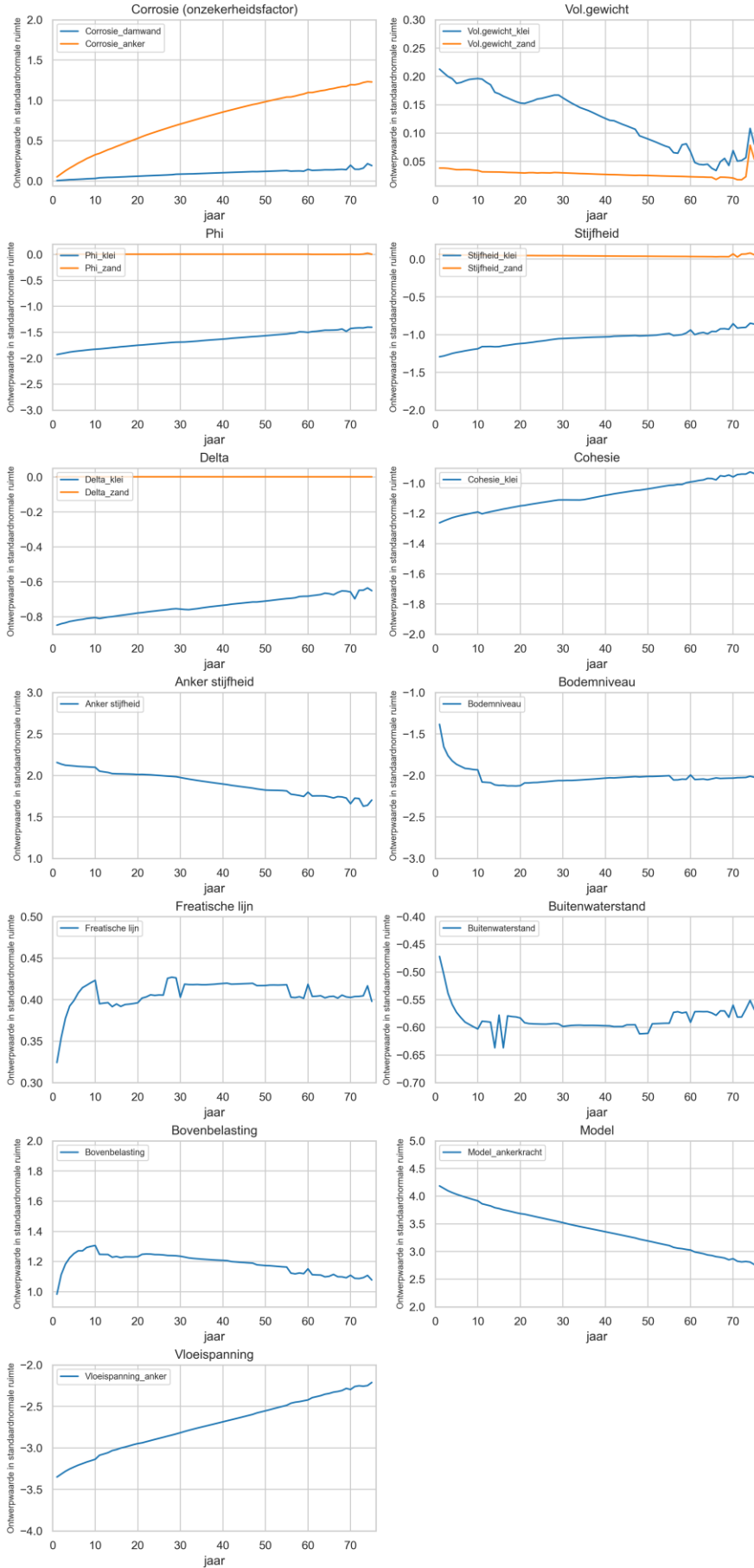
### Anker Basis case B - gegroepeerd naar Variable\_group



Anker Basis case B

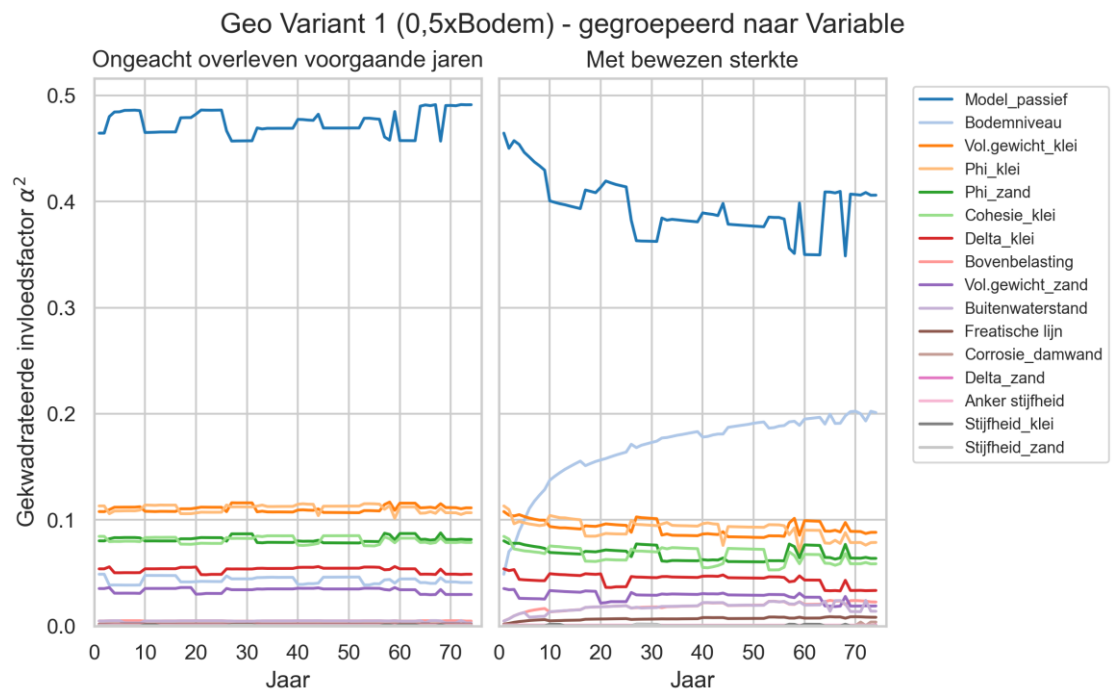
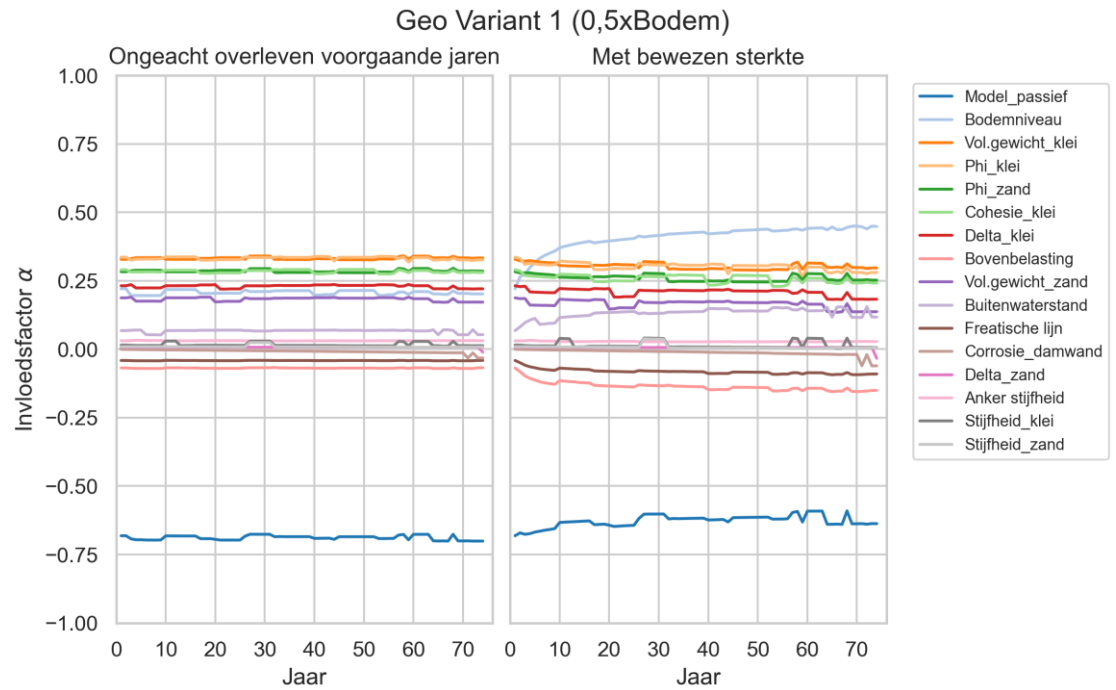


Anker Basis case B

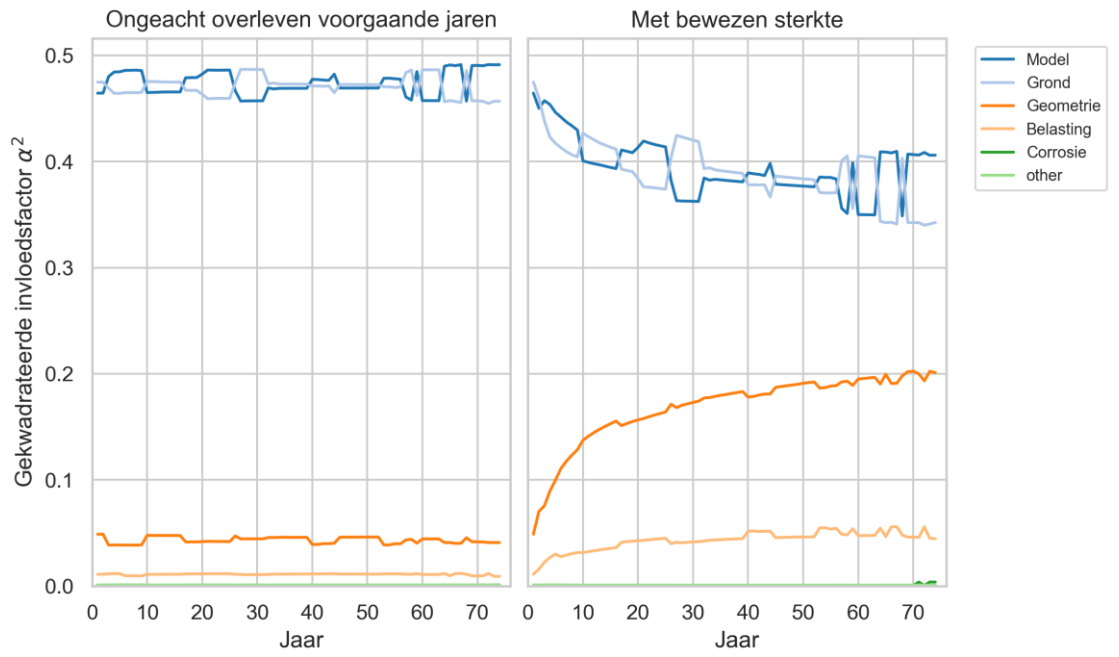


D.1.5.2. GTF-ANKER Variant 1 case B:

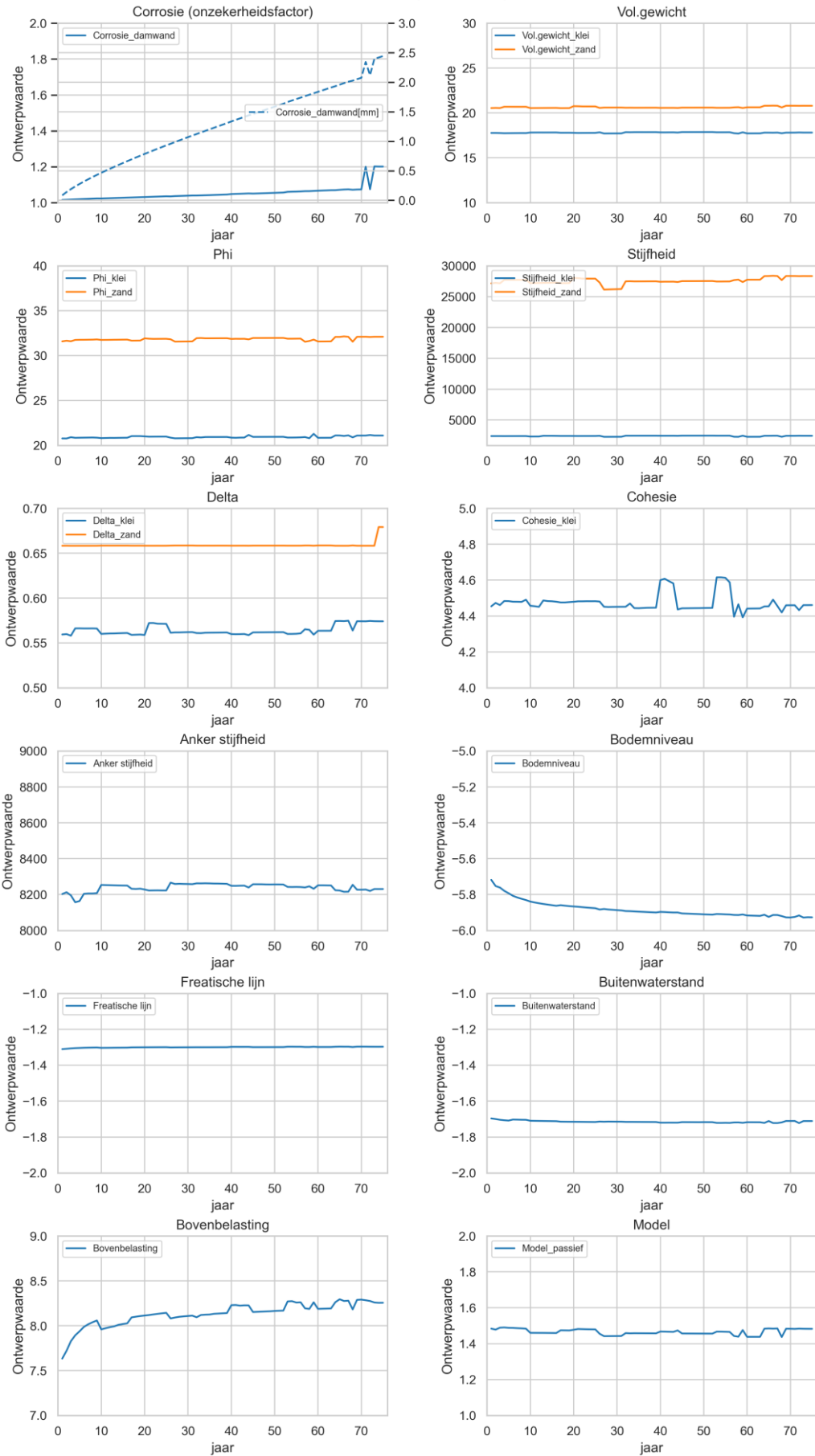
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



### Geo Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

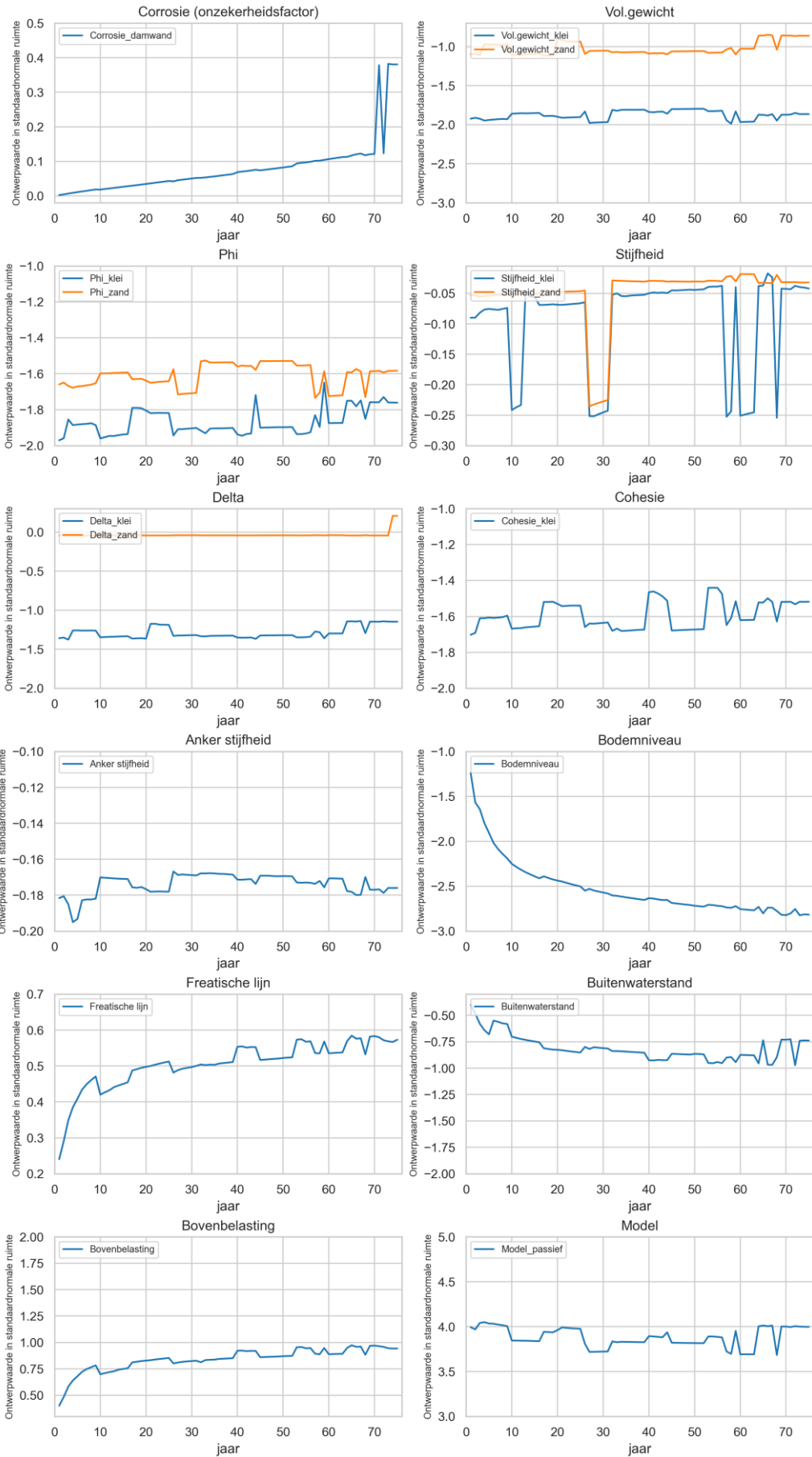


Geo Variant 1 (0,5xBodem)





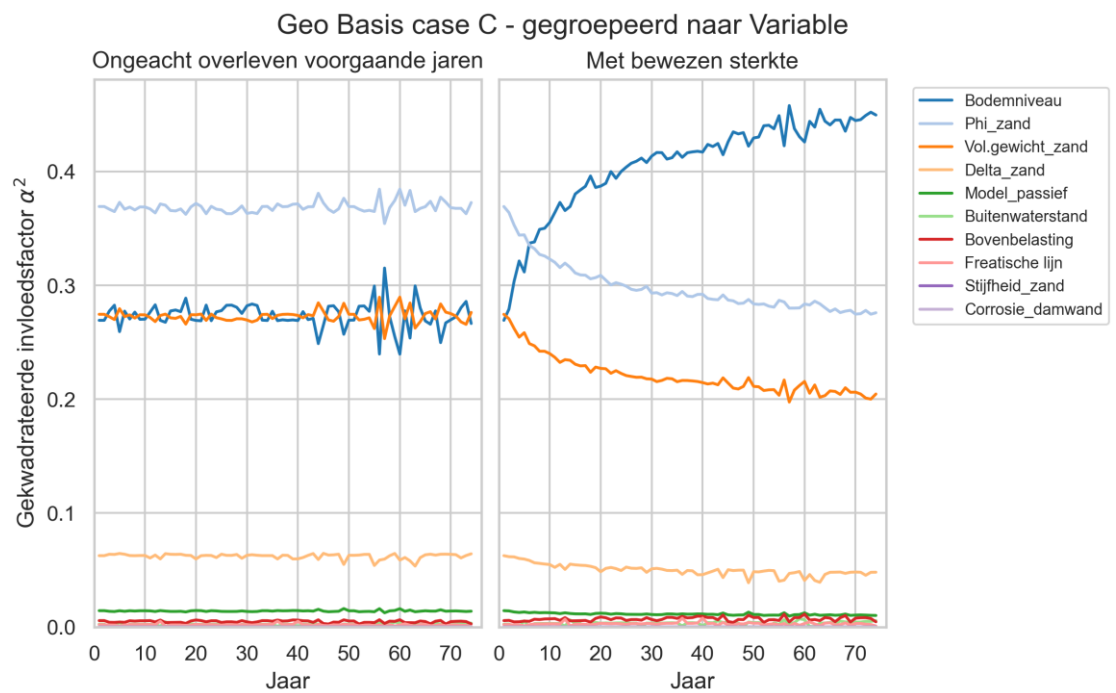
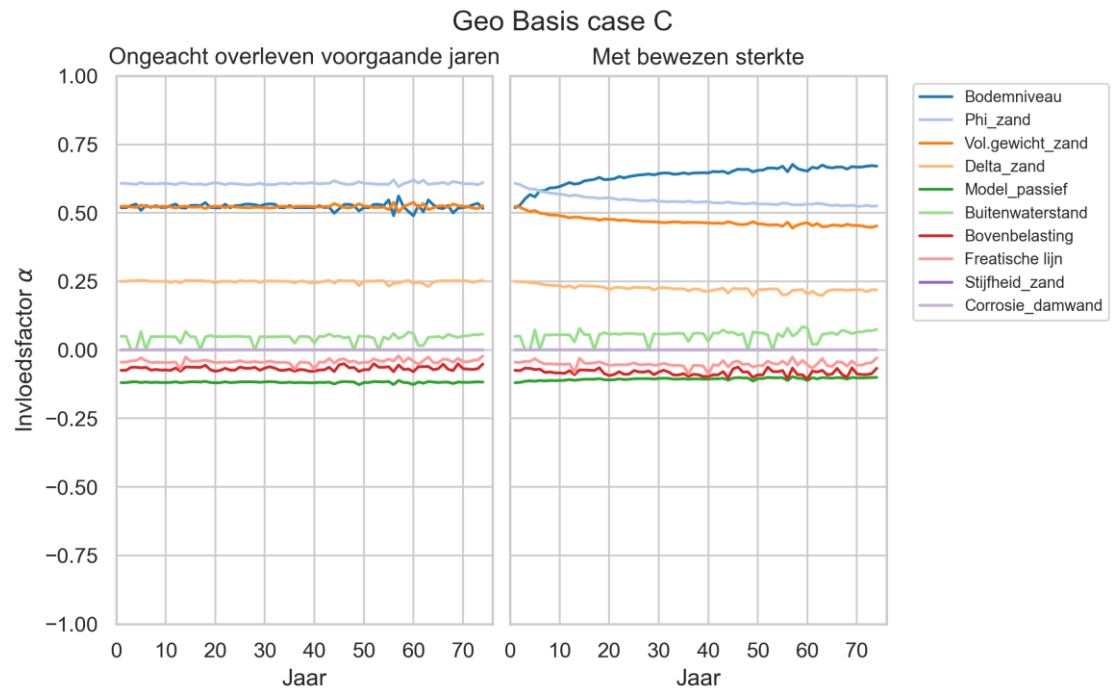
Geo Variant 1 (0,5xBodem)



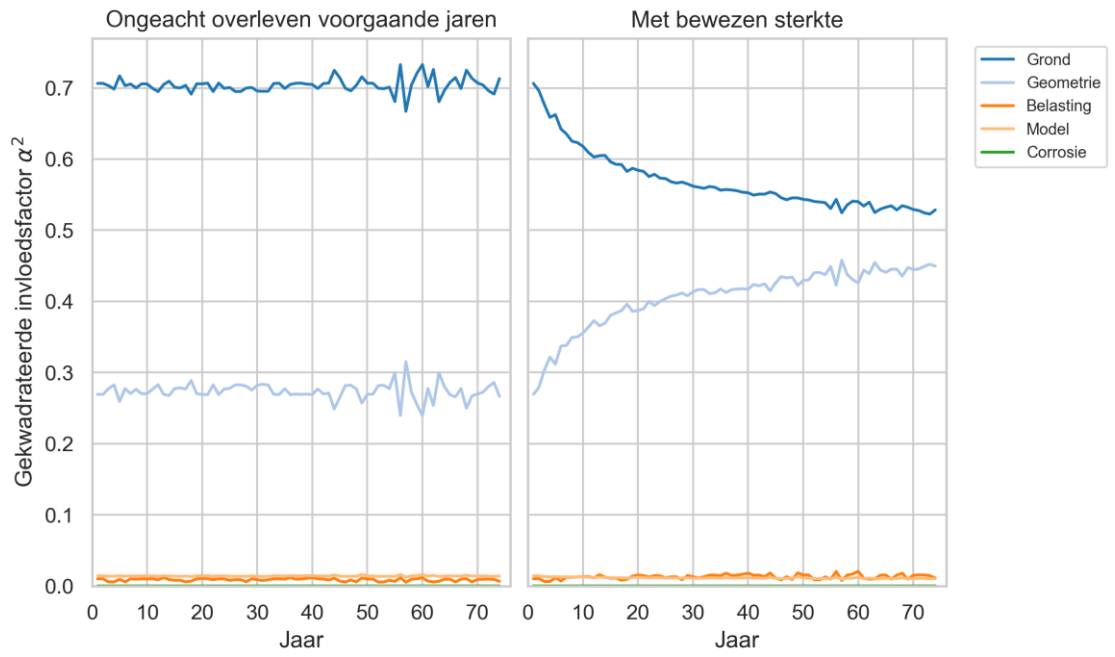
**D.1.6 Case C Onverankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie GEO**

D.1.6.1. GTF-GEO Basis case C:

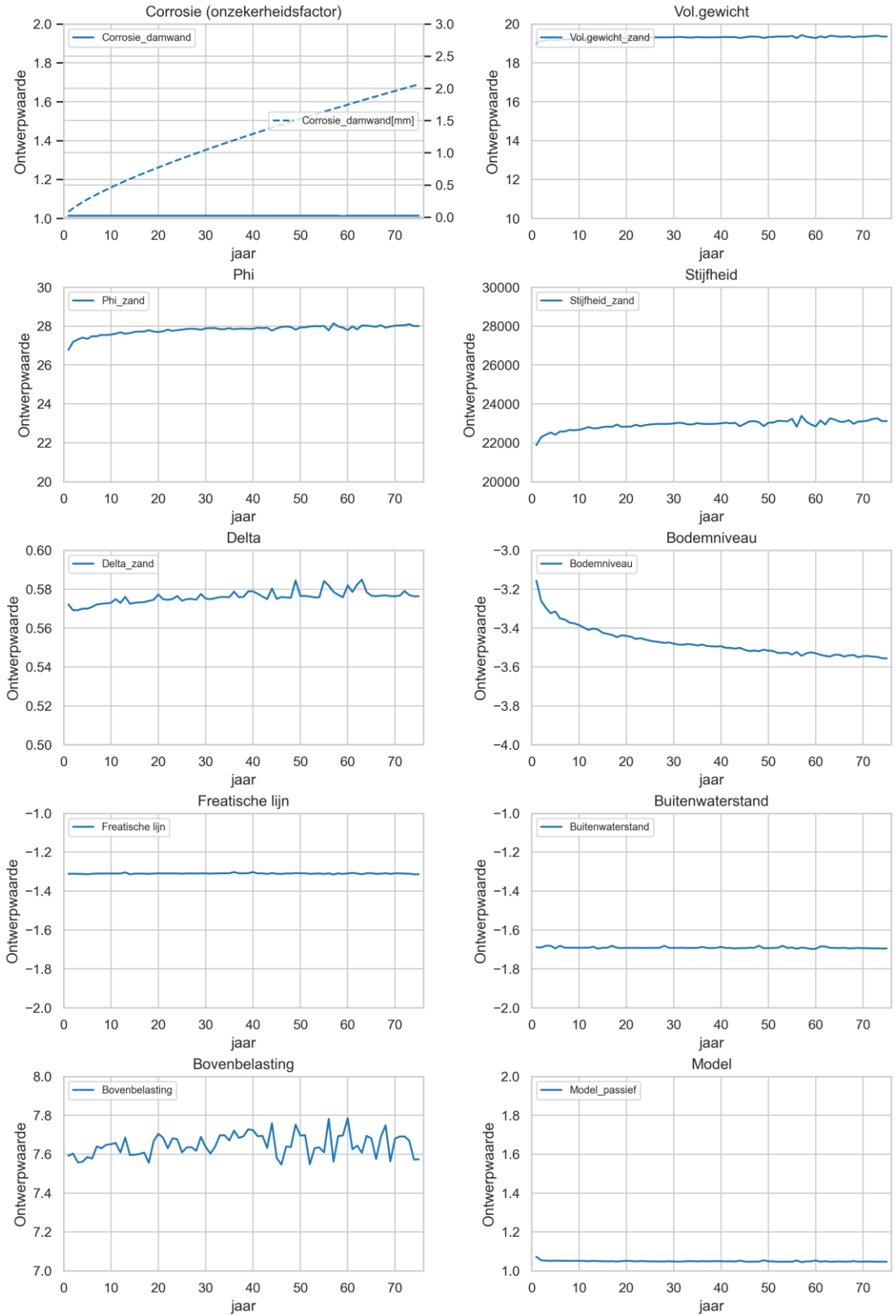
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



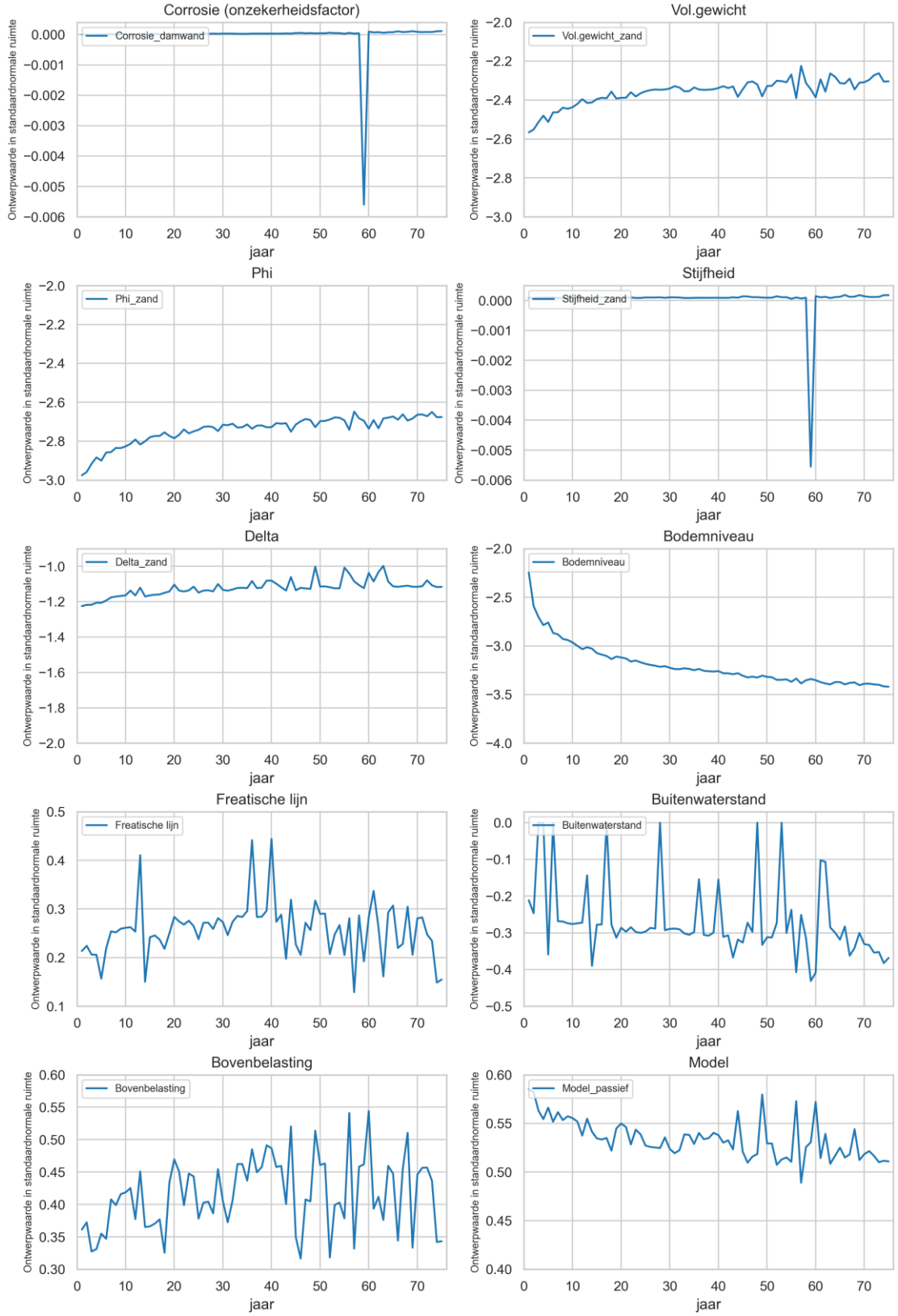
### Geo Basis case C - gegroepeerd naar Variable\_group



Geo Basis case C

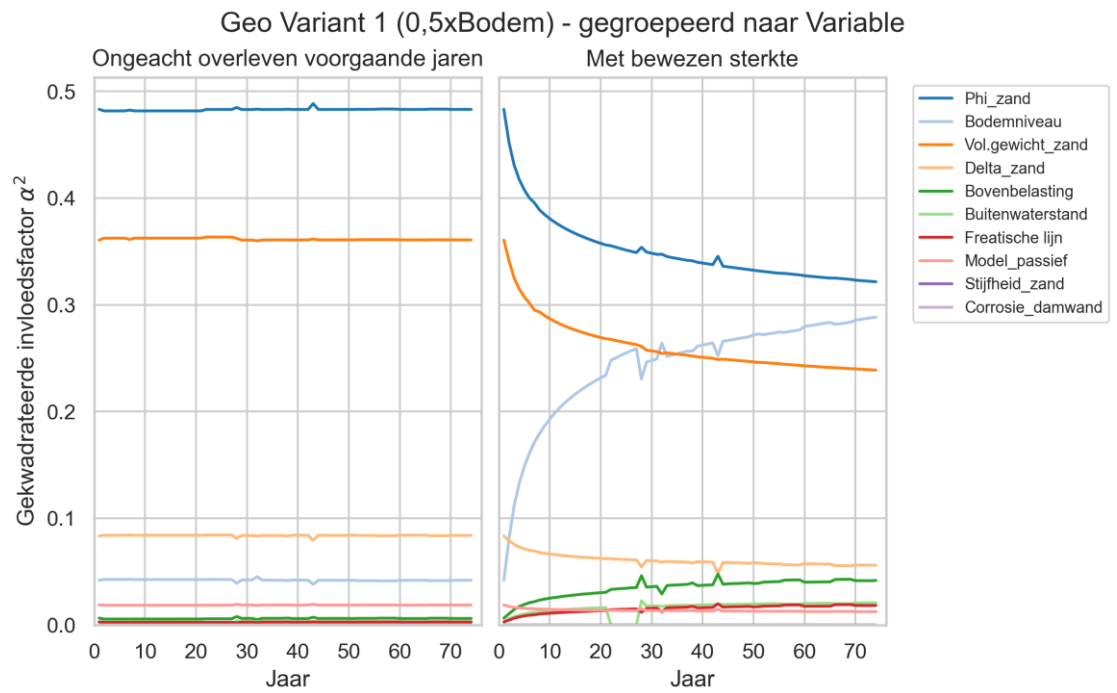


Geo Basis case C

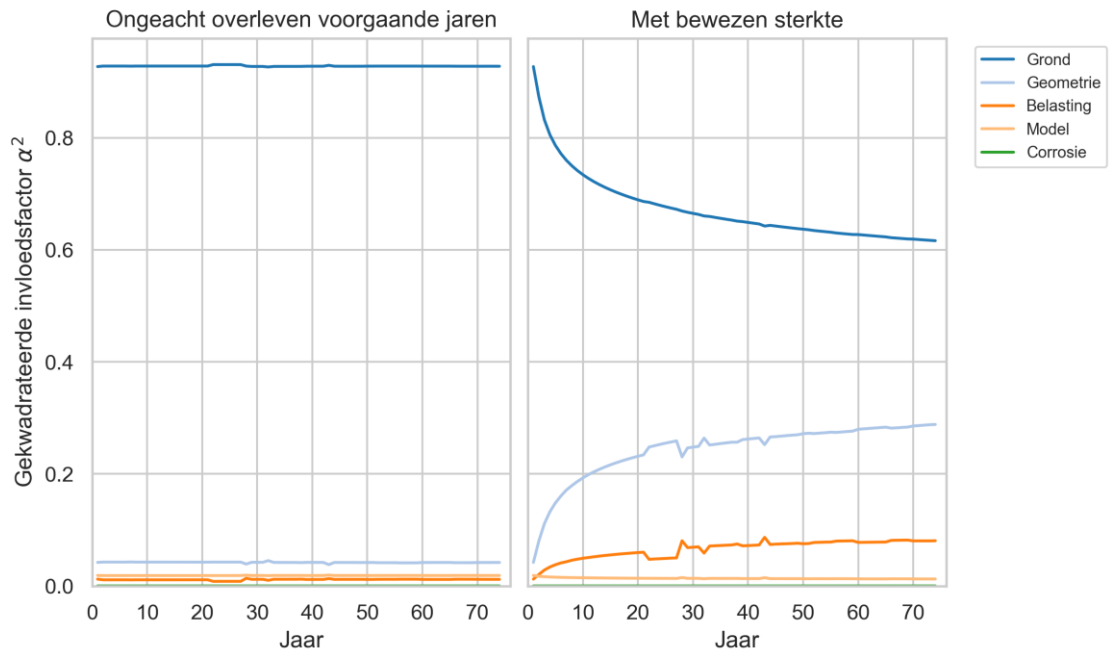


D.1.6.2. GTF-GEO Variant 1 Case C:

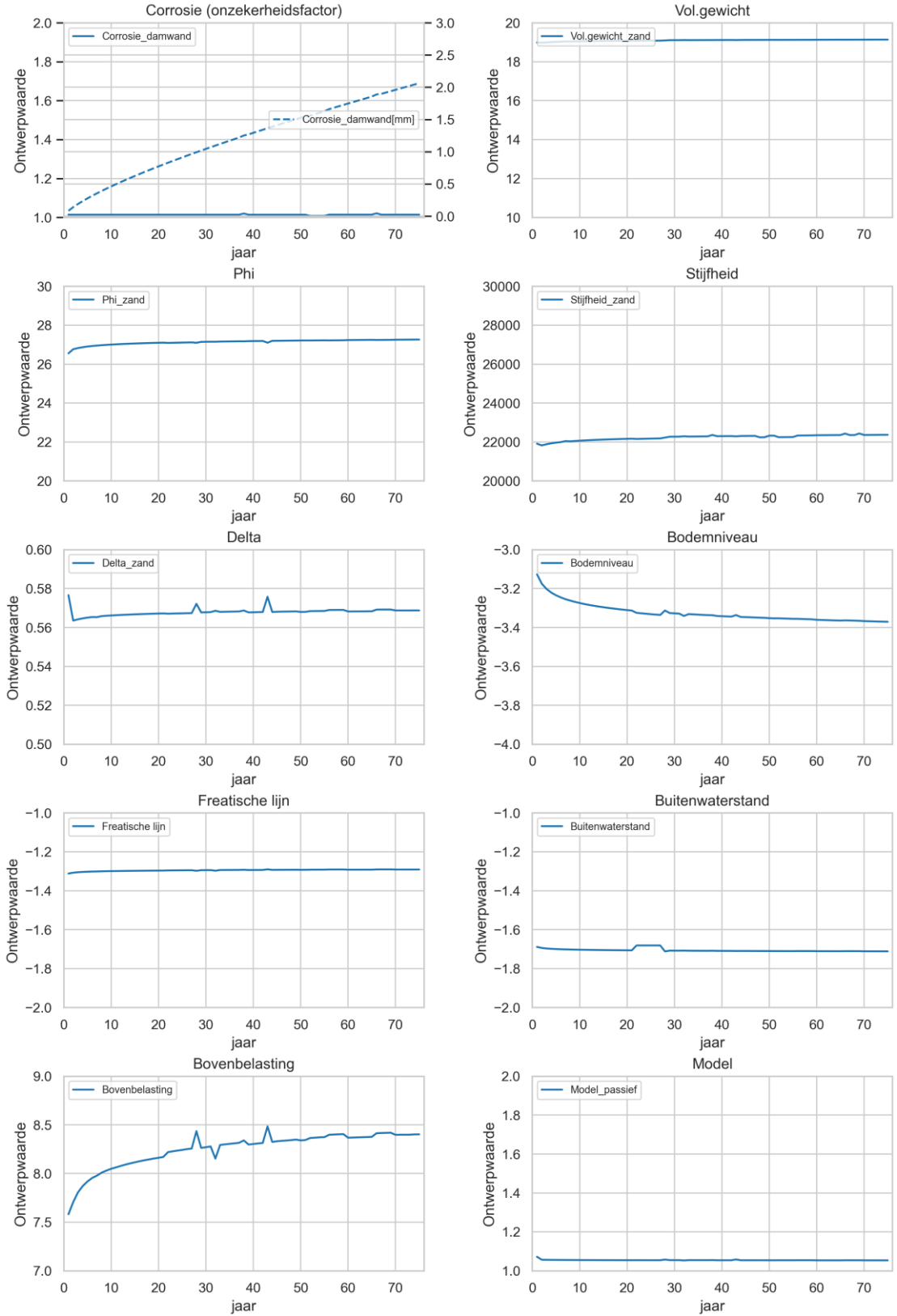
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



### Geo Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

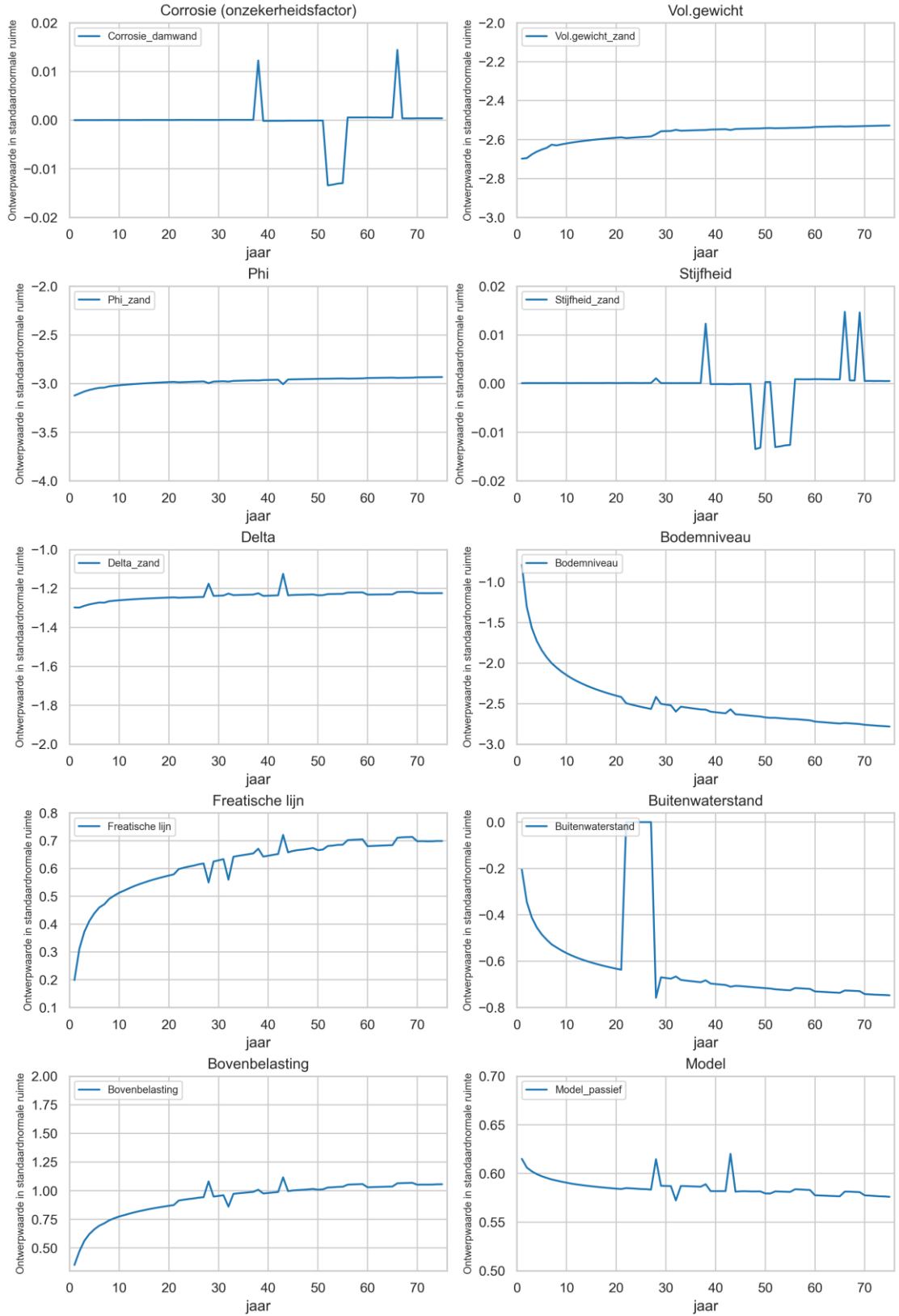


Geo Variant 1 (0,5xBodem)





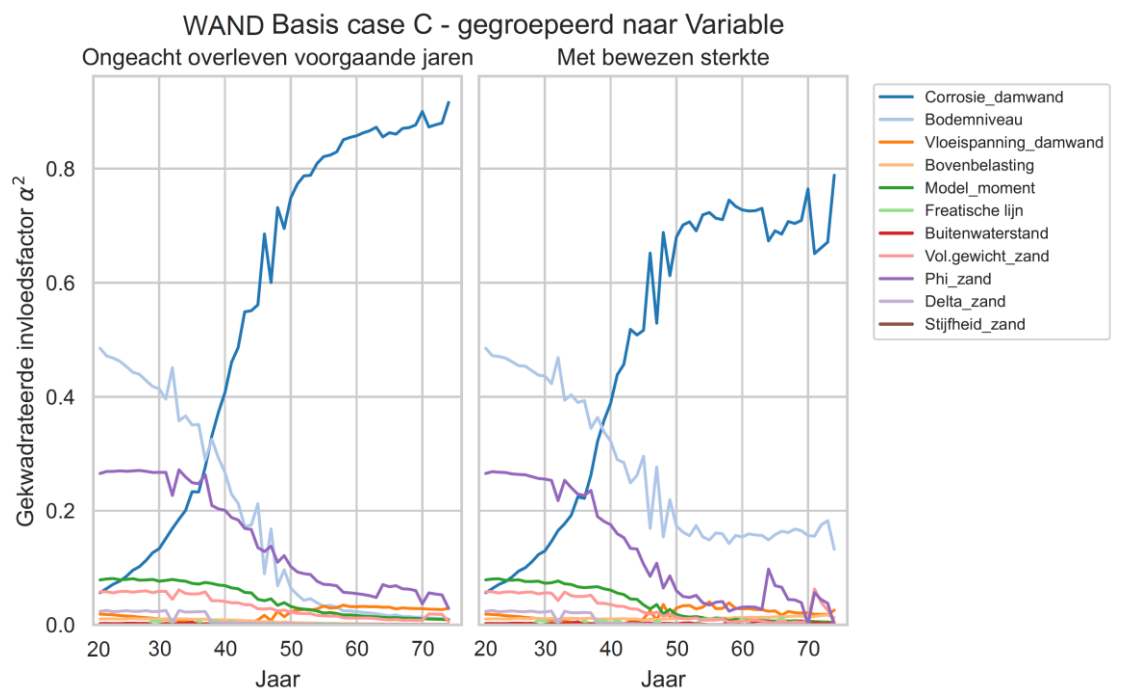
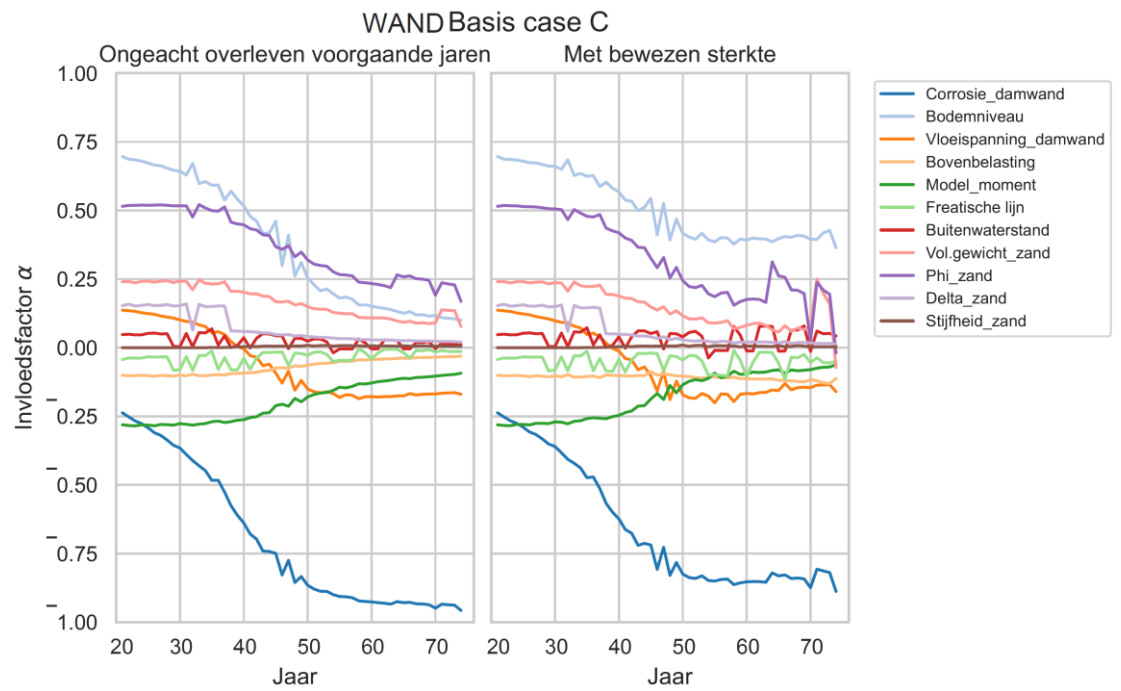
Geo Variant 1 (0,5xBodem)

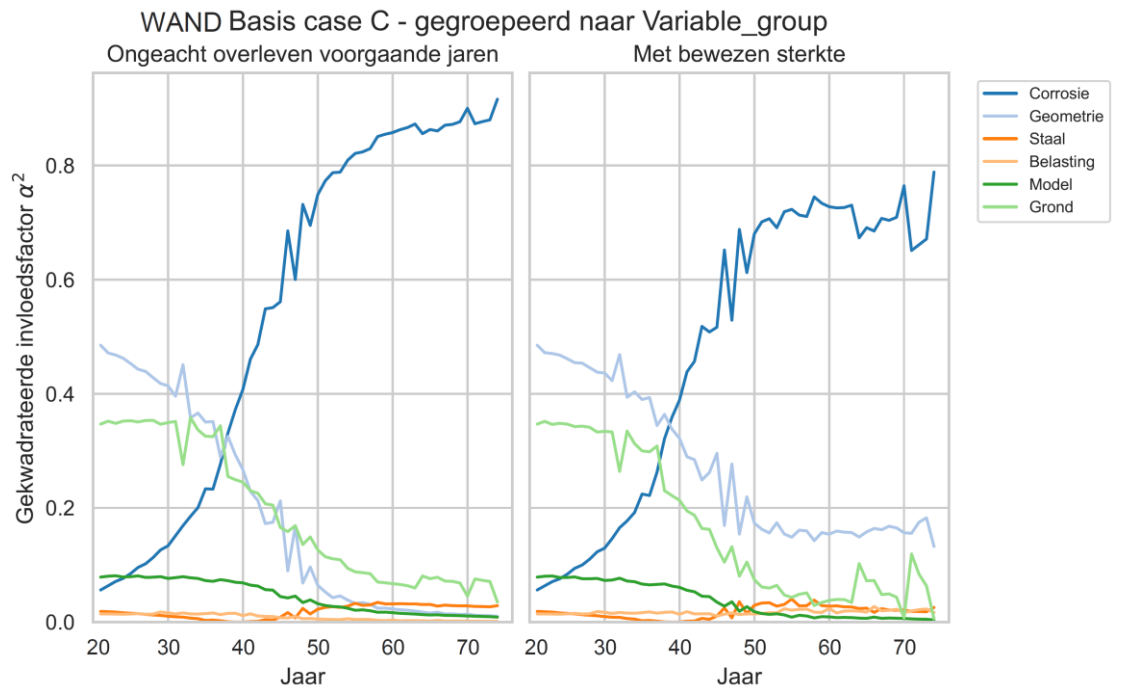


**D.1.7 Case C Onverankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie WAND**

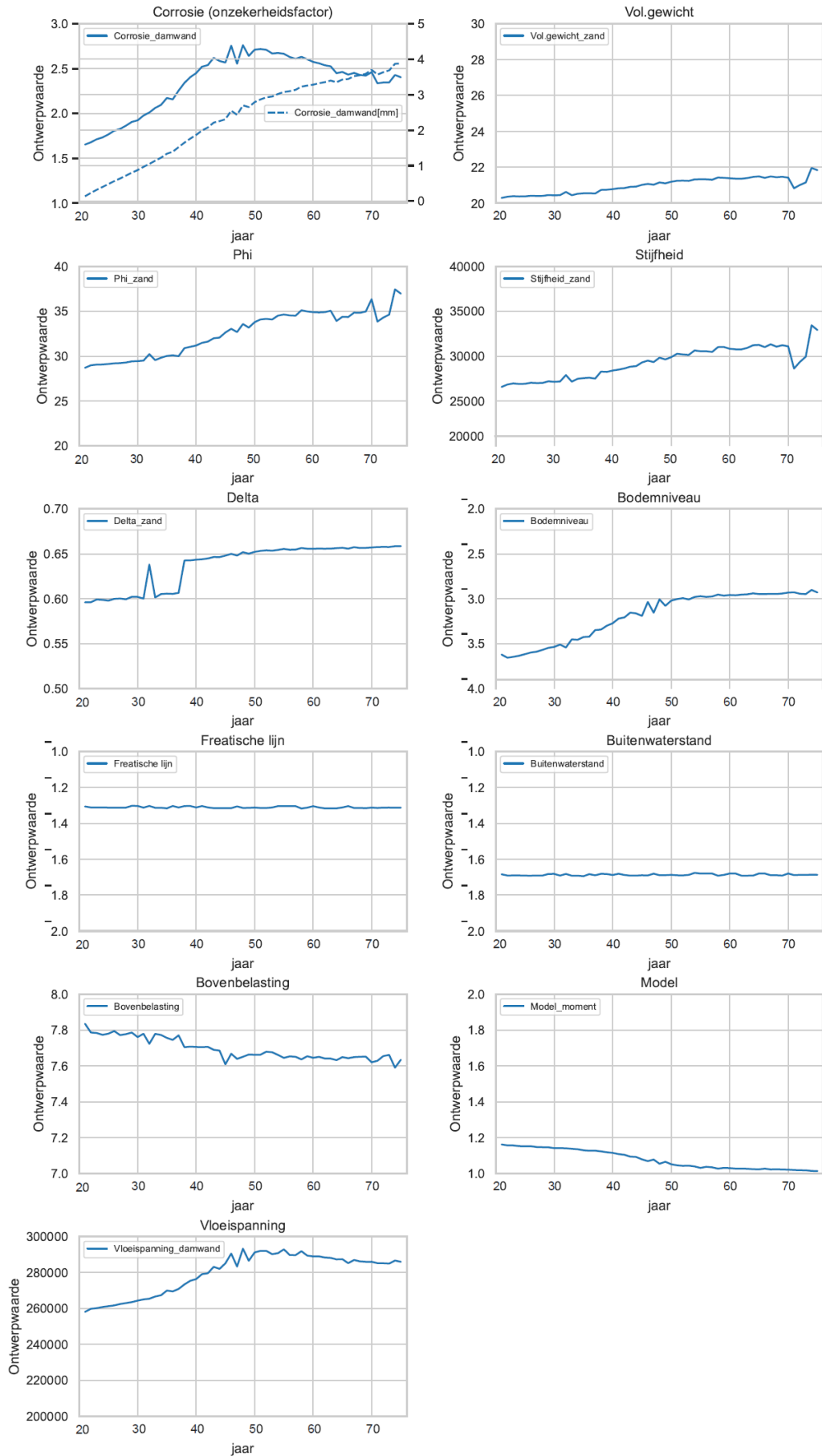
D.1.7.1. GTF-WAND Basis case C:

In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .

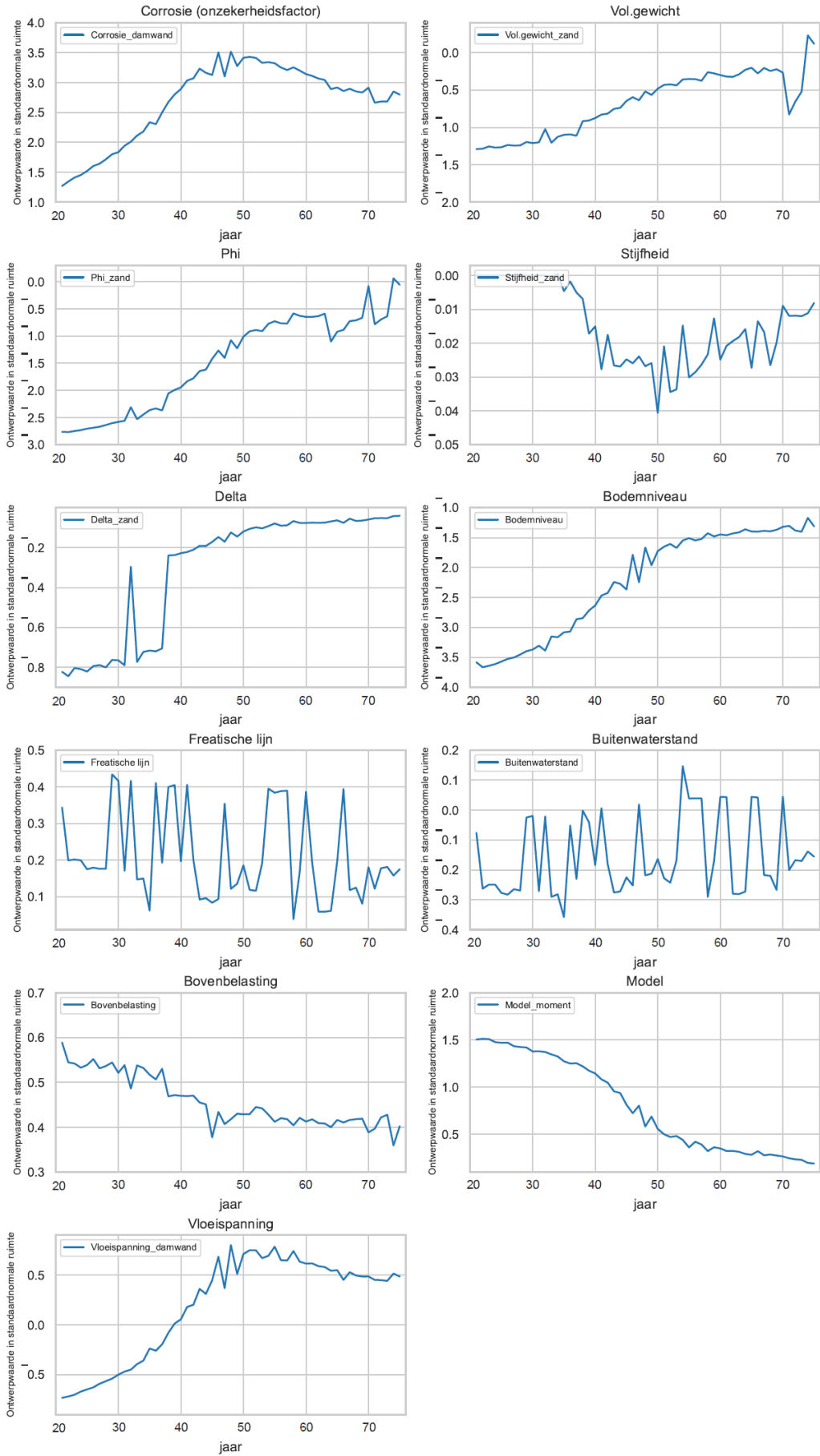




WAND Basis case C

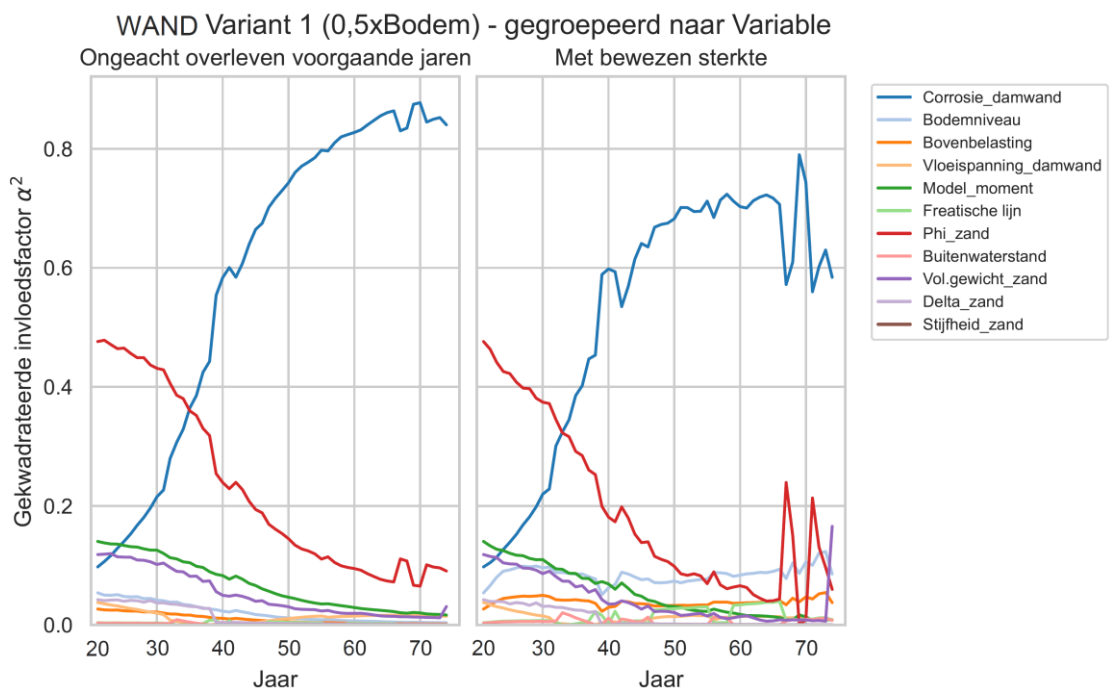
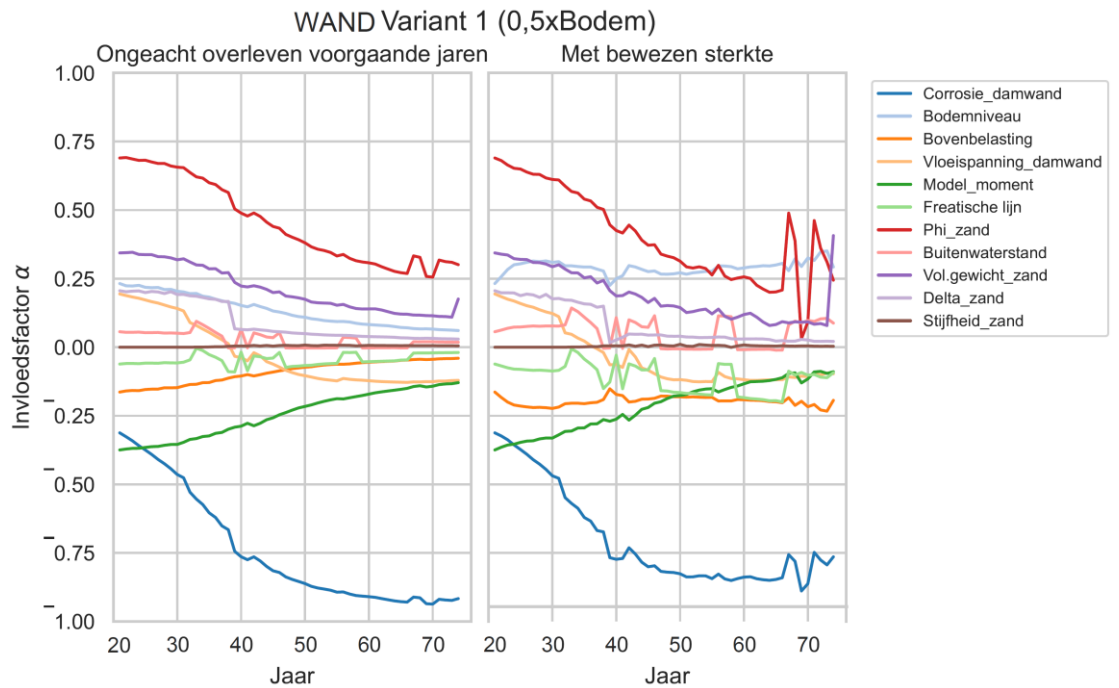


WAND Basis case C

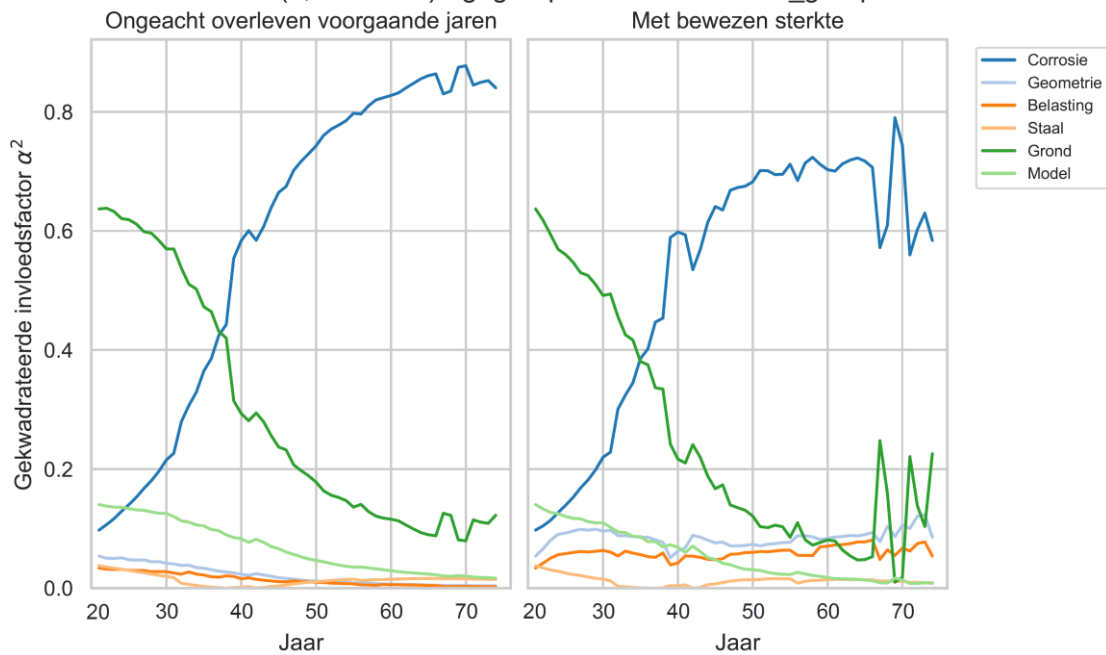


D.1.7.2. GTF-WAND Variant 1 case C:

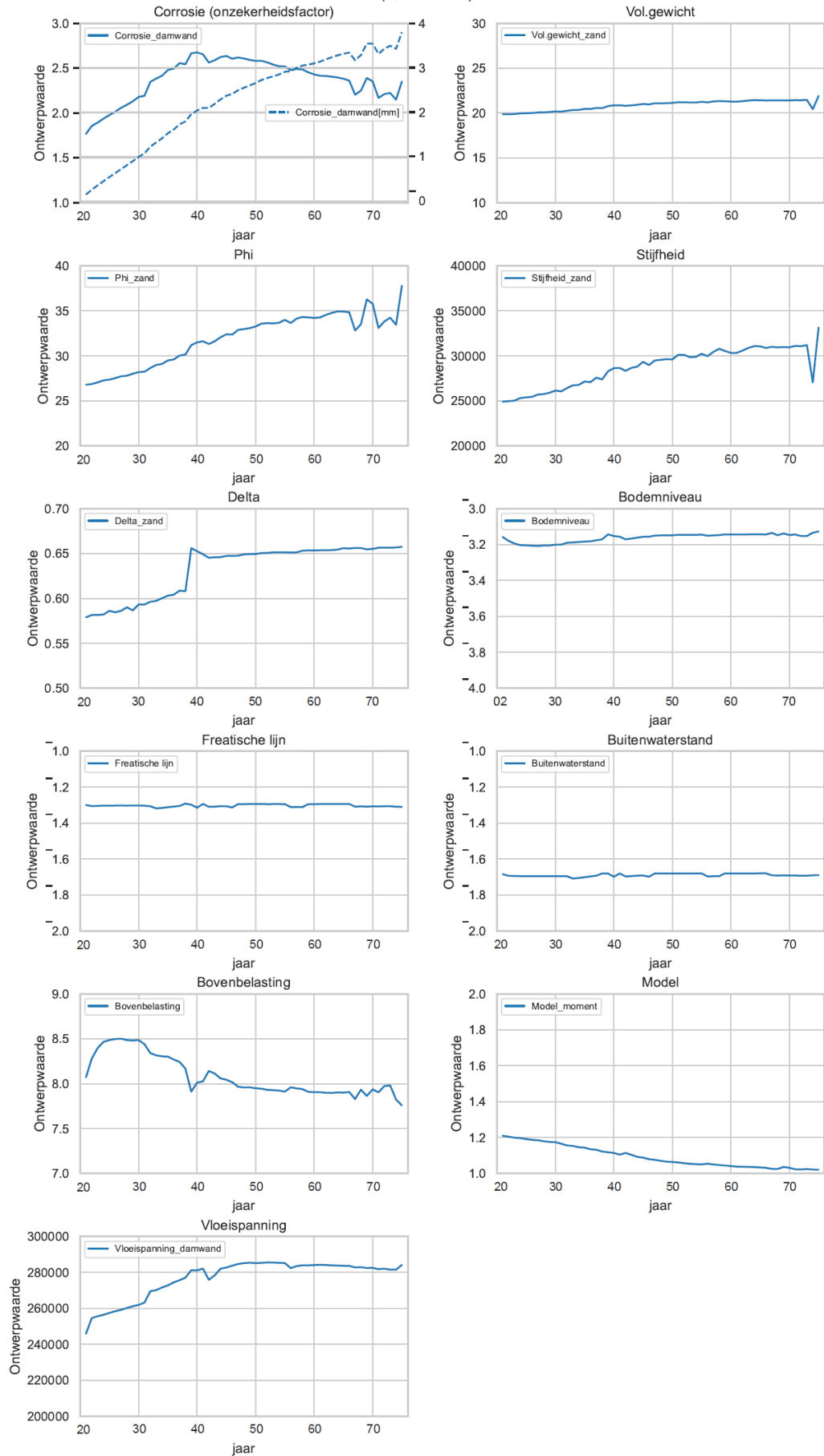
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



### WAND Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

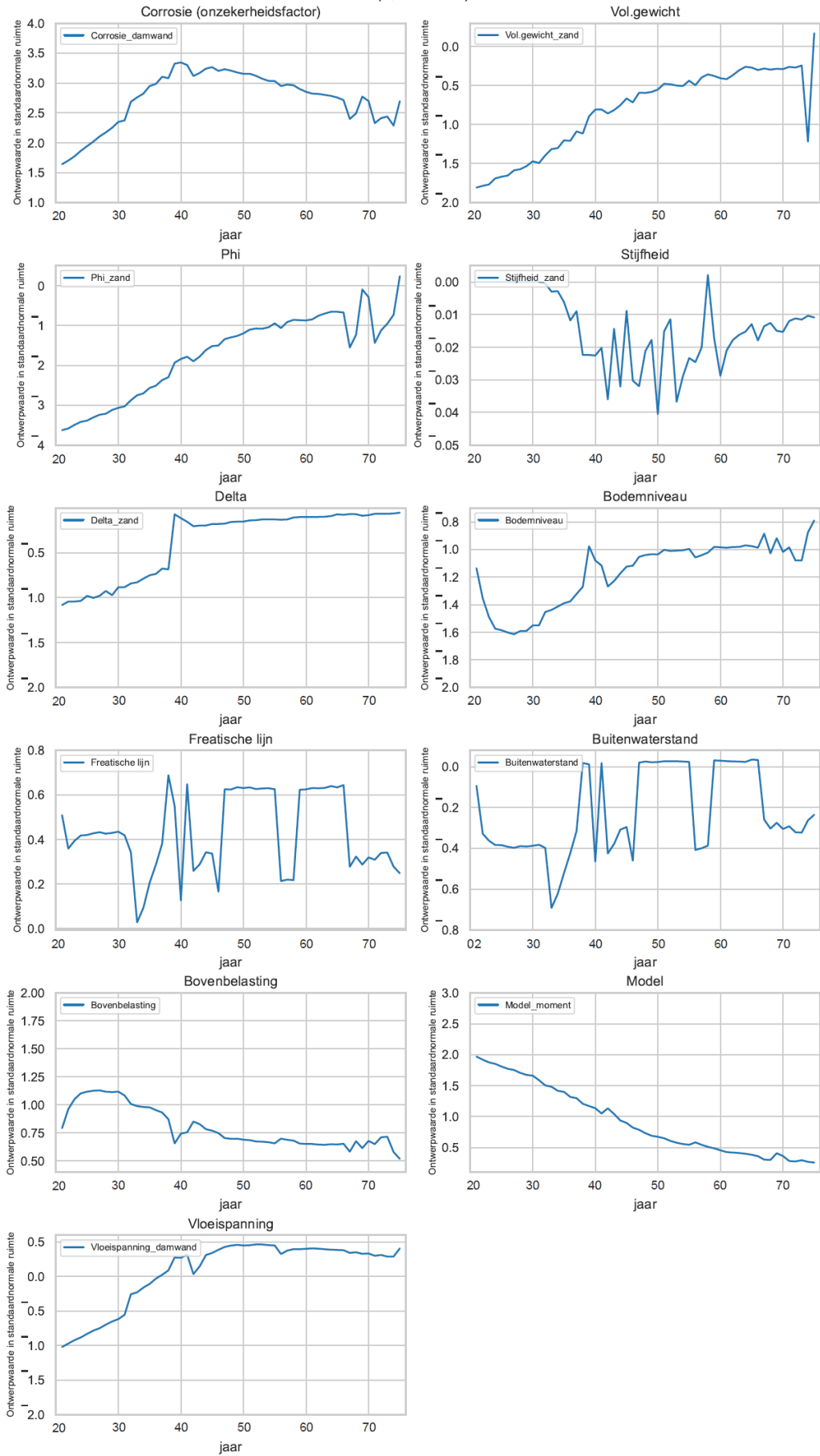


WAND Variant 1 (0,5xBodem)



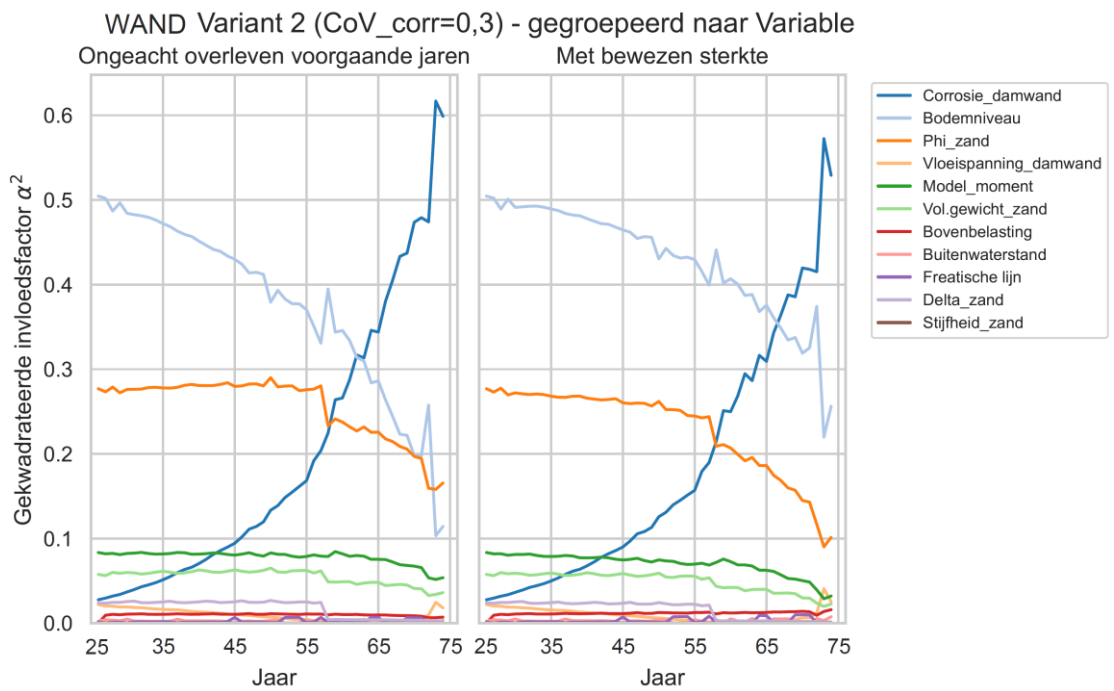
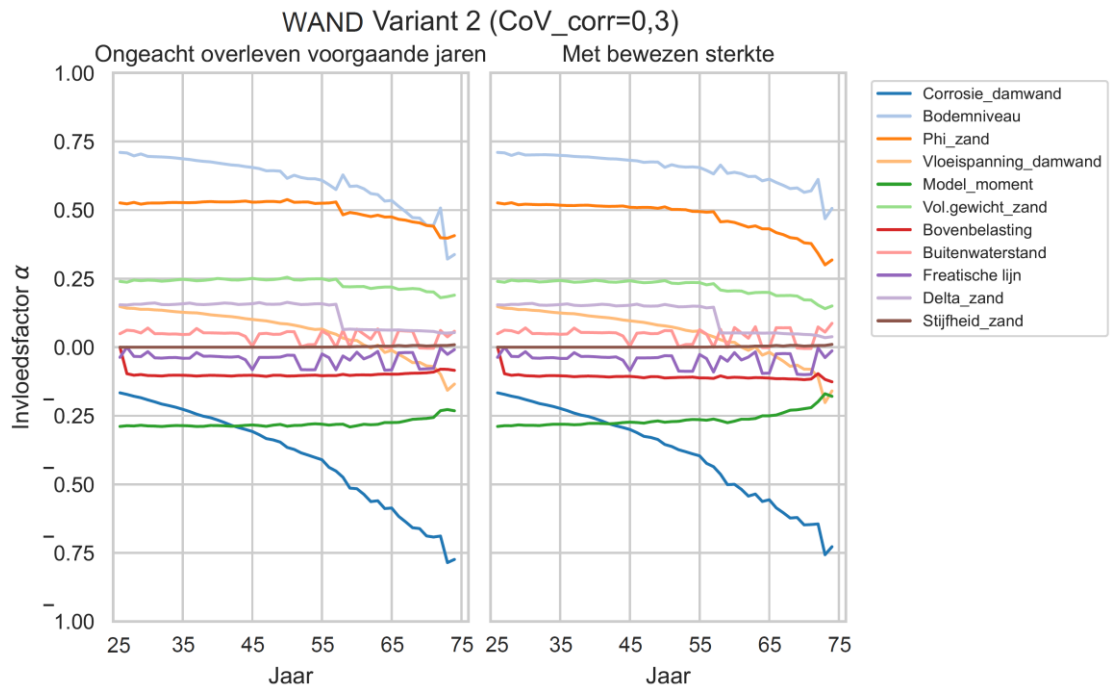


WAND Variant 1 (0,5xBodem)

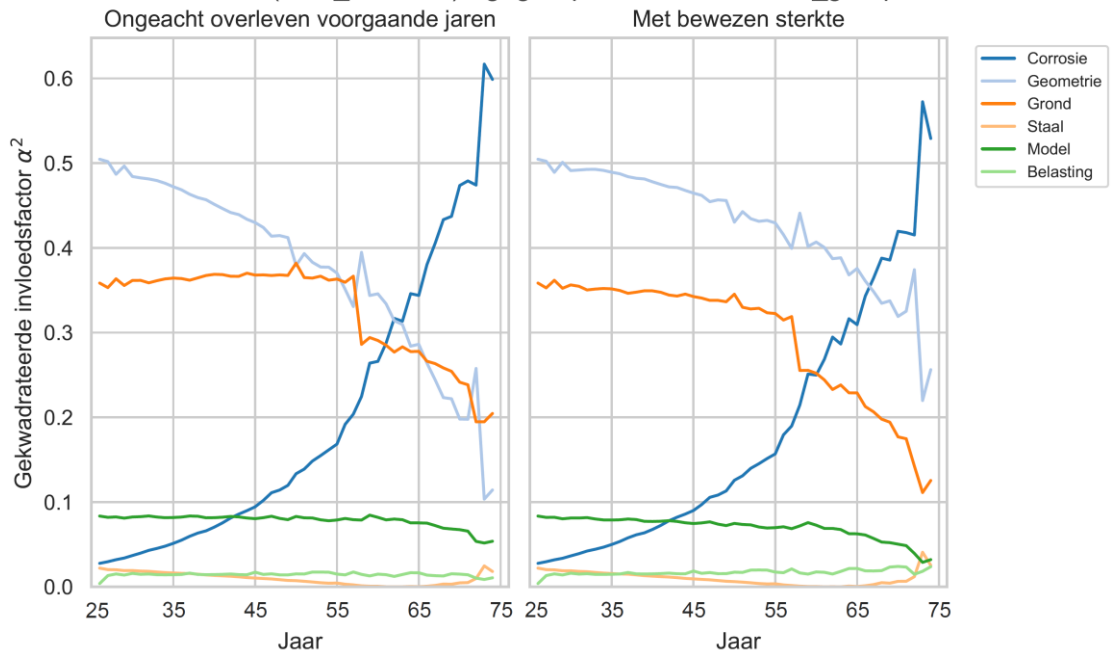


D.1.7.3. GTF-WAND Variant 2 case C

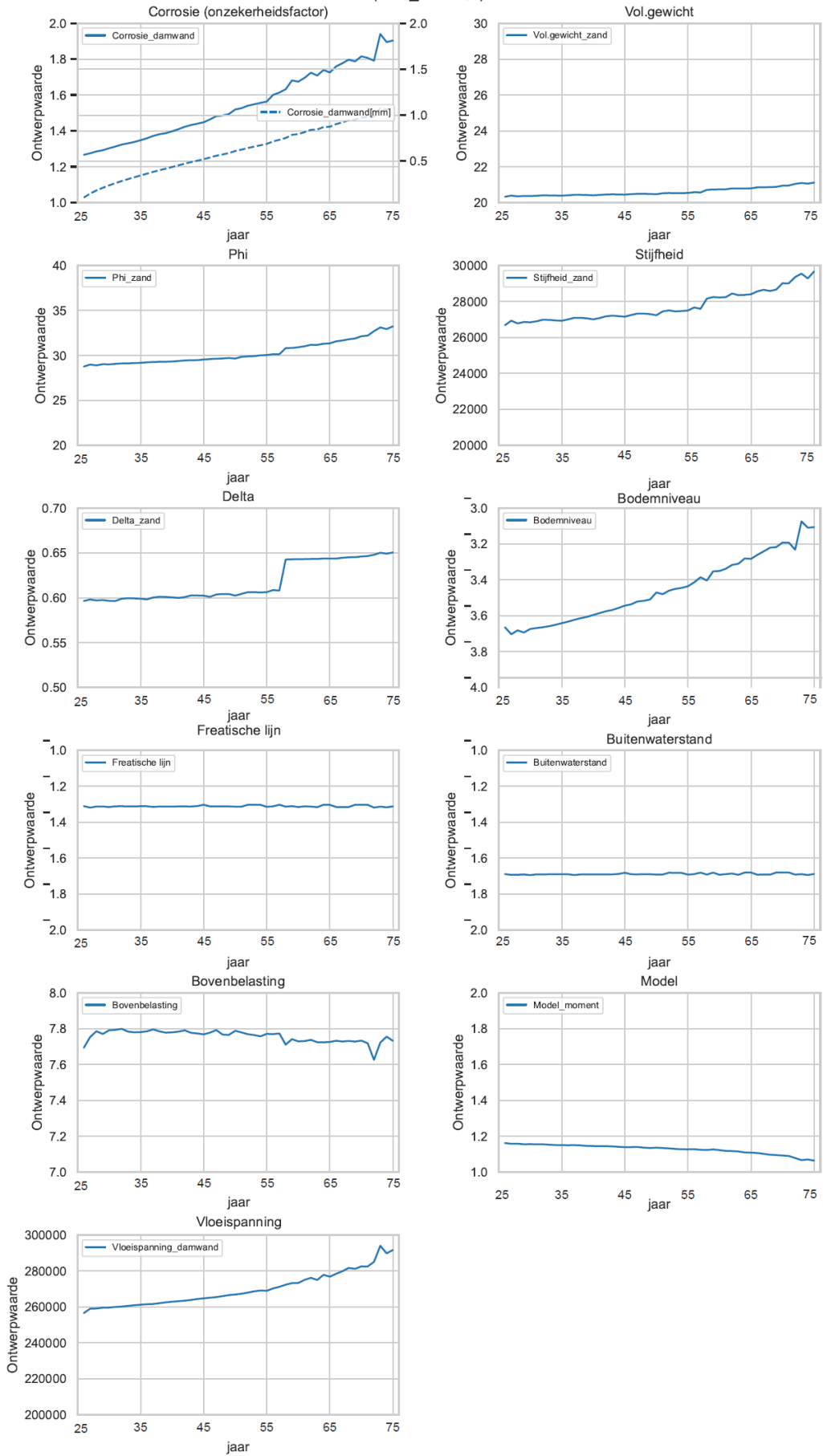
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



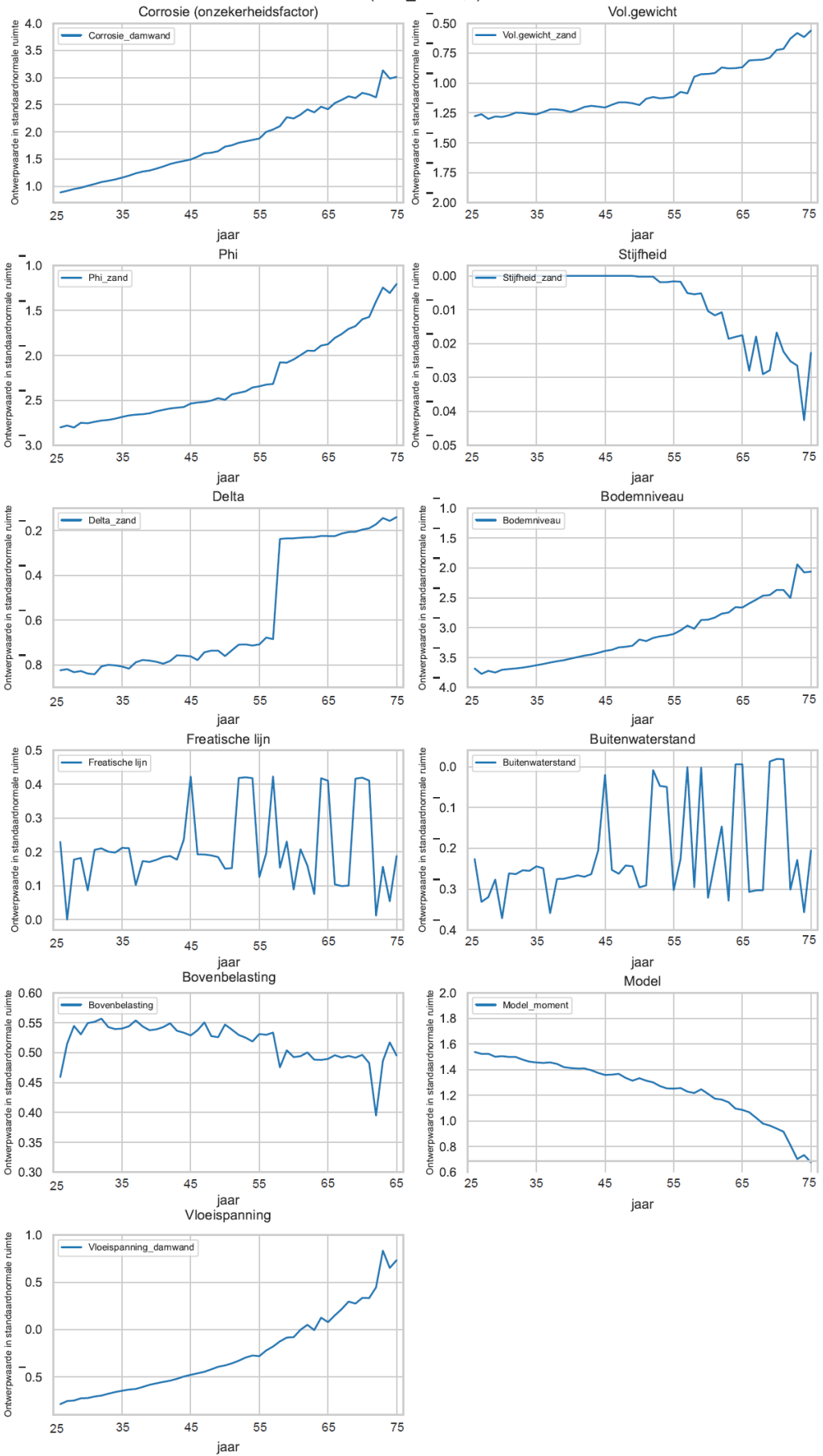
WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3) - gegroepeerd naar Variable\_group



WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3)

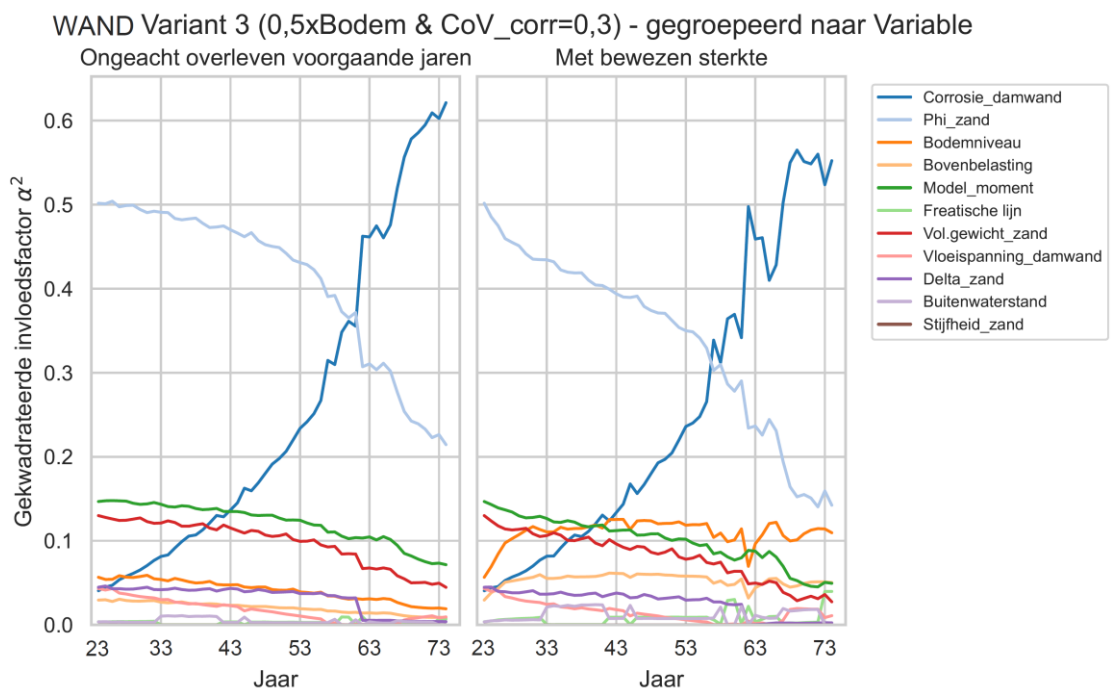
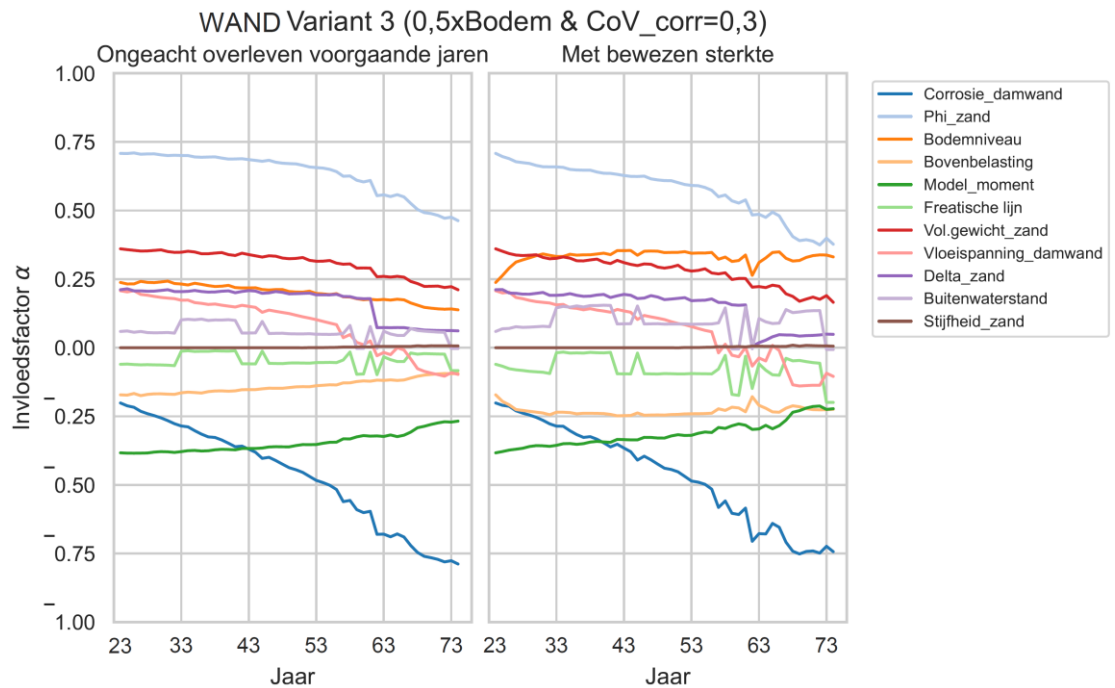


WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3)

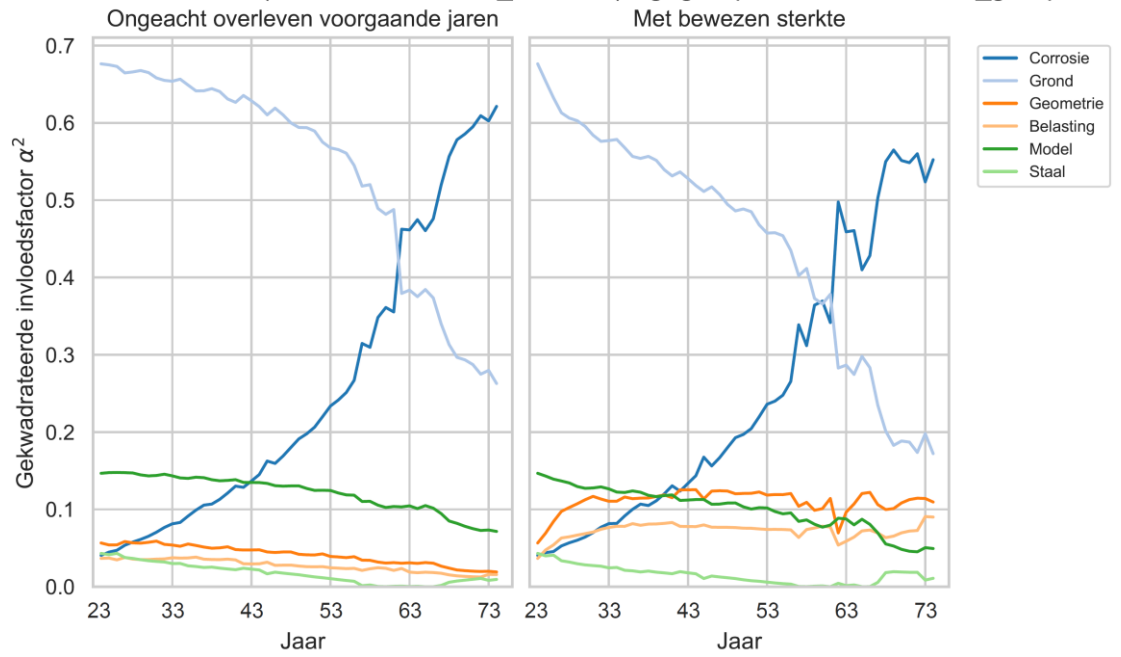


D.1.7.4. GTF-WAND Variant 3 case C:

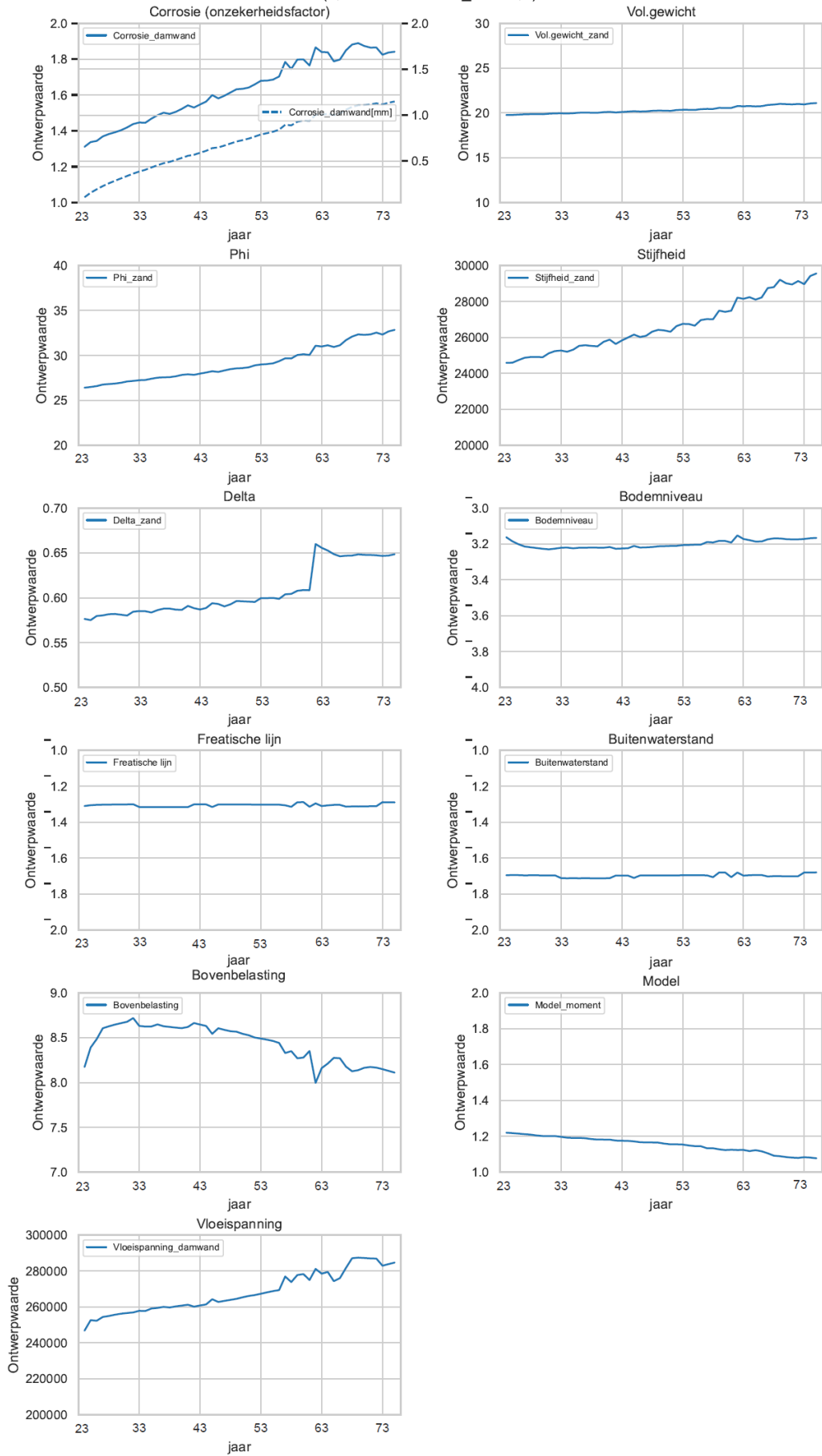
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3) - gegroepeerd naar Variable\_group

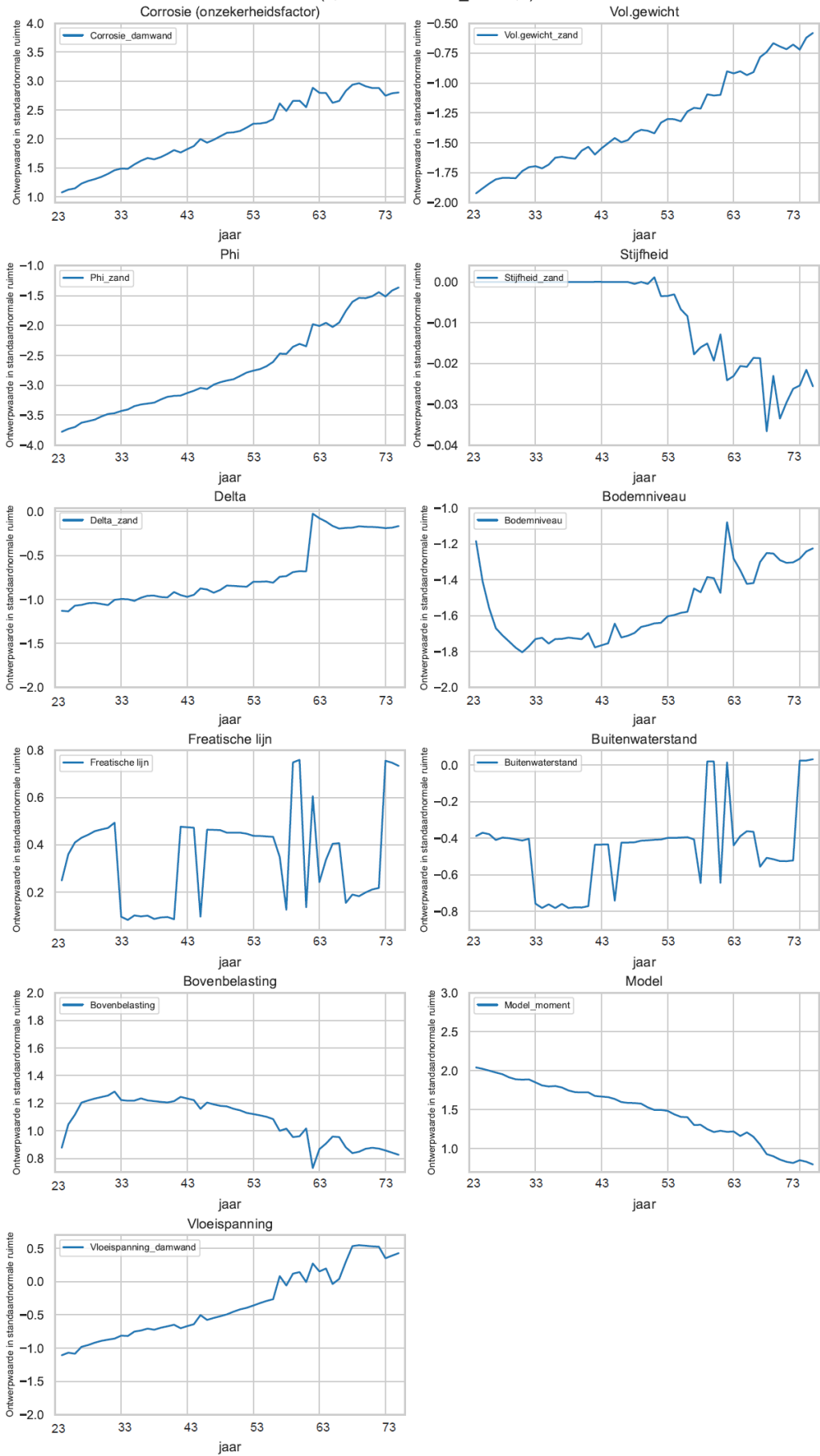


WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3)





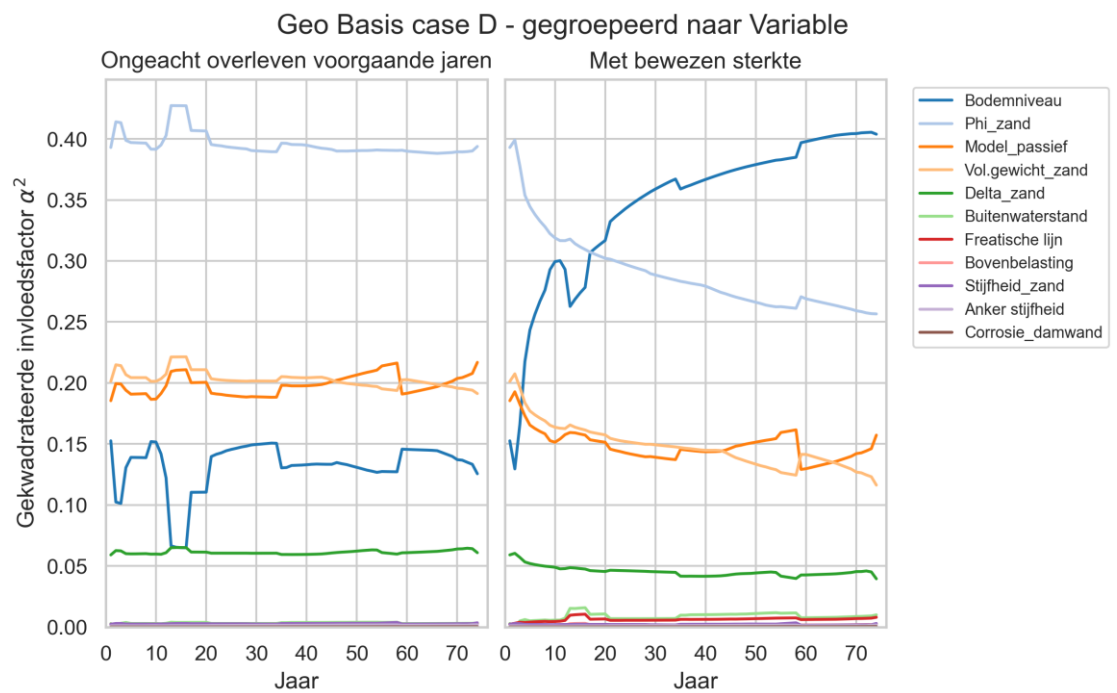
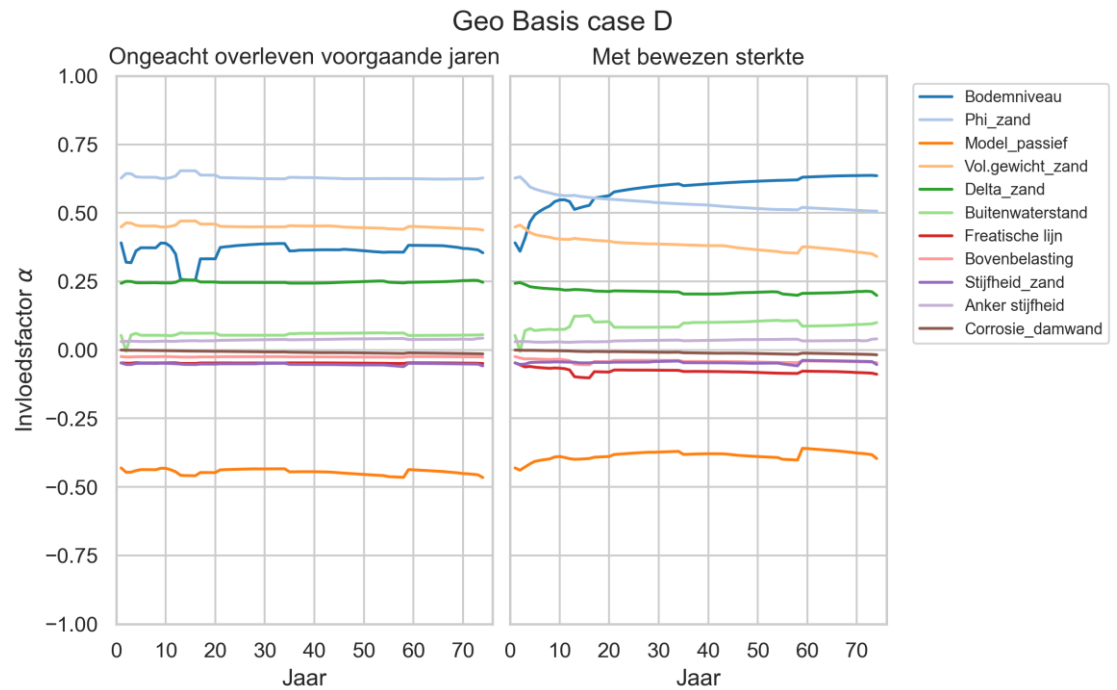
WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3)



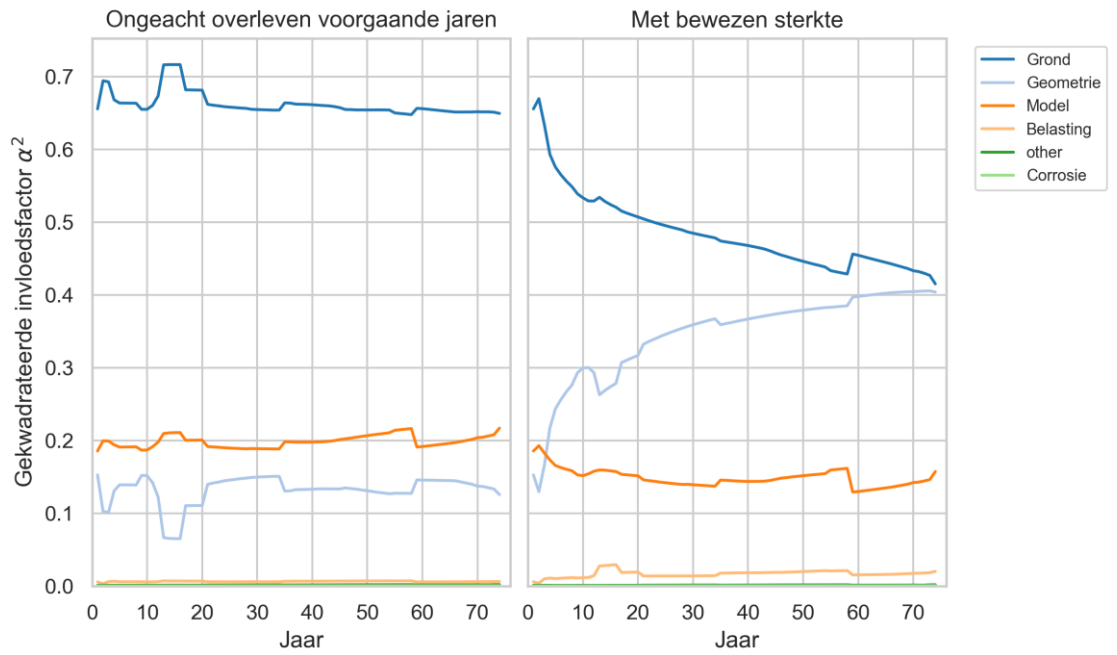
**D.1.8 Case D Verankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie GEO**

D.1.8.1. D GTF-GEO Basis case:

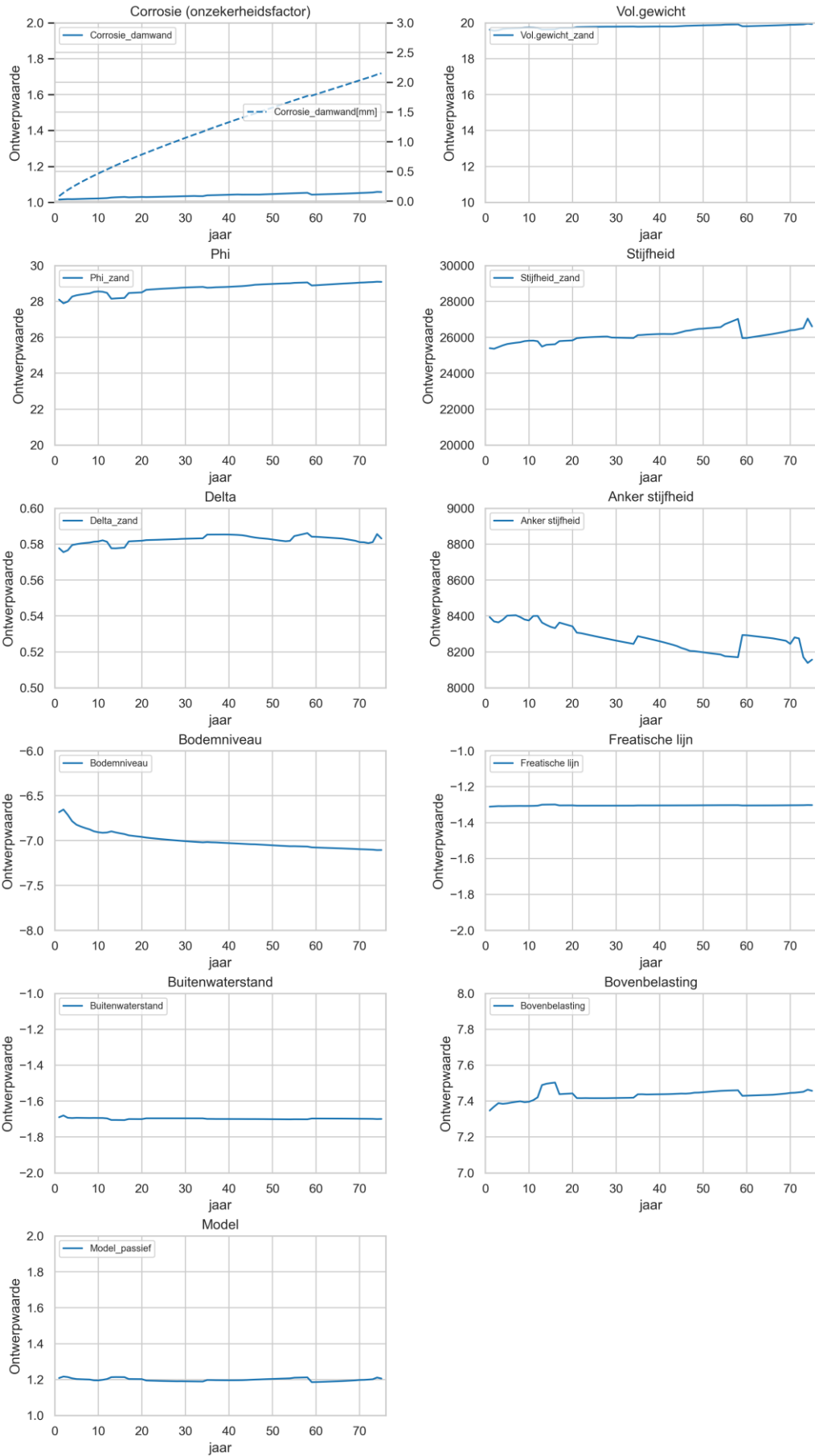
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



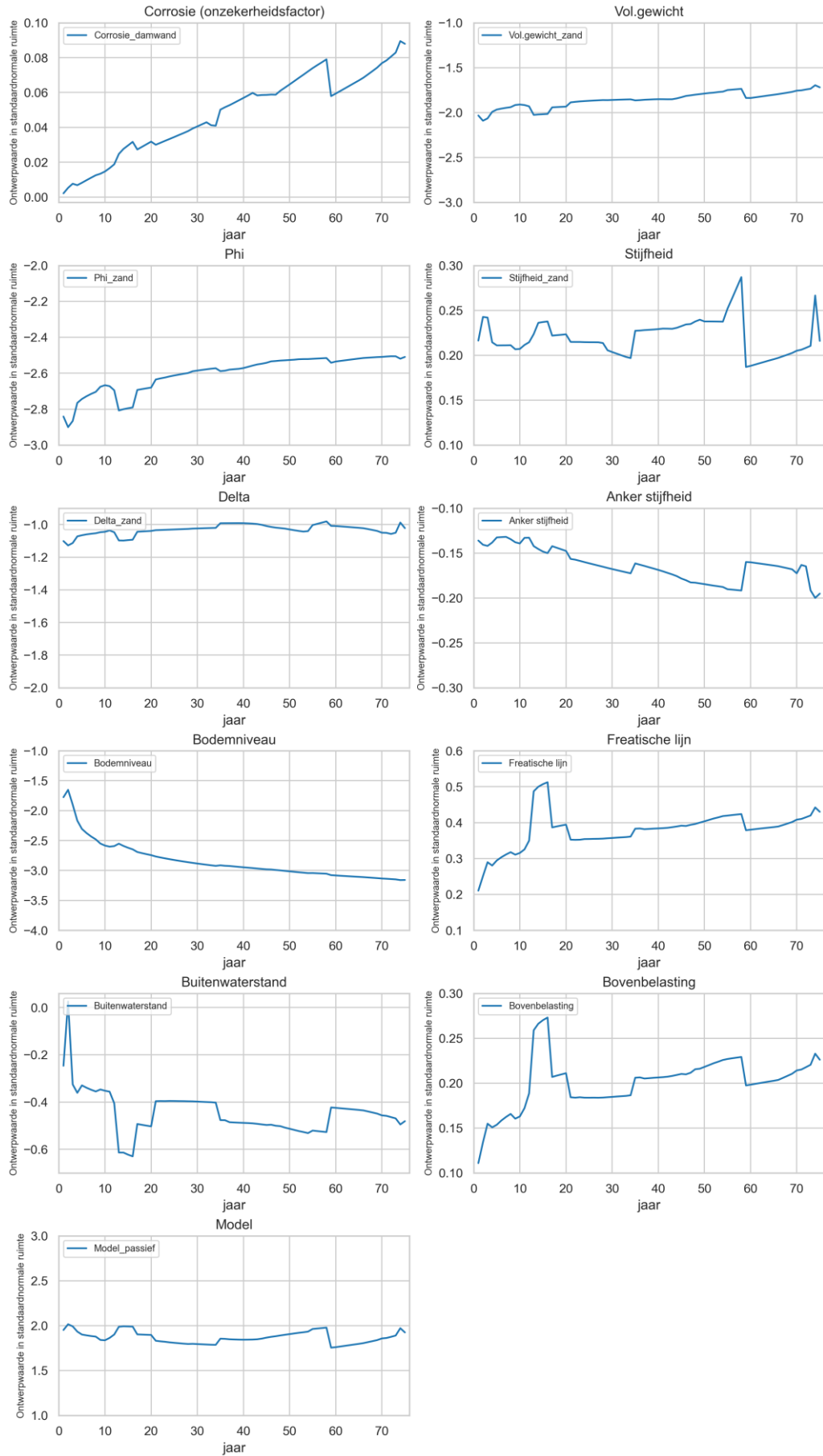
### Geo Basis case D - gegroepeerd naar Variable\_group



Geo Basis case D

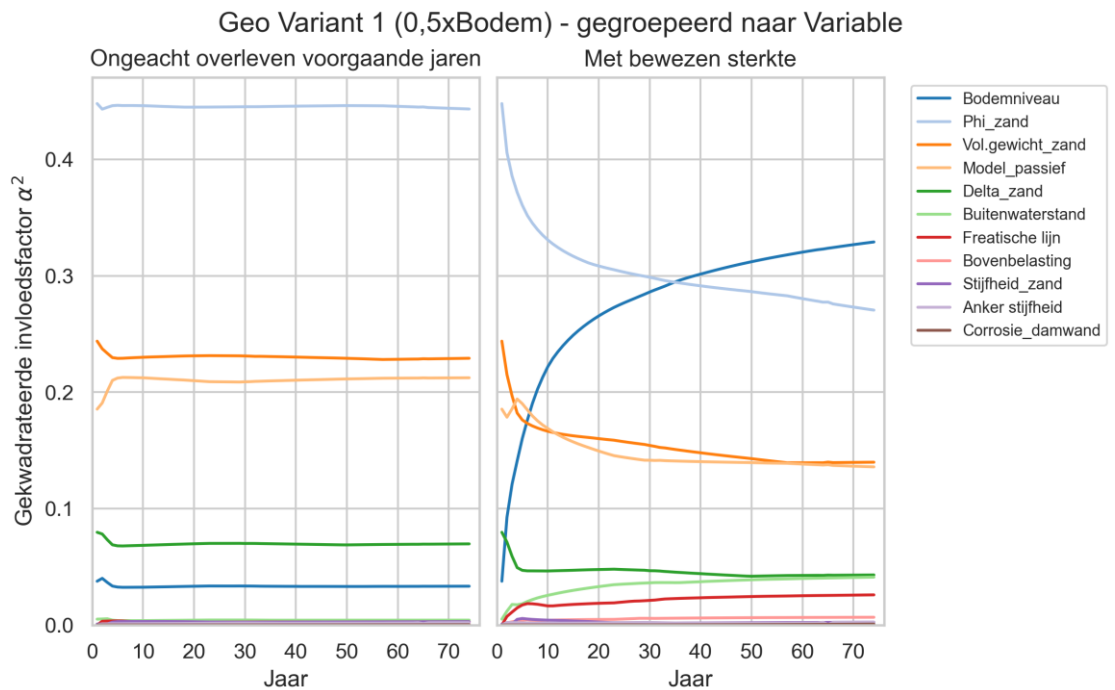
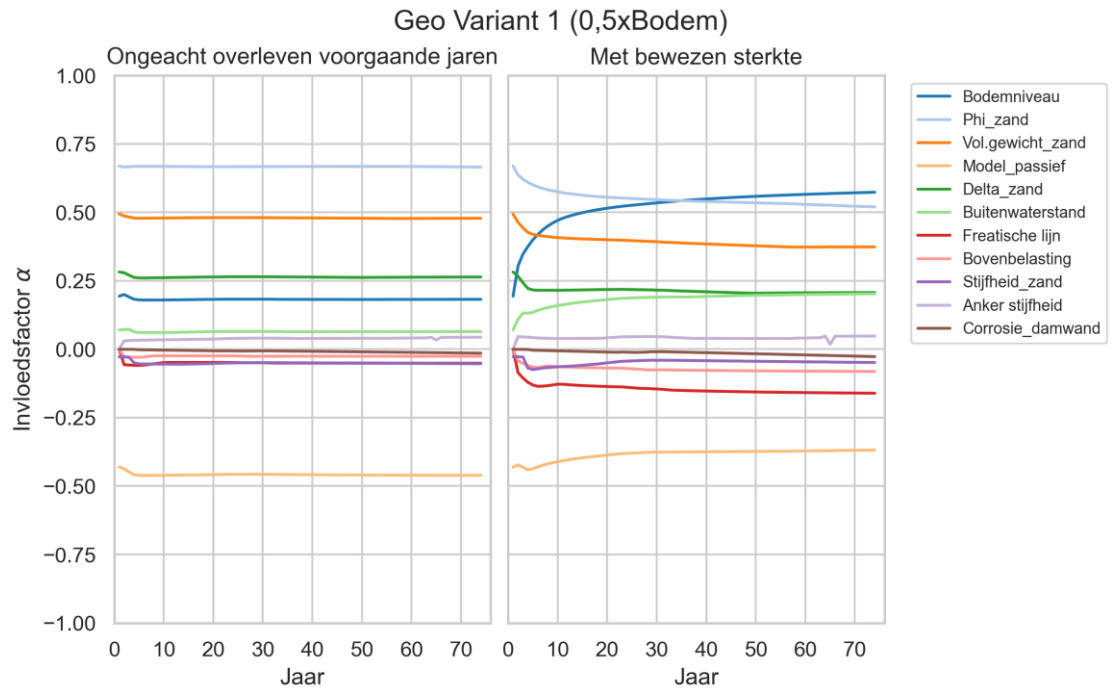


Geo Basis case D

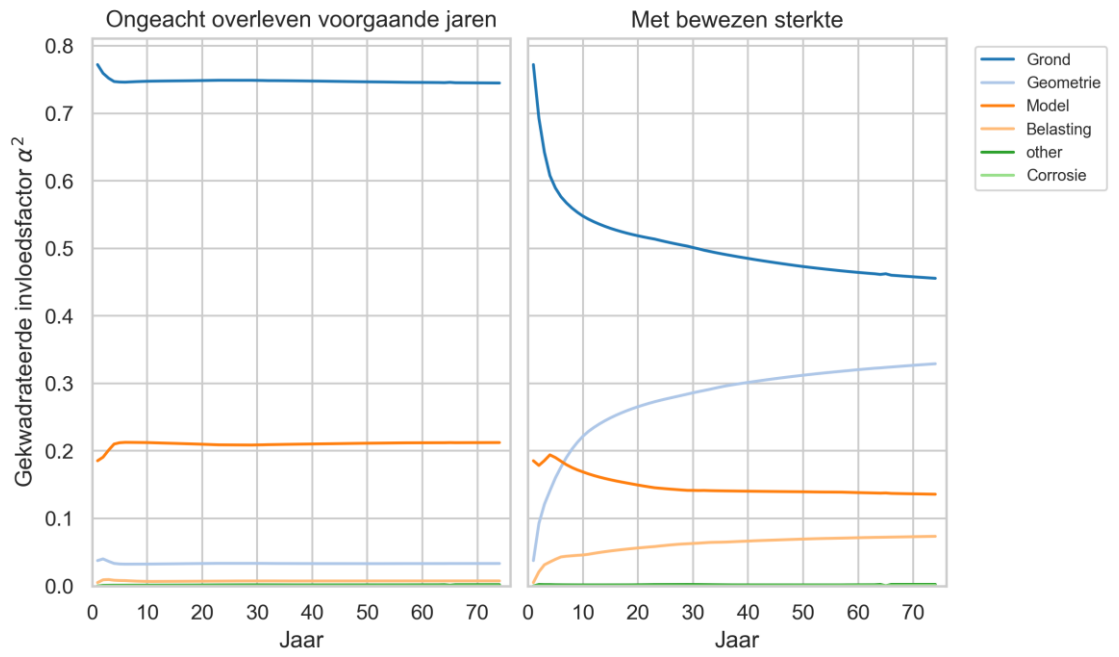


D.1.8.2. GTF-GEO Variant 1 case D:

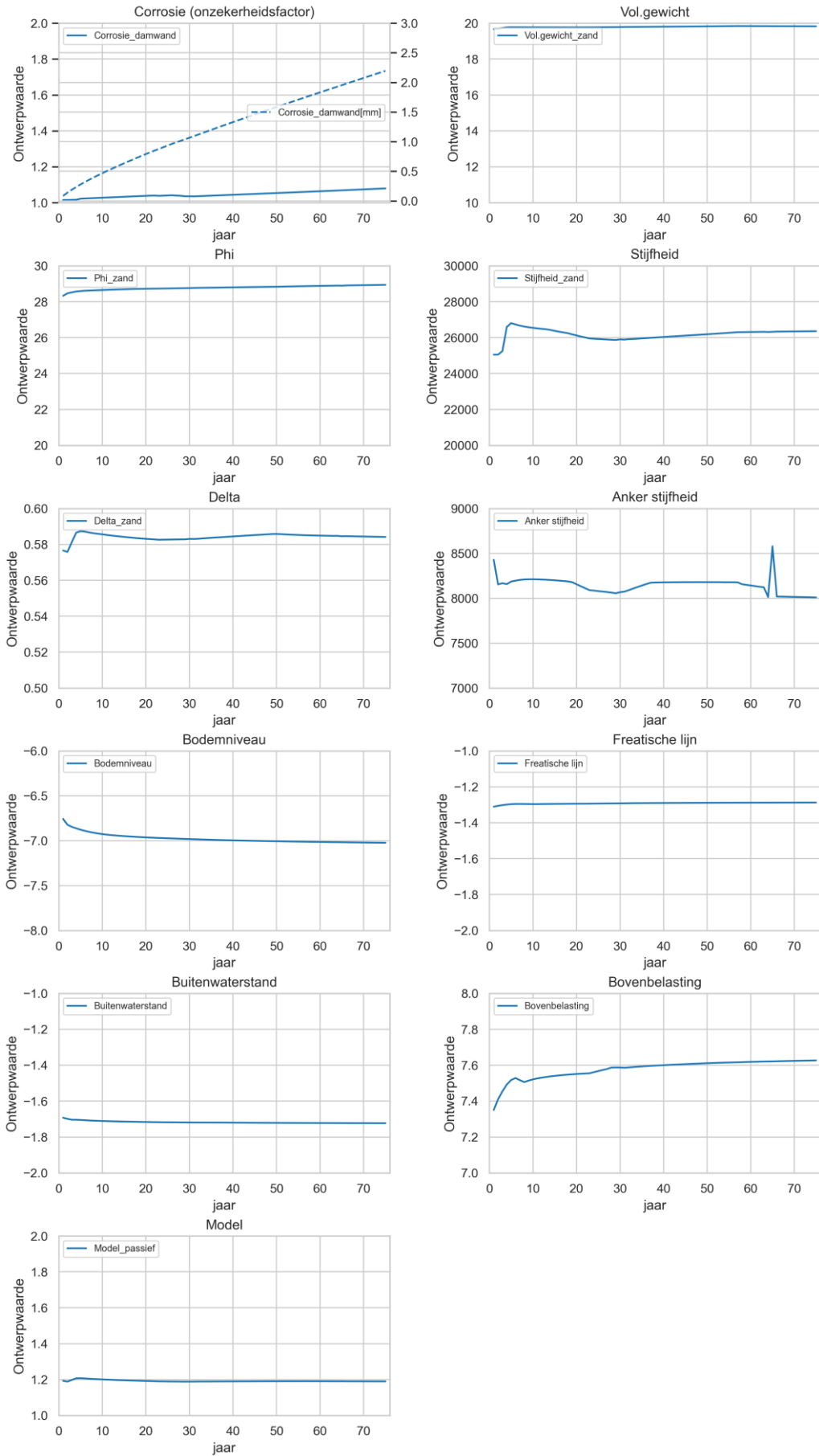
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



Geo Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

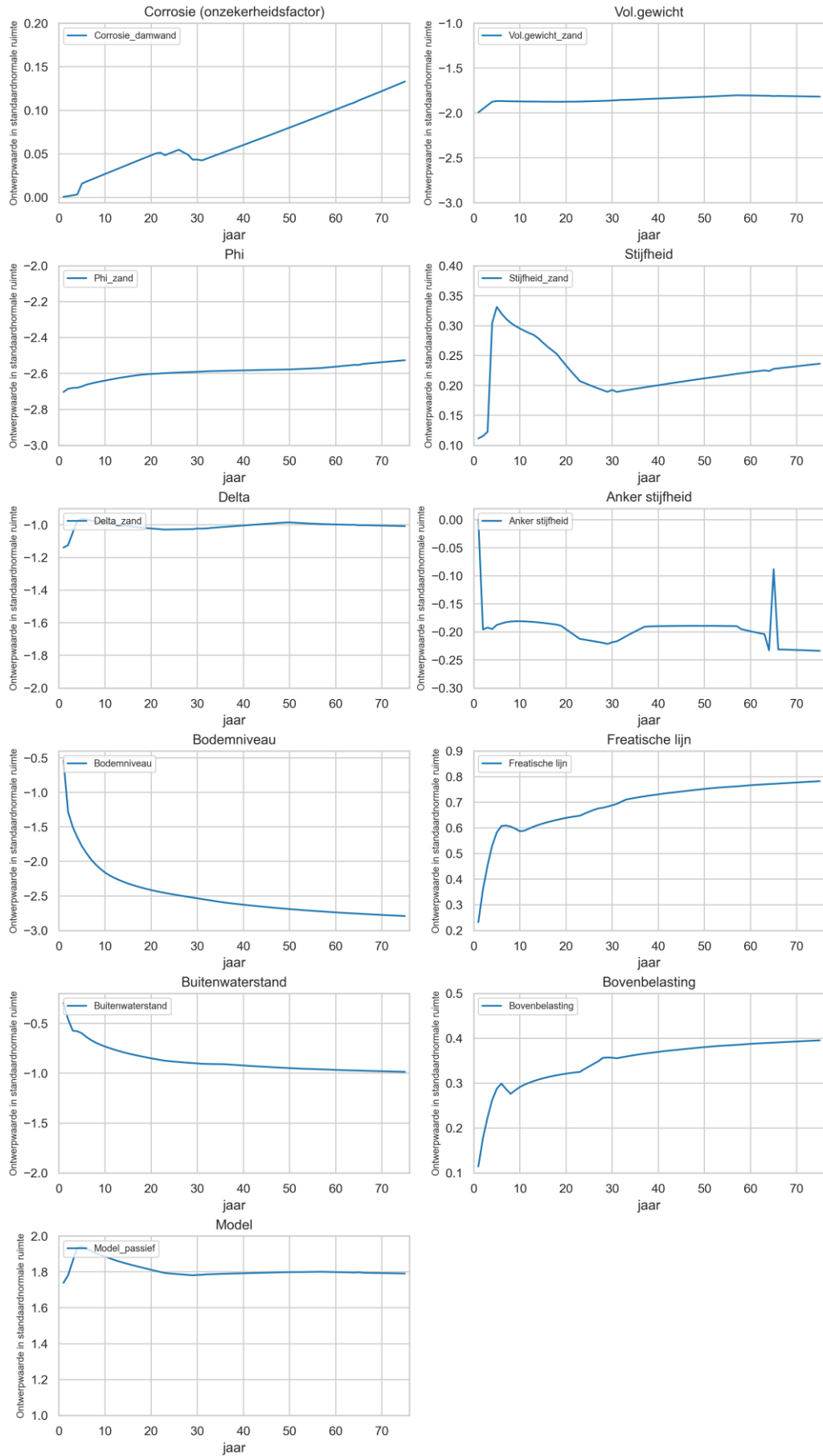


Geo Variant 1 (0,5xBodem)





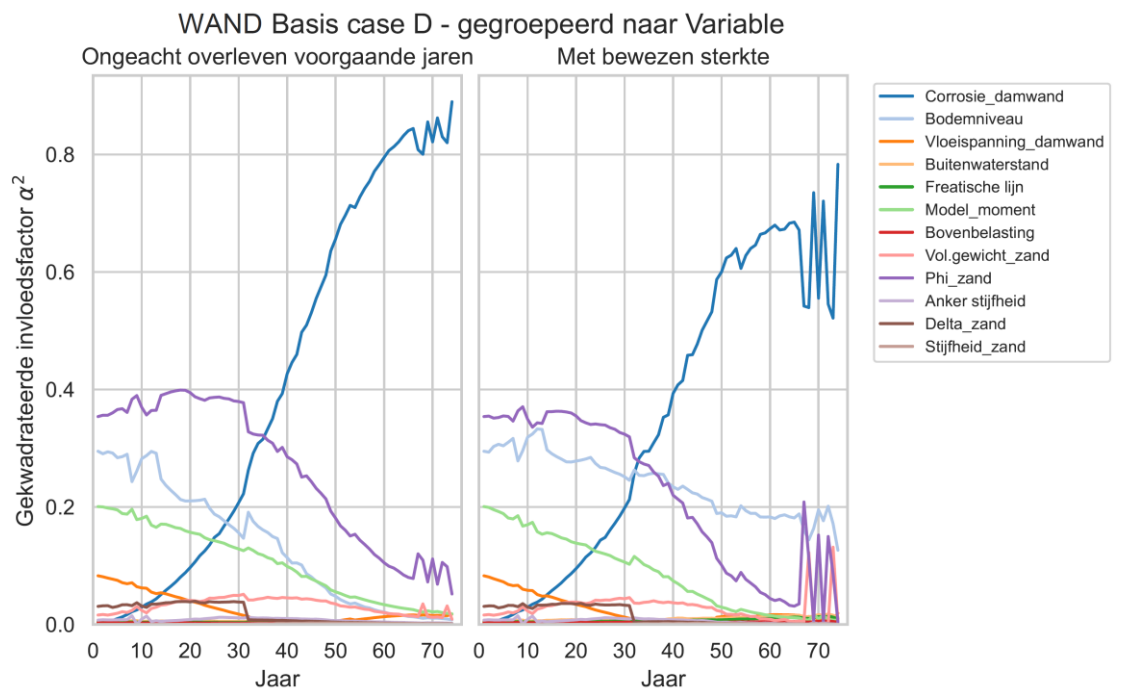
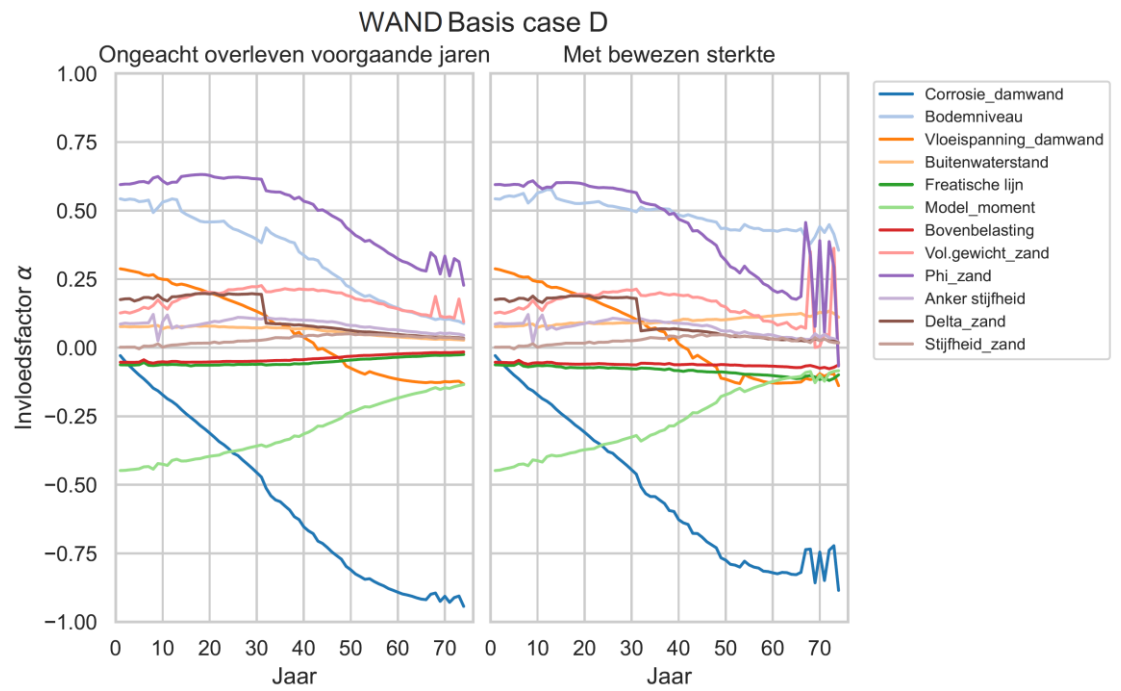
Geo Variant 1 (0,5xBodem)



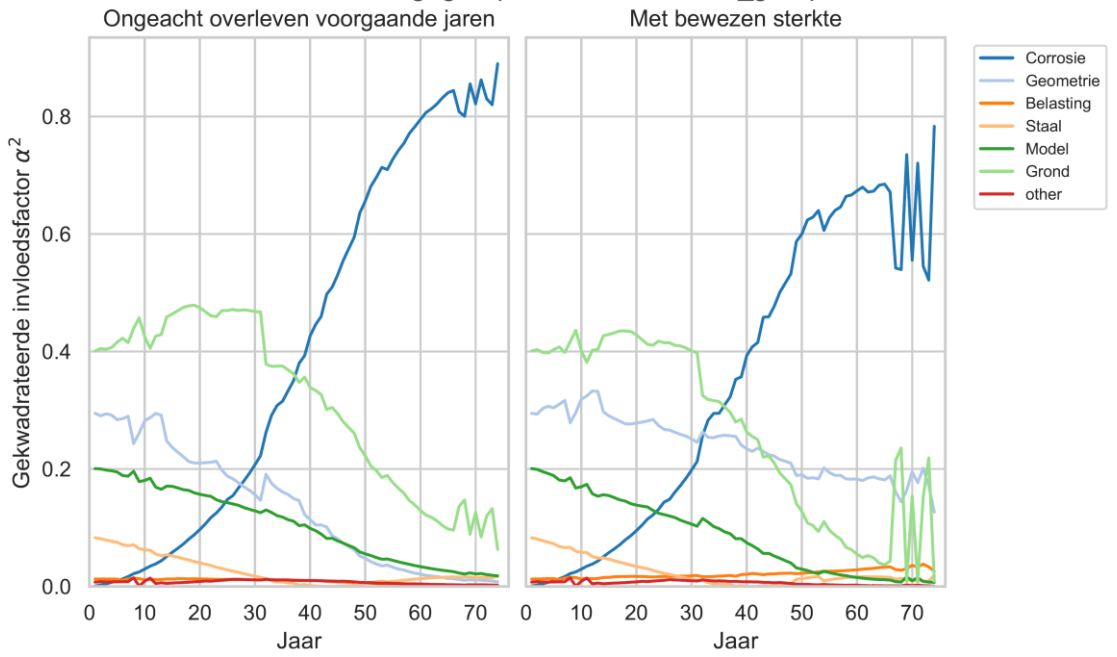
**D.1.9 Case D Verankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie WAND**

D.1.9.1. GTF-WAND Basis case D:

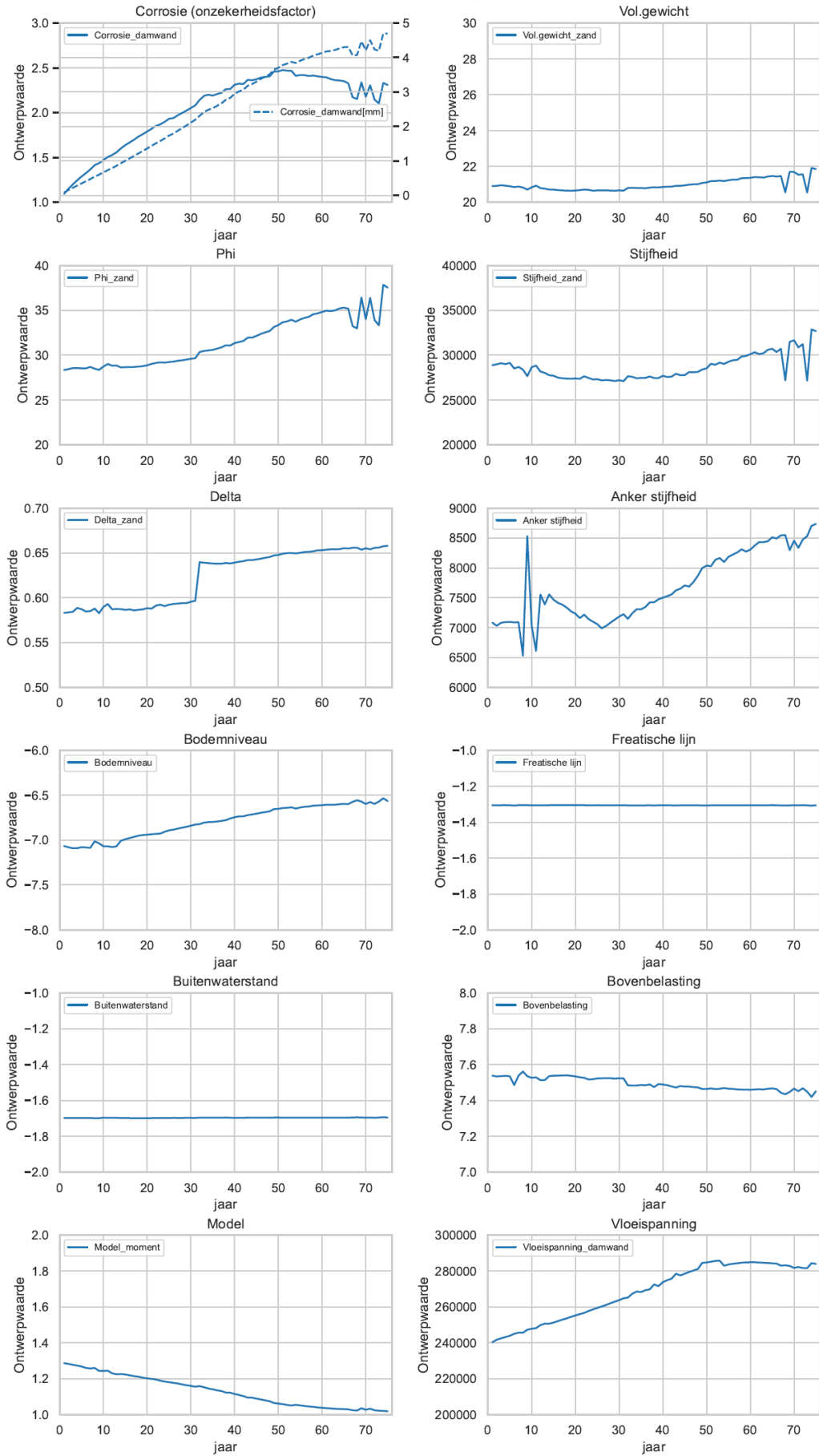
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



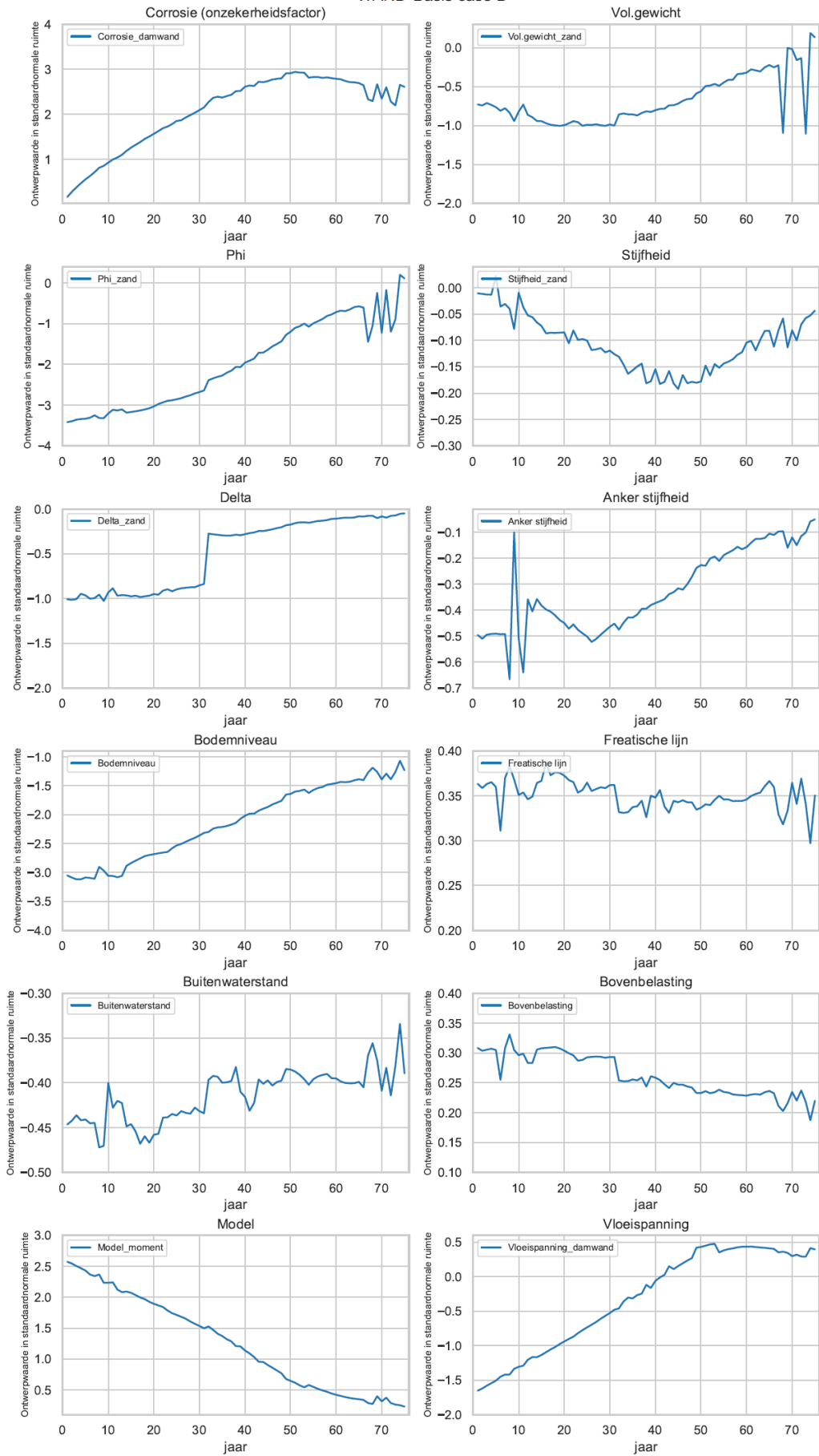
### WAND Basis case D - gegroepeerd naar Variable\_group



WAND Basis case D

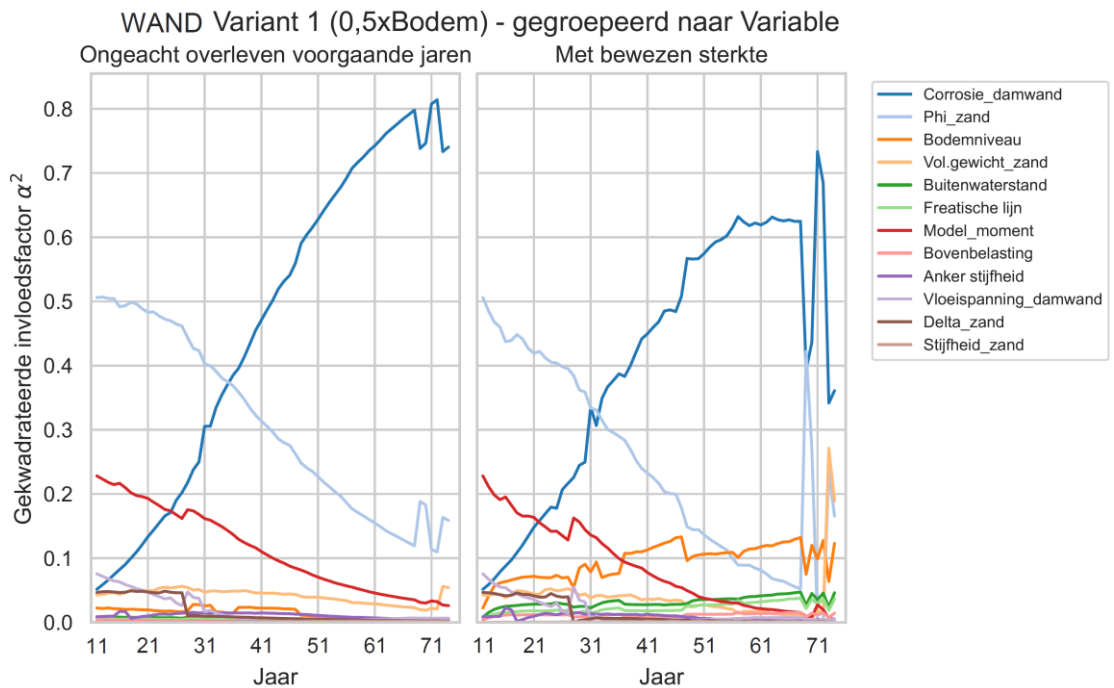
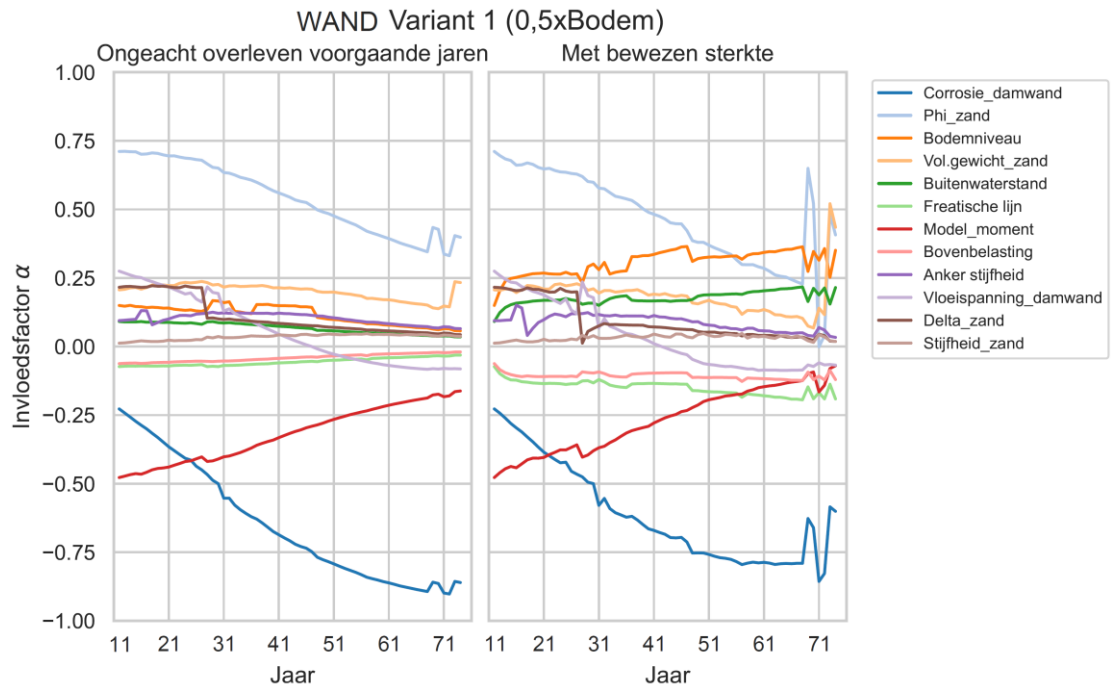


WAND Basis case D

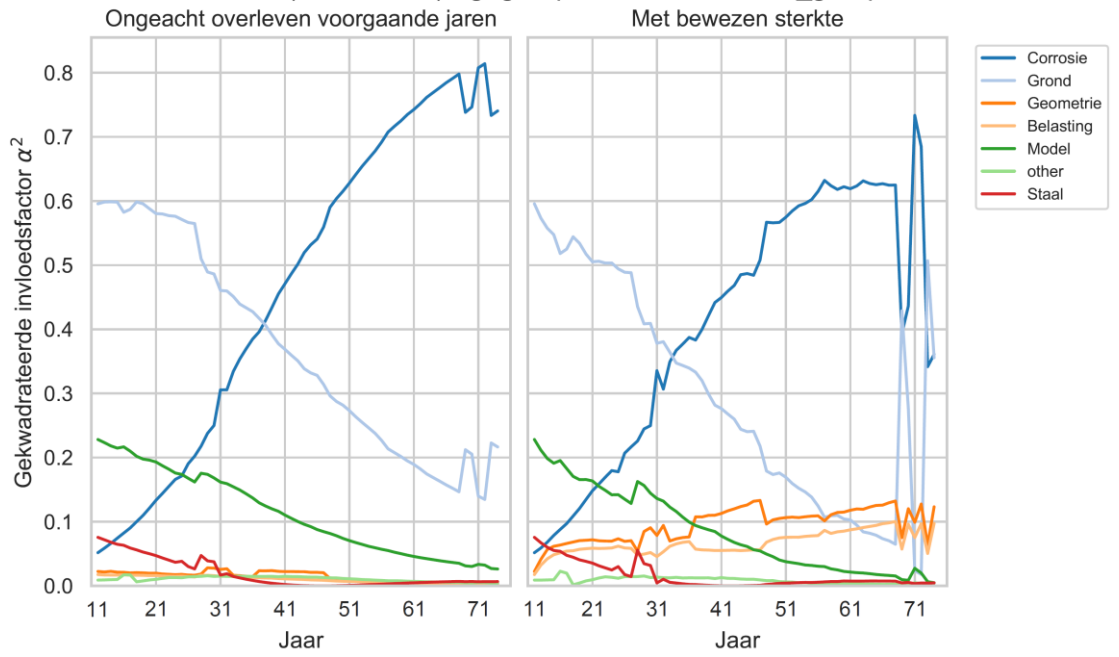


D.1.9.2. GTF-WAND Variant 1 case D:

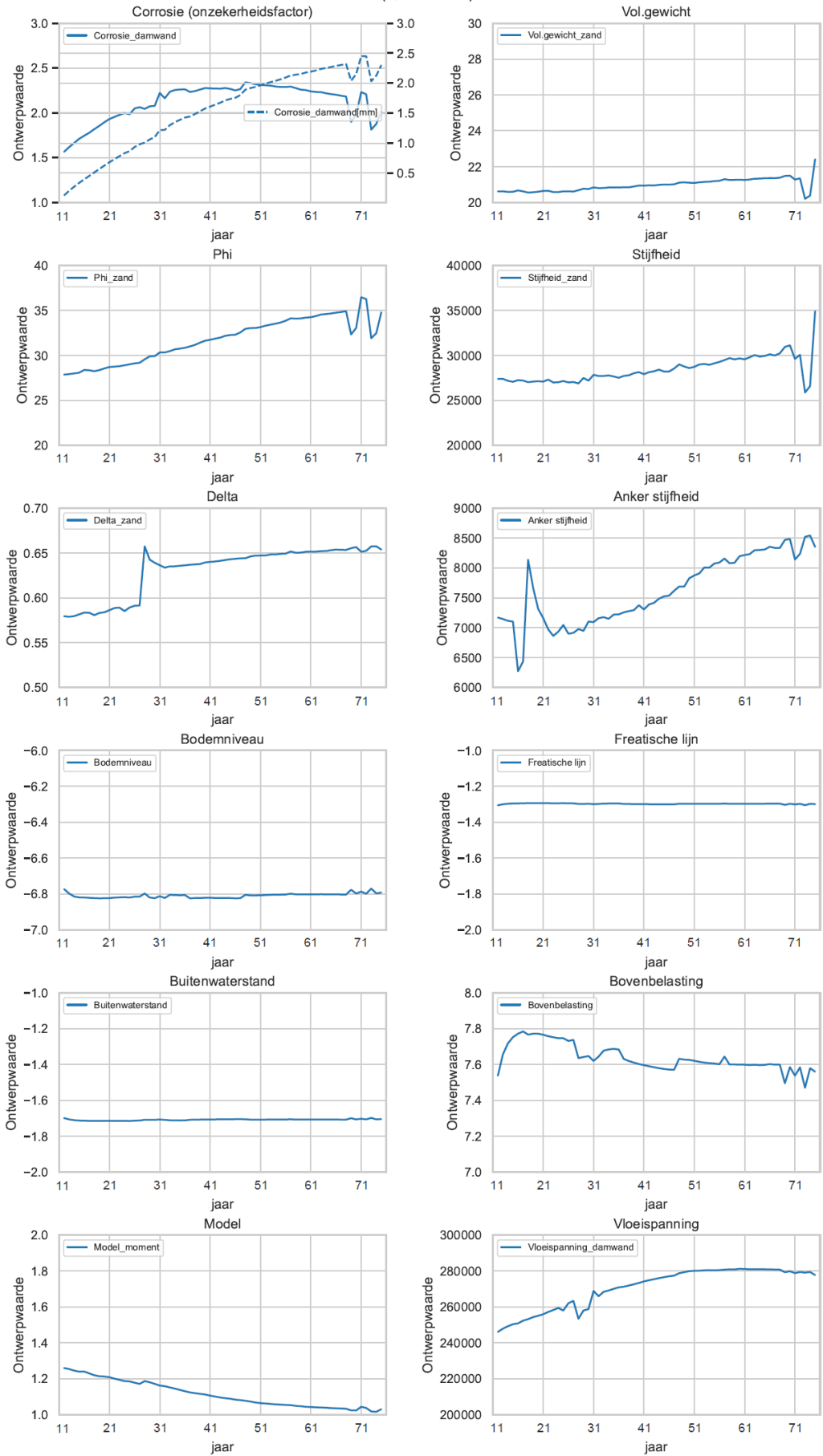
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



WAND Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

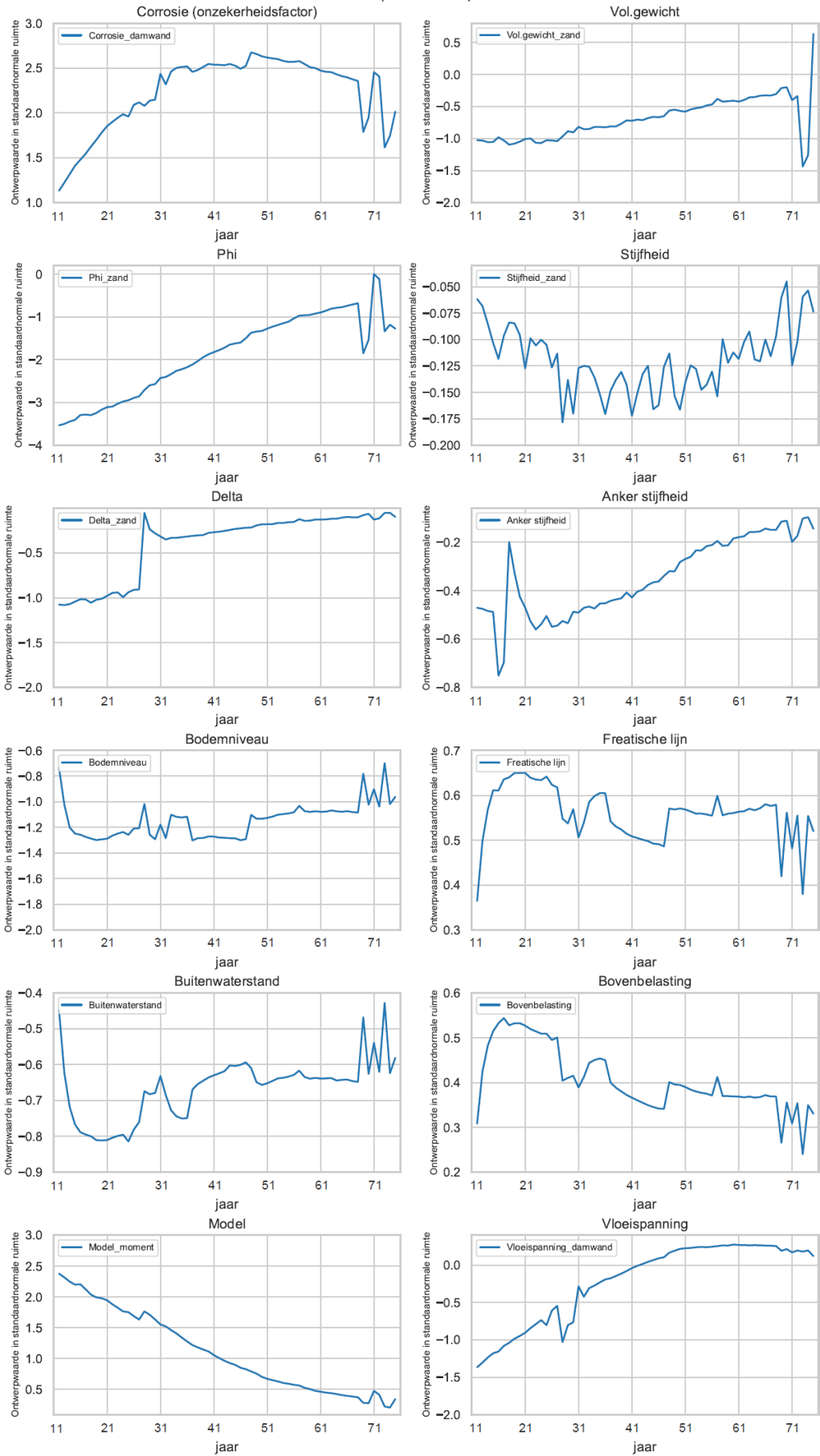


WAND Variant 1 (0,5xBodem)



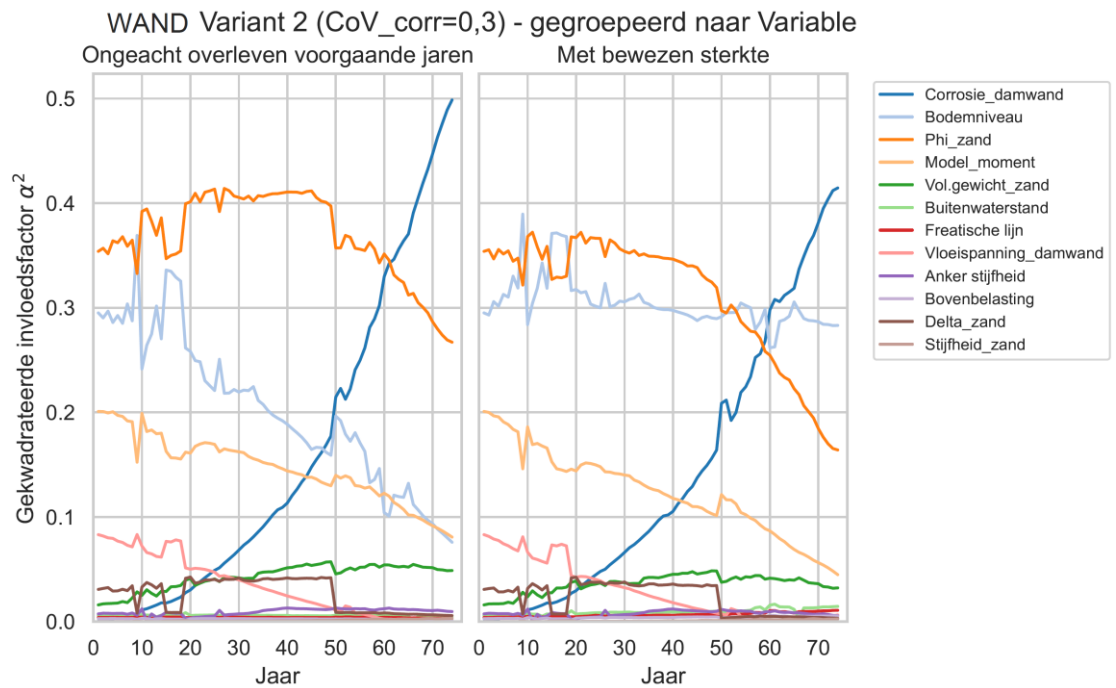
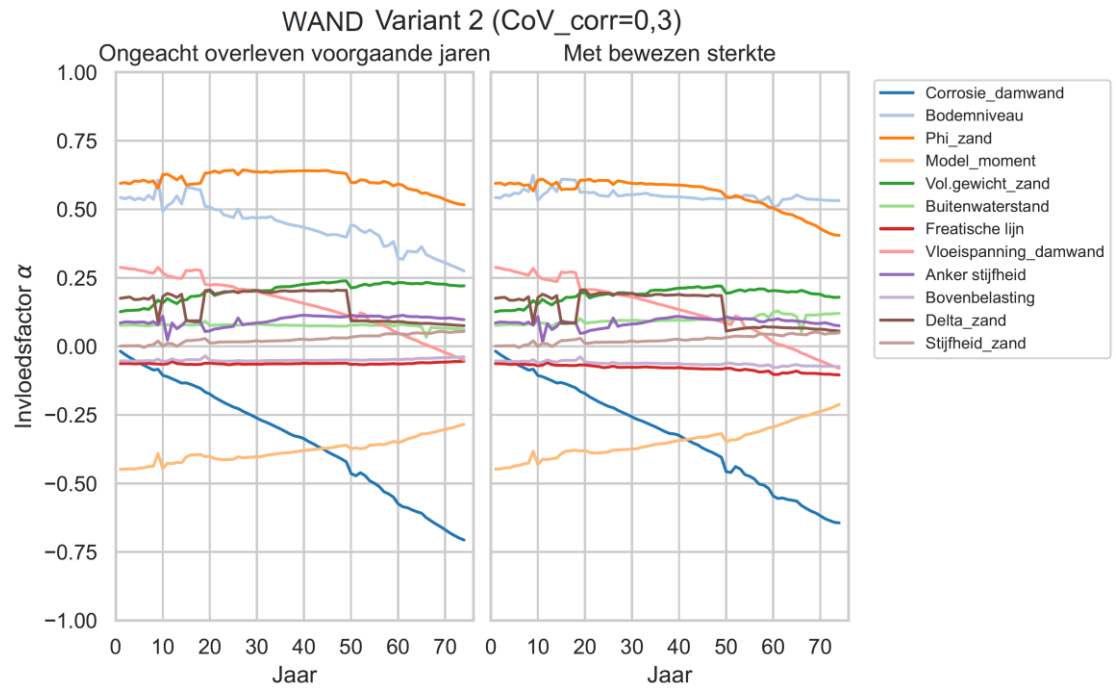


WAND Variant 1 (0,5xBodem)

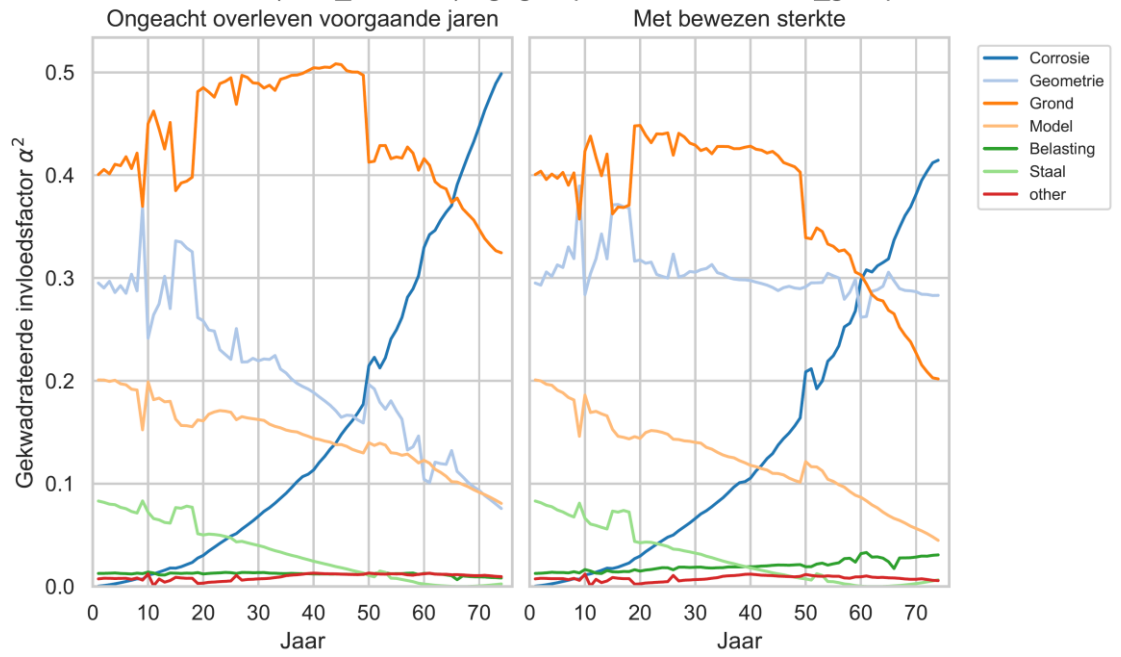


D.1.9.3. GTF-WAND Variant 2 case D:

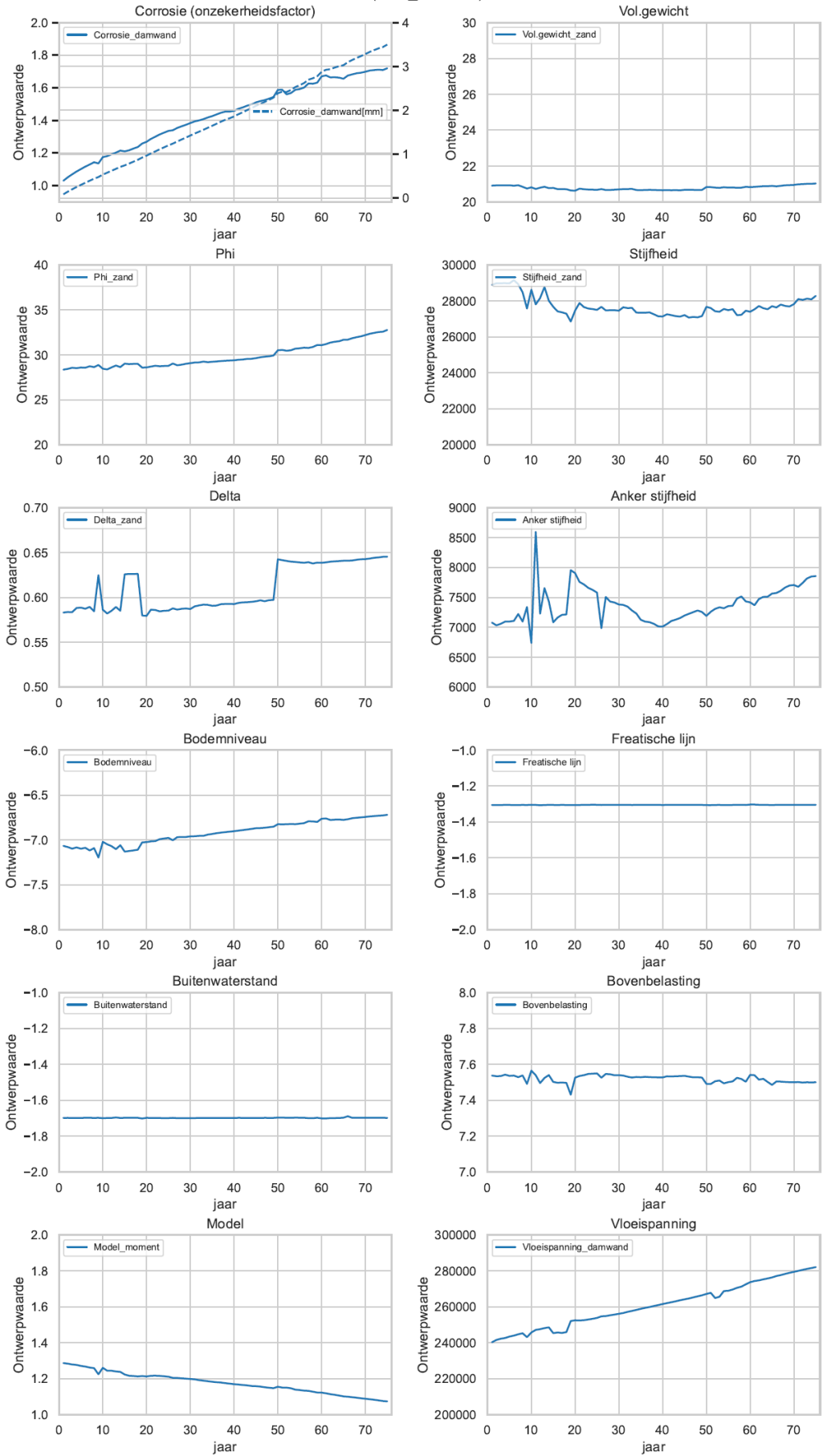
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



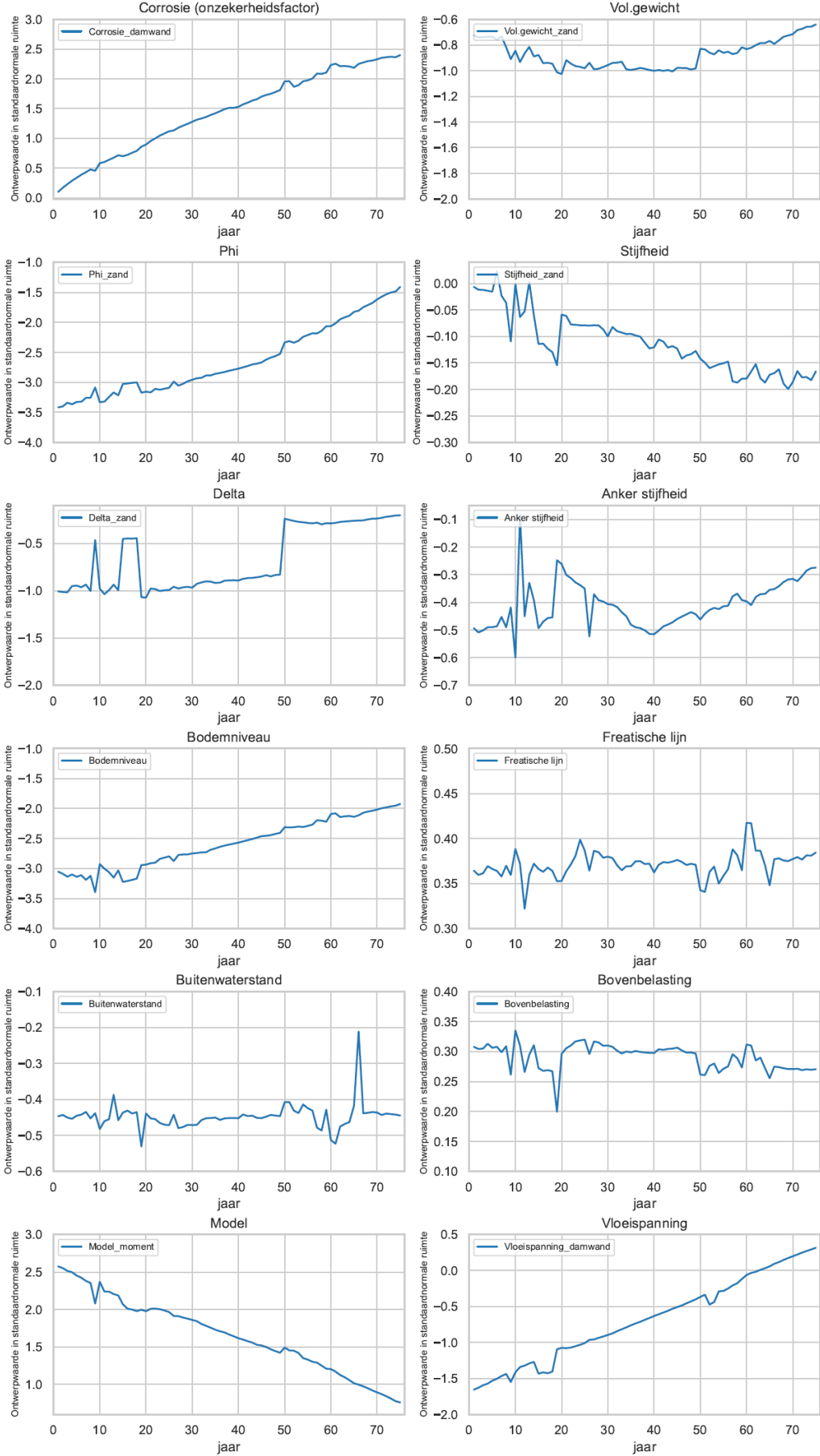
WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3) - gegroepeerd naar Variable\_group



WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3)

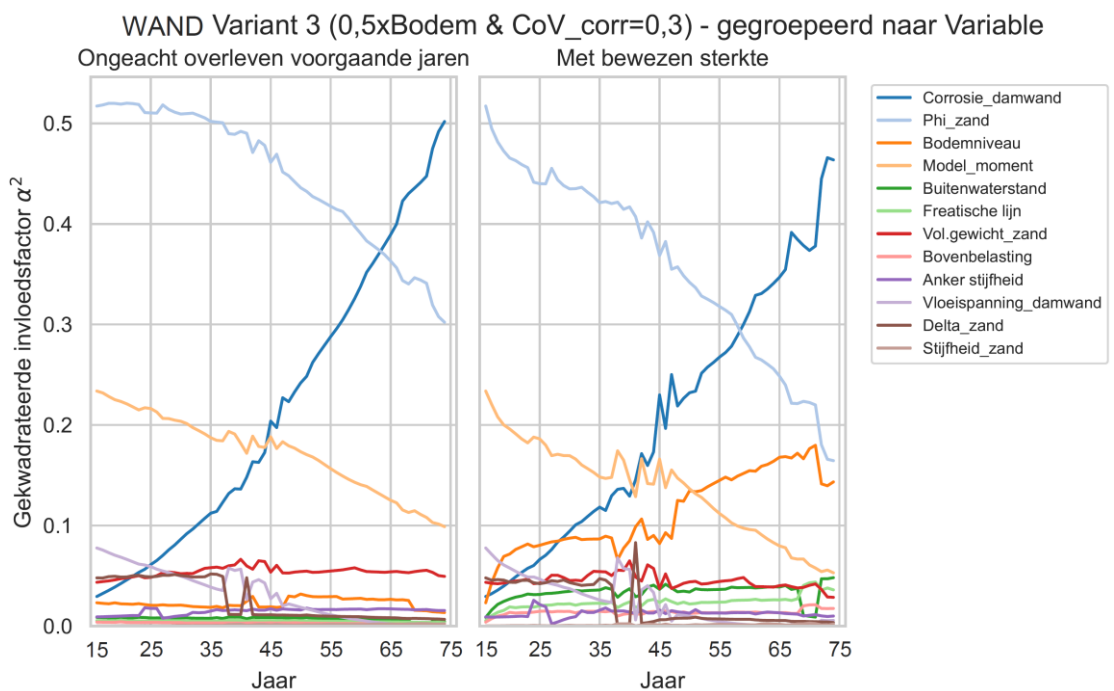
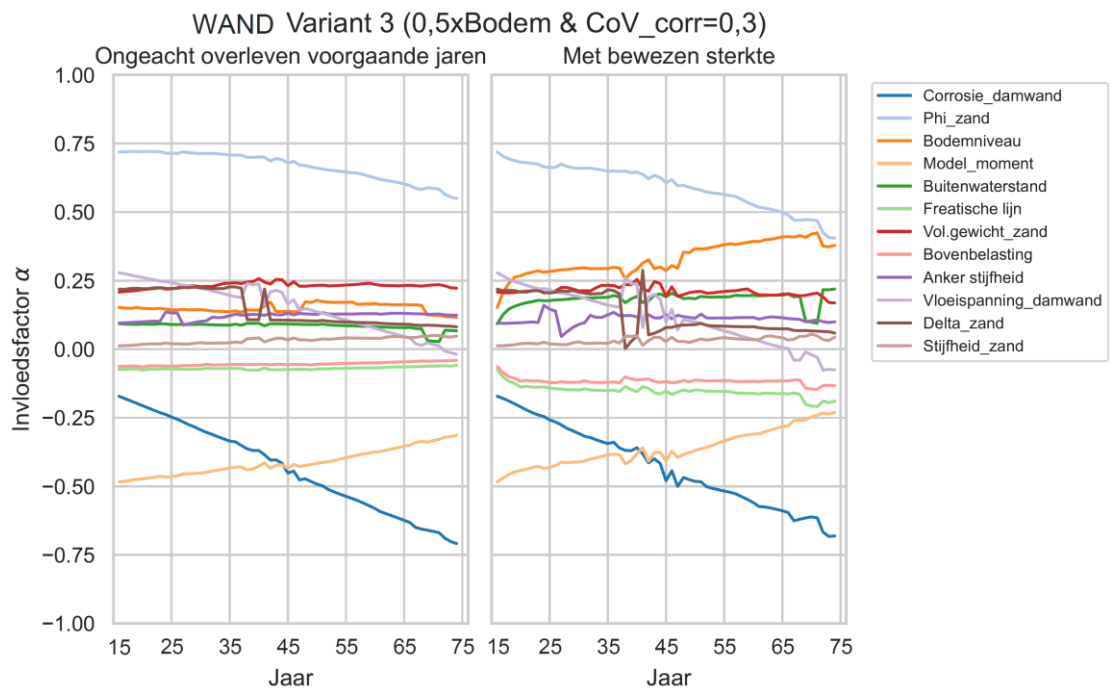


WAND Variant 2 (CoV\_corr=0,3)

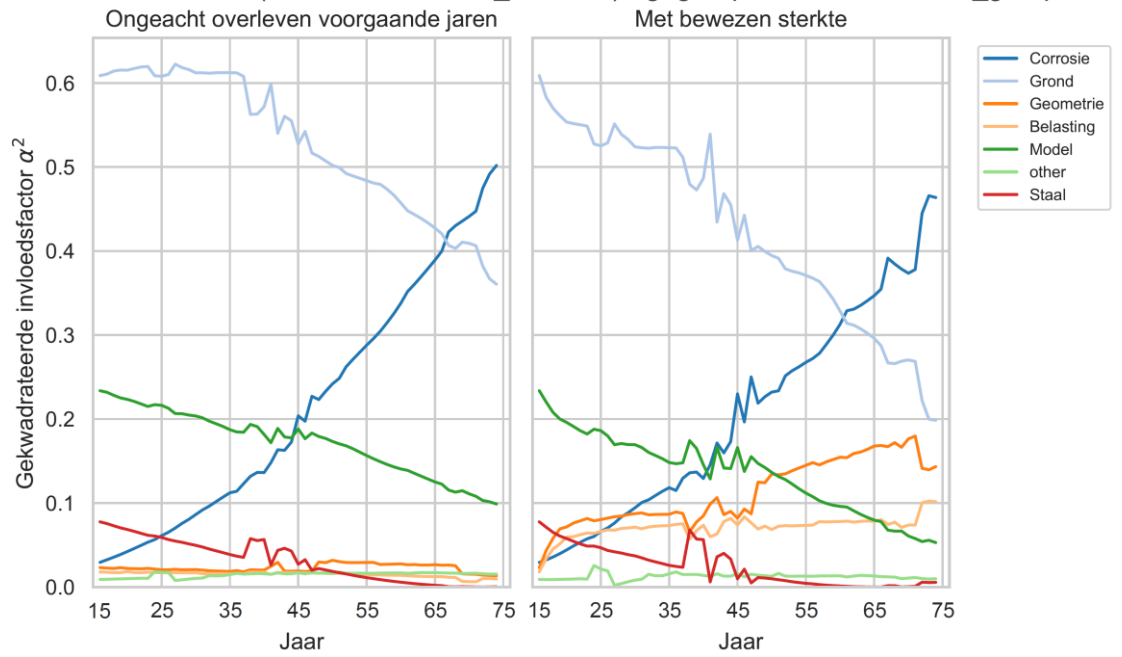


D.1.9.4. GTF-WAND Variant 3 case D:

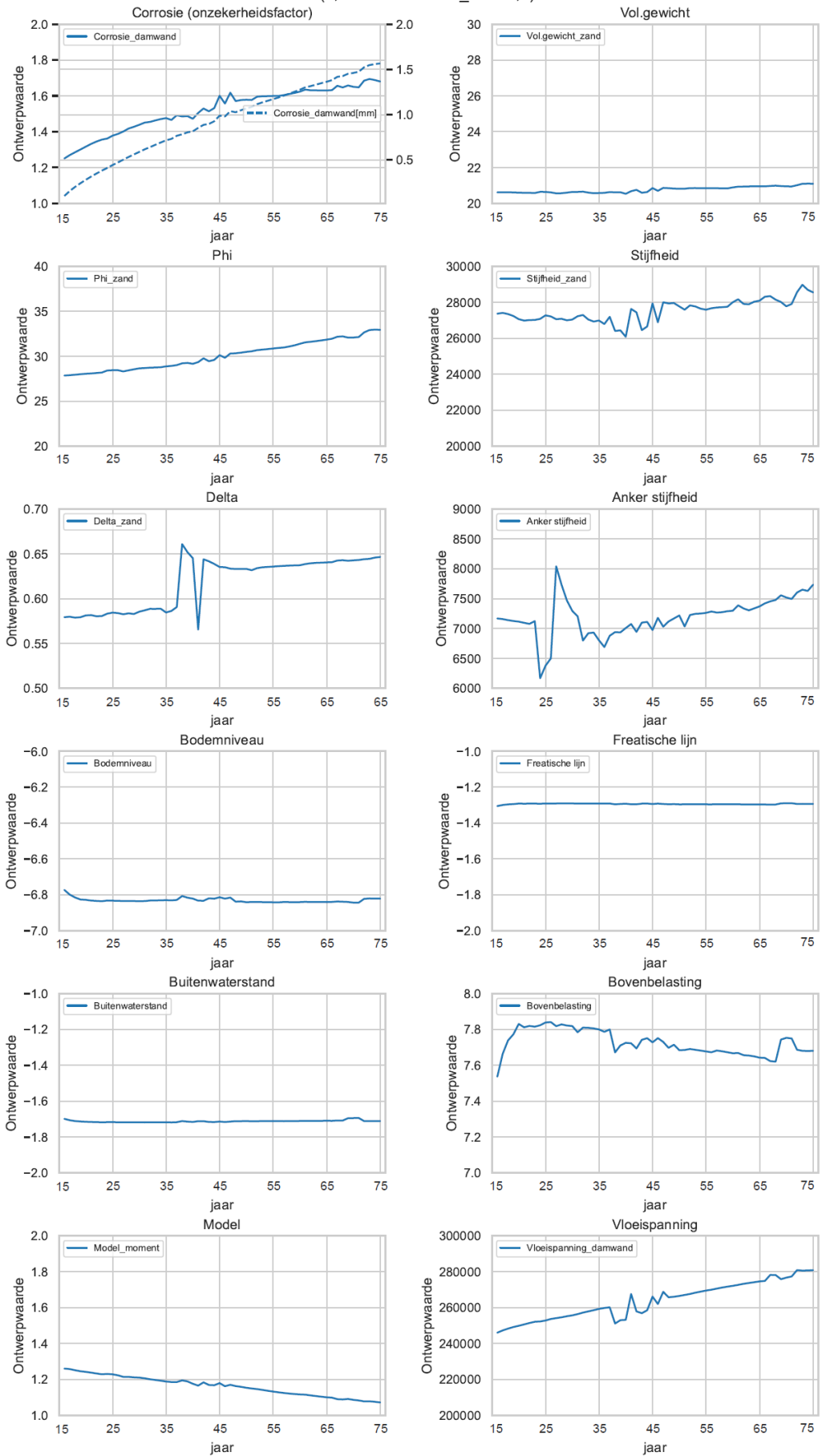
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3) - gegroepeerd naar Variable\_group

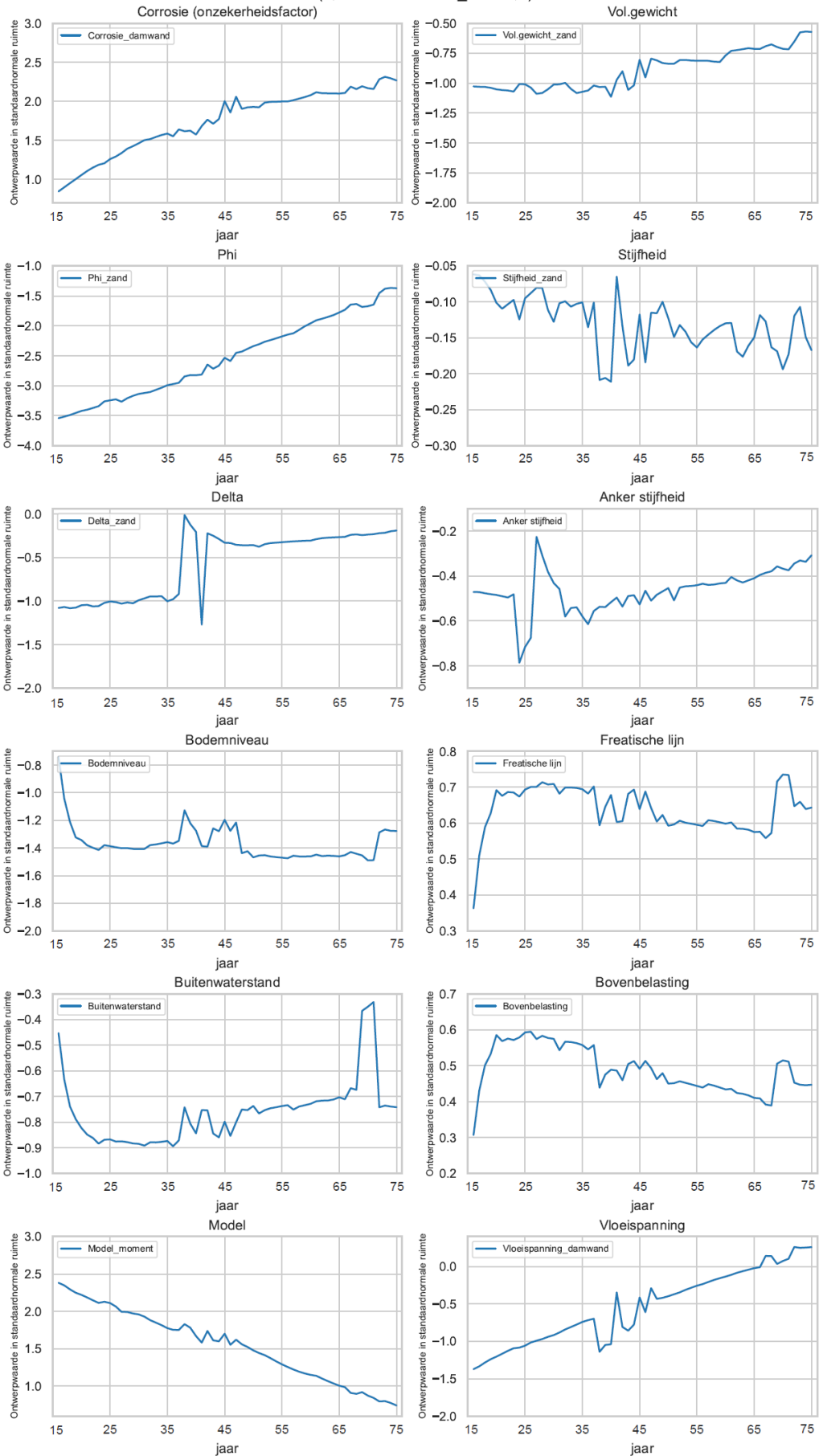


WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3)





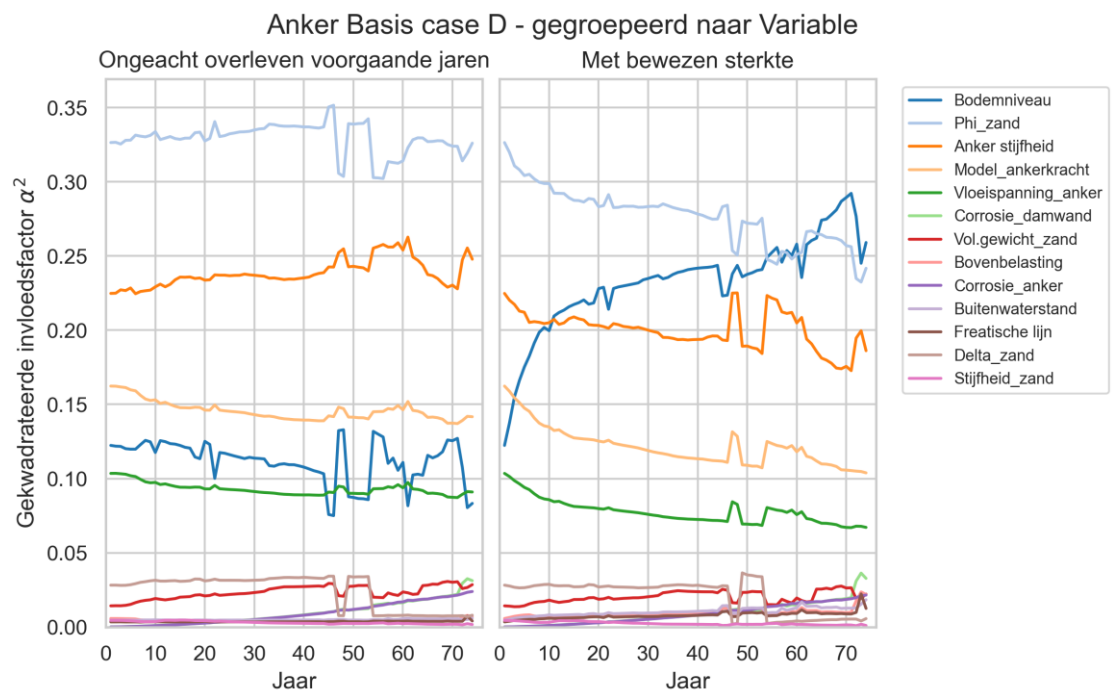
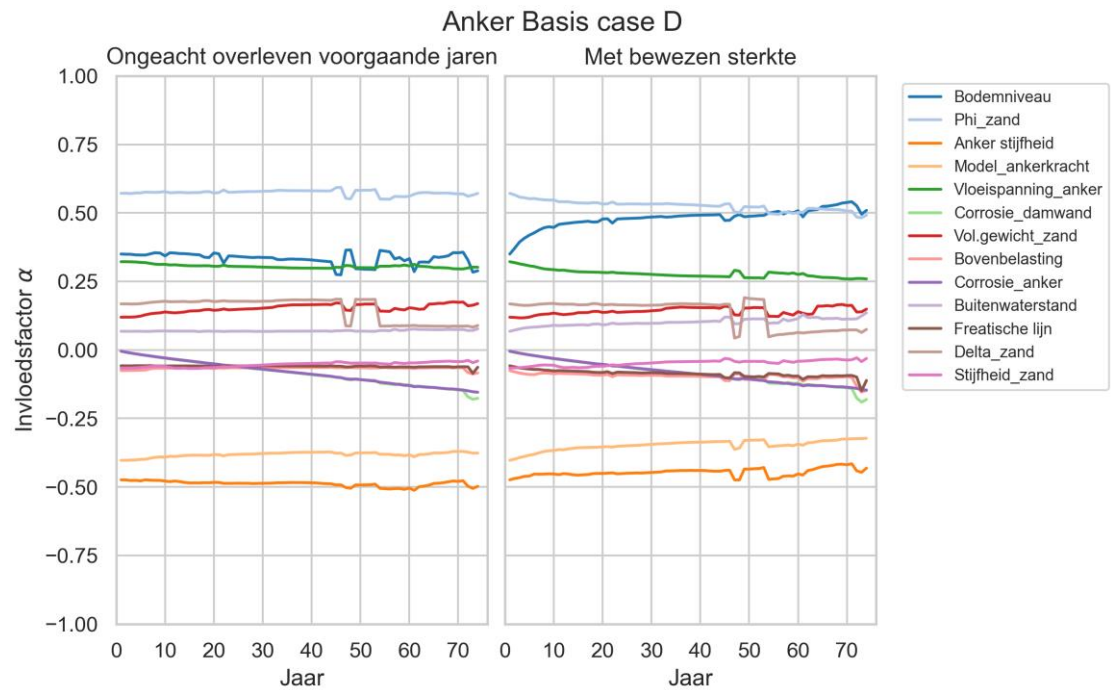
WAND Variant 3 (0,5xBodem & CoV\_corr=0,3)



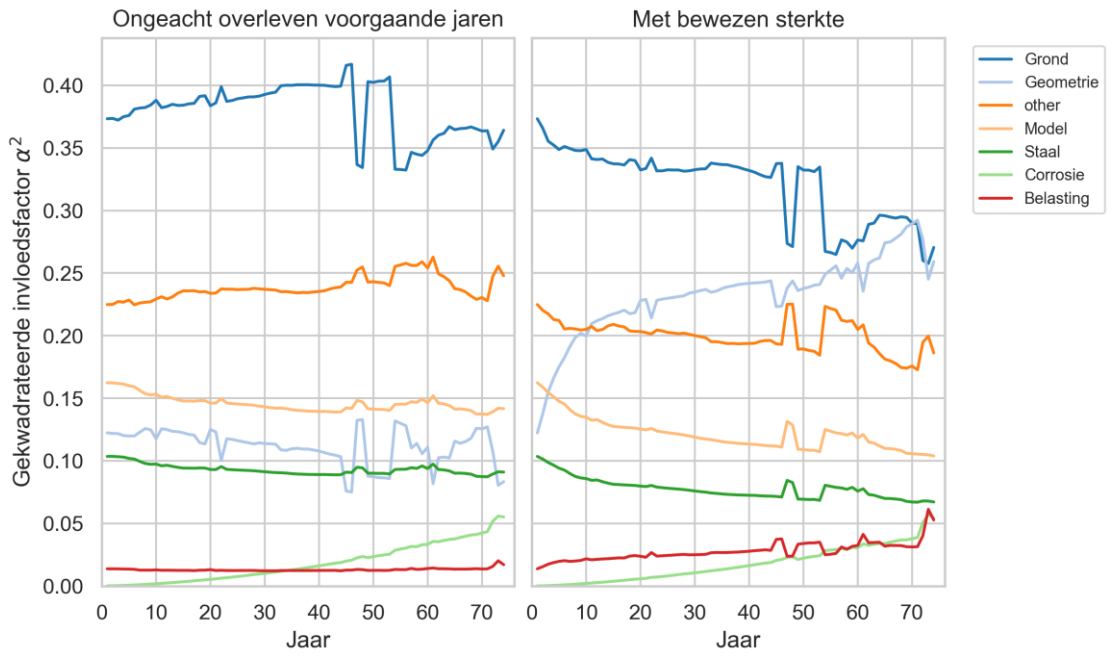
**D.1.10 Case D Verankerde damwand met grondwaterstroming - grenstoestandsfunctie ANKER**

D.1.10.1. GTF-ANKER Basis case D:

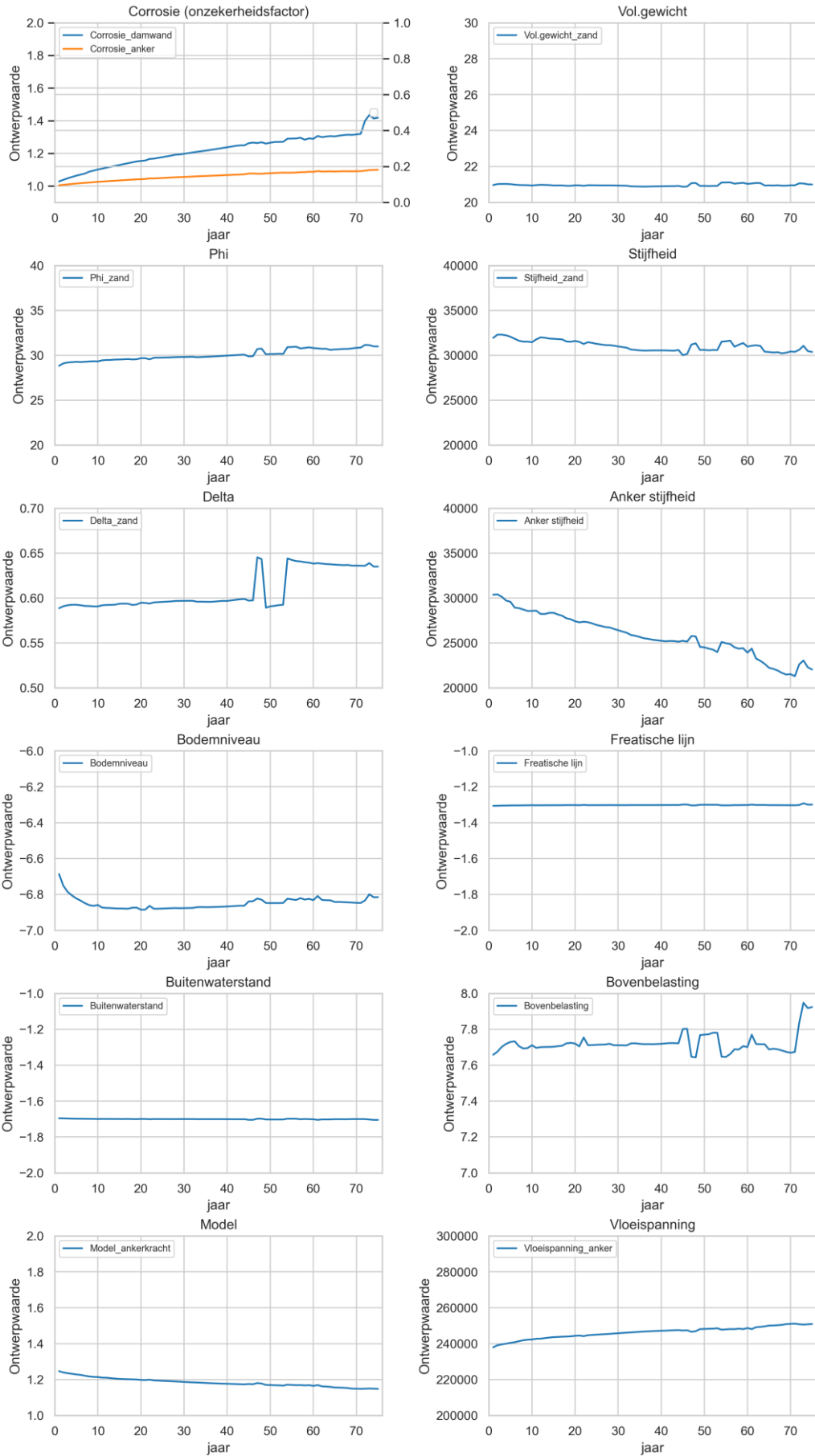
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



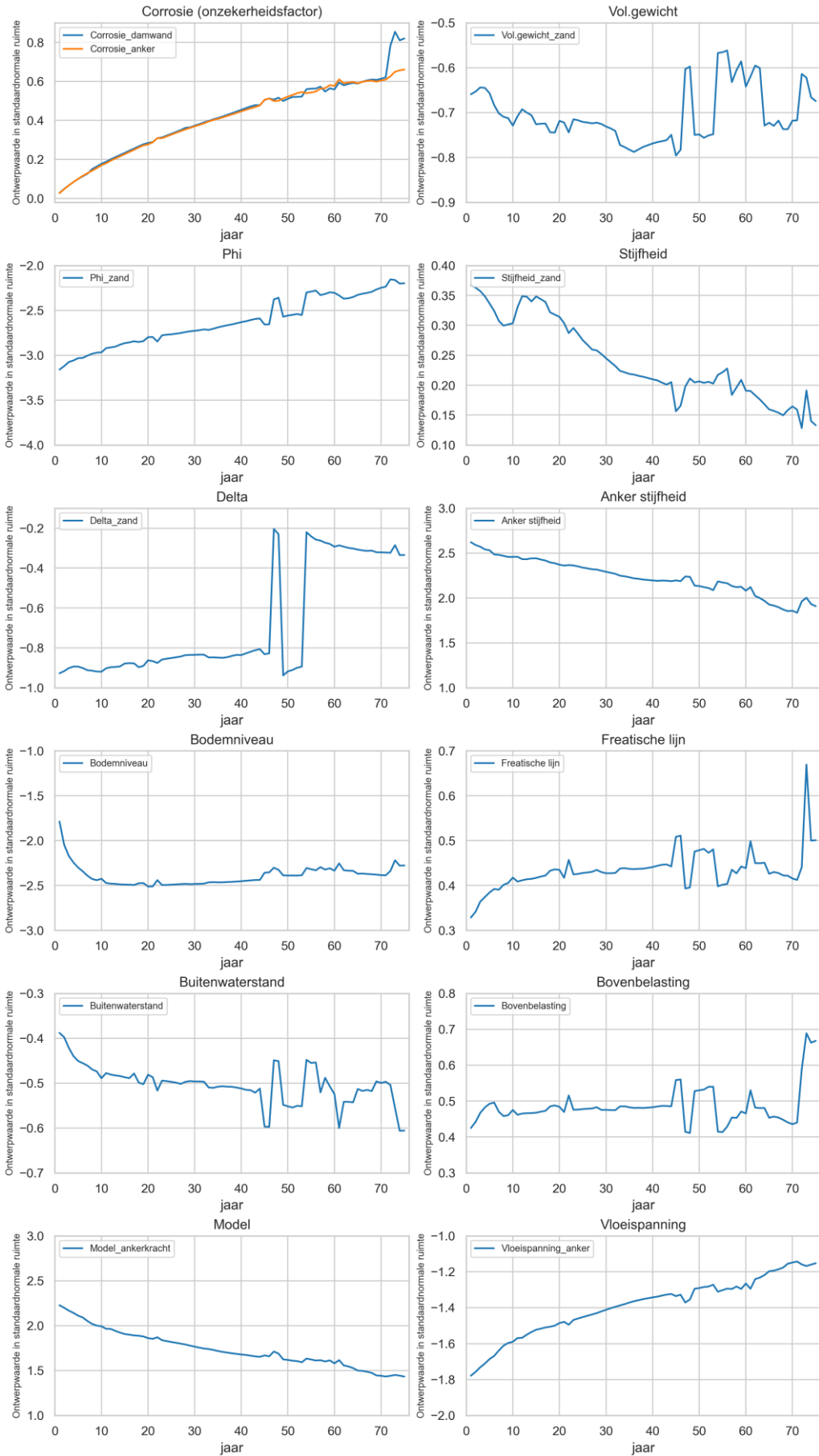
### Anker Basis case D - gegroepeerd naar Variable\_group



Anker Basis case D

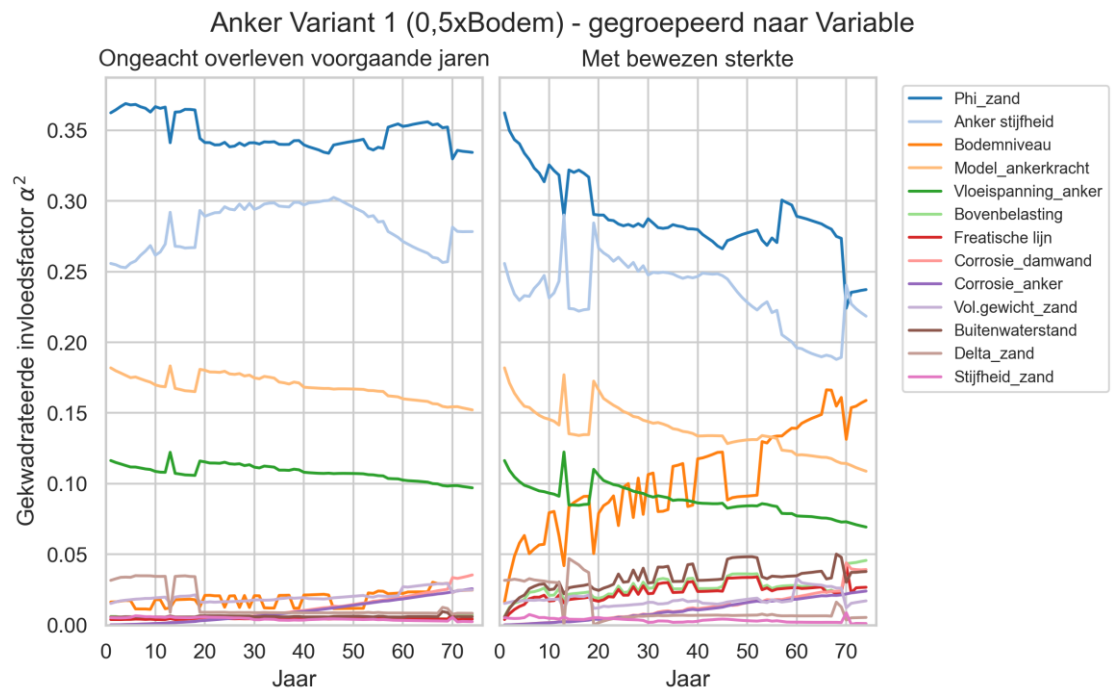
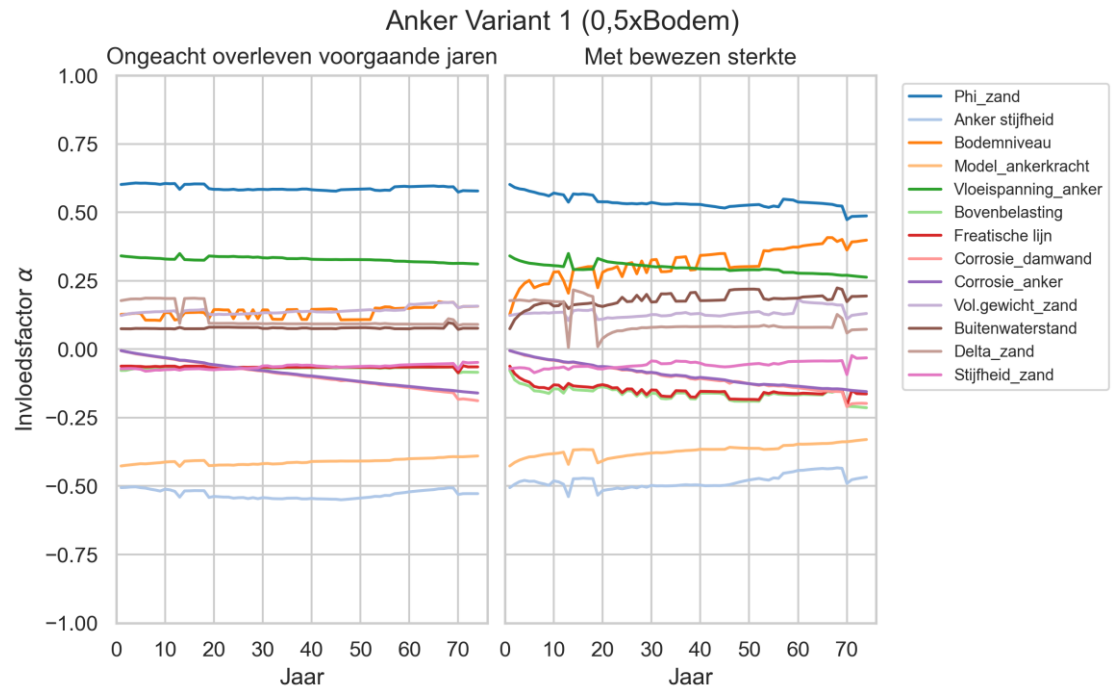


Anker Basis case D

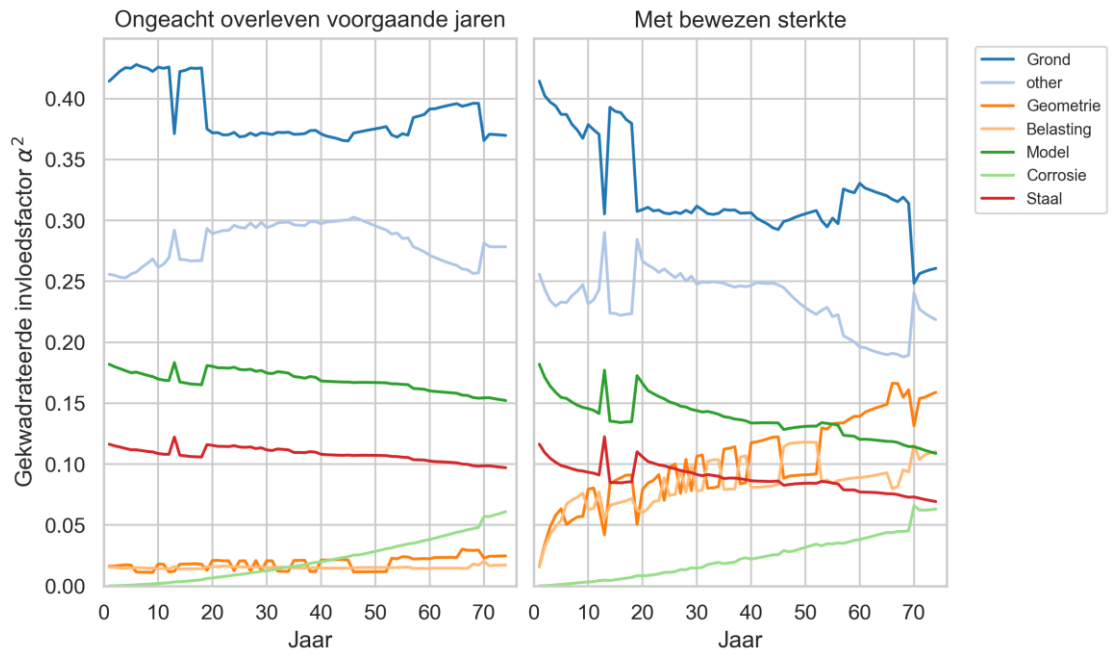


D.1.10.2. GTF-ANKER Variant 1 case D:

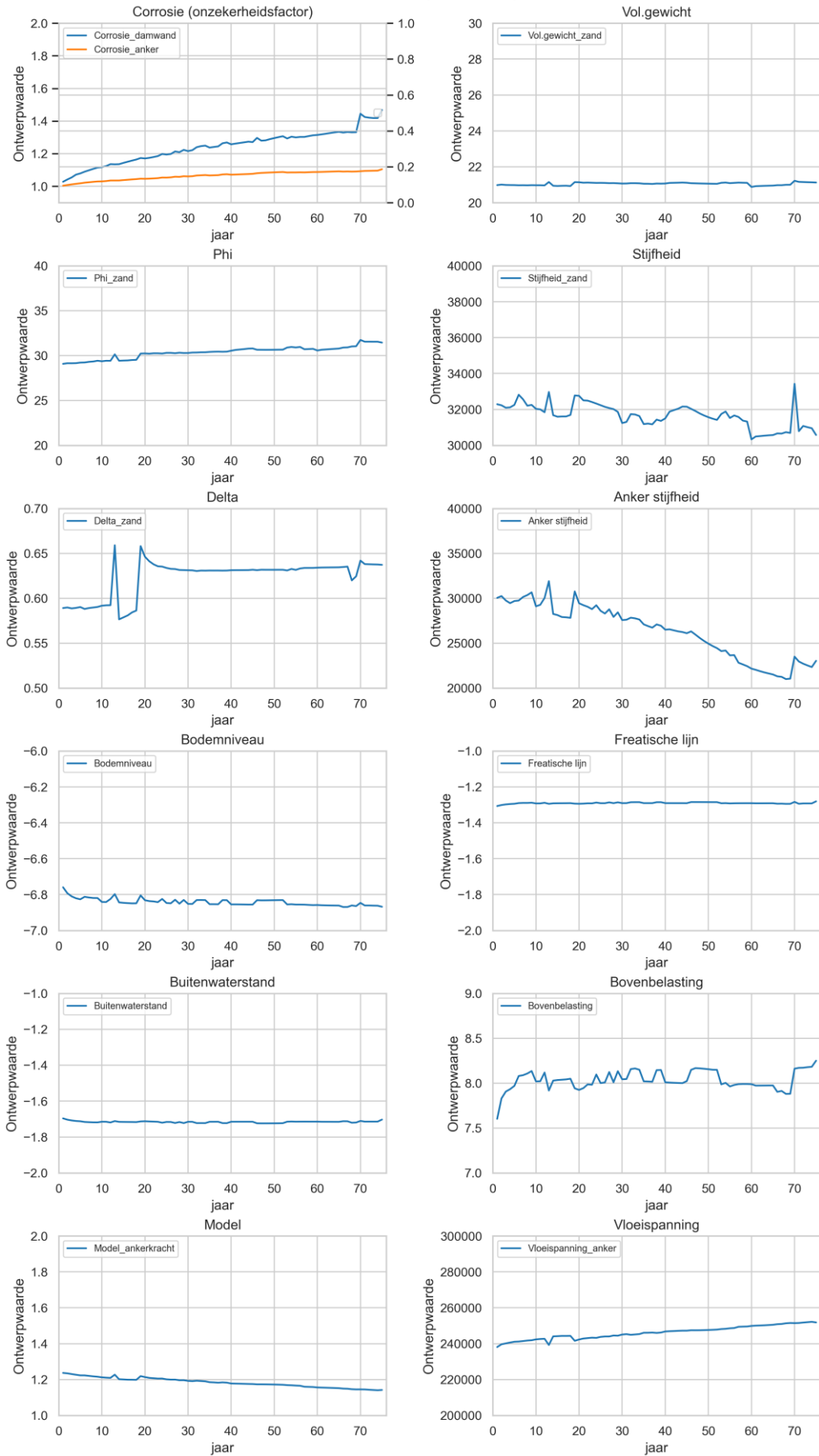
In de navolgende figuren staat "Delta" voor R, de ratio tussen  $\delta'$  en  $\phi'$ .



### Anker Variant 1 (0,5xBodem) - gegroepeerd naar Variable\_group

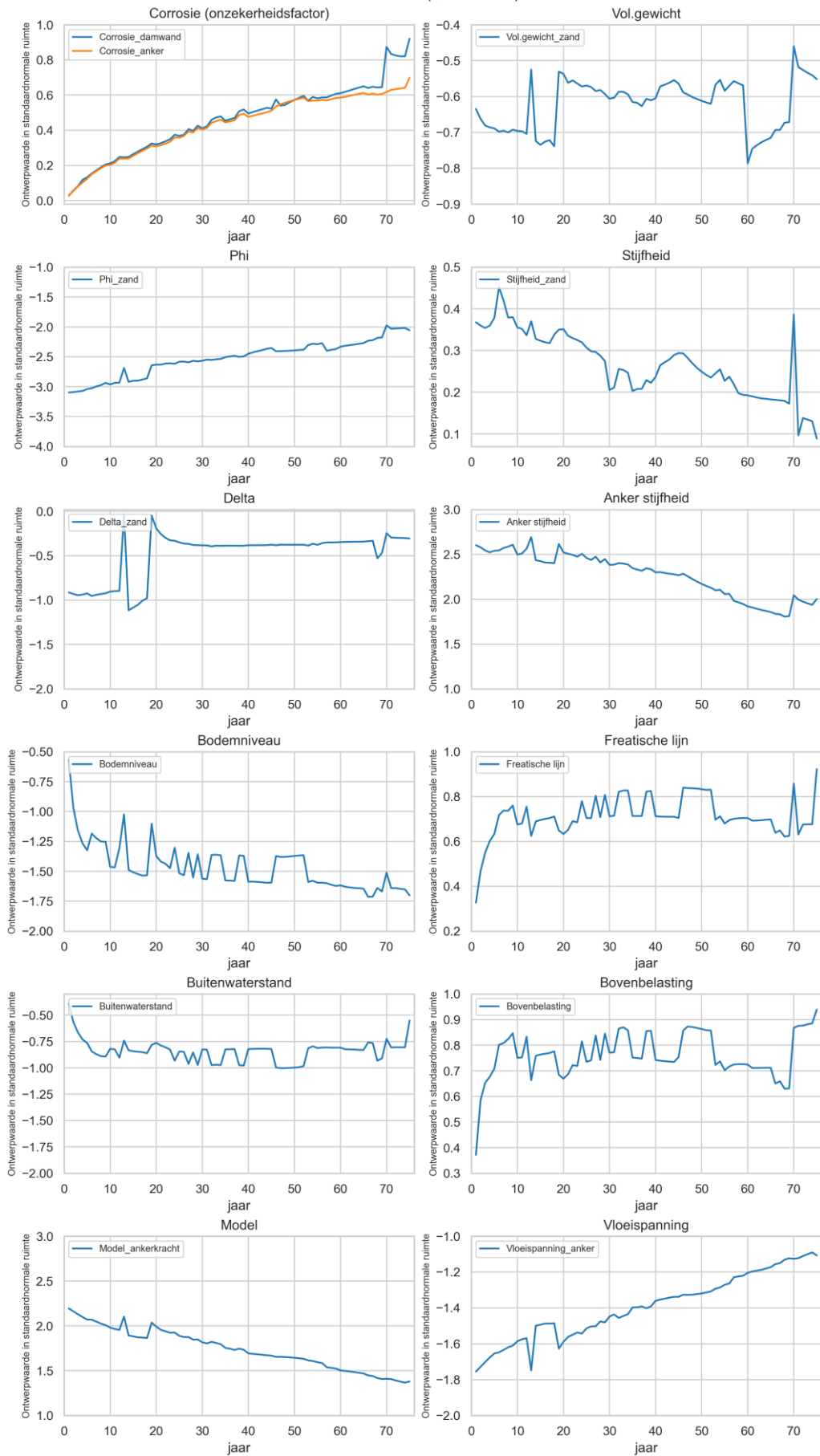


### Anker Variant 1 (0,5xBodem)





### Anker Variant 1 (0,5xBodem)



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](http://www.deltares.nl)