



Delft University of Technology

Onderzoek krachtswerking Mariakapel Oude Kerk Amsterdam

Borgart, A.; Eigenraam, P.

Publication date
2022

Document Version
Final published version

Citation (APA)
Borgart, A., & Eigenraam, P. (2022). *Onderzoek krachtswerking Mariakapel Oude Kerk Amsterdam*. Delft University of Technology, Faculteit Bouwkunde.

Important note
To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy
Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*This work is downloaded from Delft University of Technology.
For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to a maximum of 10.*

Onderzoek krachtwerving Mariakapel Oude Kerk Amsterdam

Andrew Borgart en Peter Eigenraam

September 2022



In opdracht van:
met:

Stichting De Oude Kerk Amsterdam



In samenwerking

Gemeente Amsterdam

Afdeling Monumenten & Archeologie



Aanleiding van onderzoek

De wens is er om de gerestaureerde raamwerken terug te plaatsen. Echter is de constructie dermate beschadigd en vervormd dat de vraag speelt of het wenselijk of verantwoord is deze werkzaamheden momenteel uit te voeren.

Dit onderzoek voorziet in informatie over de krachtwerking ter ondersteuning van deze beslissing.



Onderzoek naar krachtwerking

Doelen:

- het op vaststellen van de oorza(a)k(en) van schade (deel 1);
- het opstellen van een prognose voor de voortschrijding van de waargenomen schade en vervorming in de oostgevel van de Mariakapel (deel 2).



Onderzoeksvragen

Onderzoeksvragen:

1. Wat is de conditie en context van de draagconstructie en de daarin geconstateerde schade?
- 2.a Wat is het constructieve gedrag tot nu van de mogelijke oorzaken van schade ten aanzien van evenwicht, krachtdoorstroming, spanningen en vervormingen?
- 2.b Voor welke van deze mogelijke oorzaken is het waarschijnlijk tot de huidige schade te hebben geleid?
- 3.a Hoe zal de constructie vanaf nu vervormen in de tijd?
- 3.b Wat is het tijdspad waarin verwachte voortschrijdende vervormingen zullen lijden tot bezwijken?

TU Delft Eigenraam Engineering

- 
- TU Delft Eigenraam Engineering

Situatie in 1946 vóór funderingsherstel
Afbeelding: beschrijvingen restauraties



Onderzoeksvraag 1:

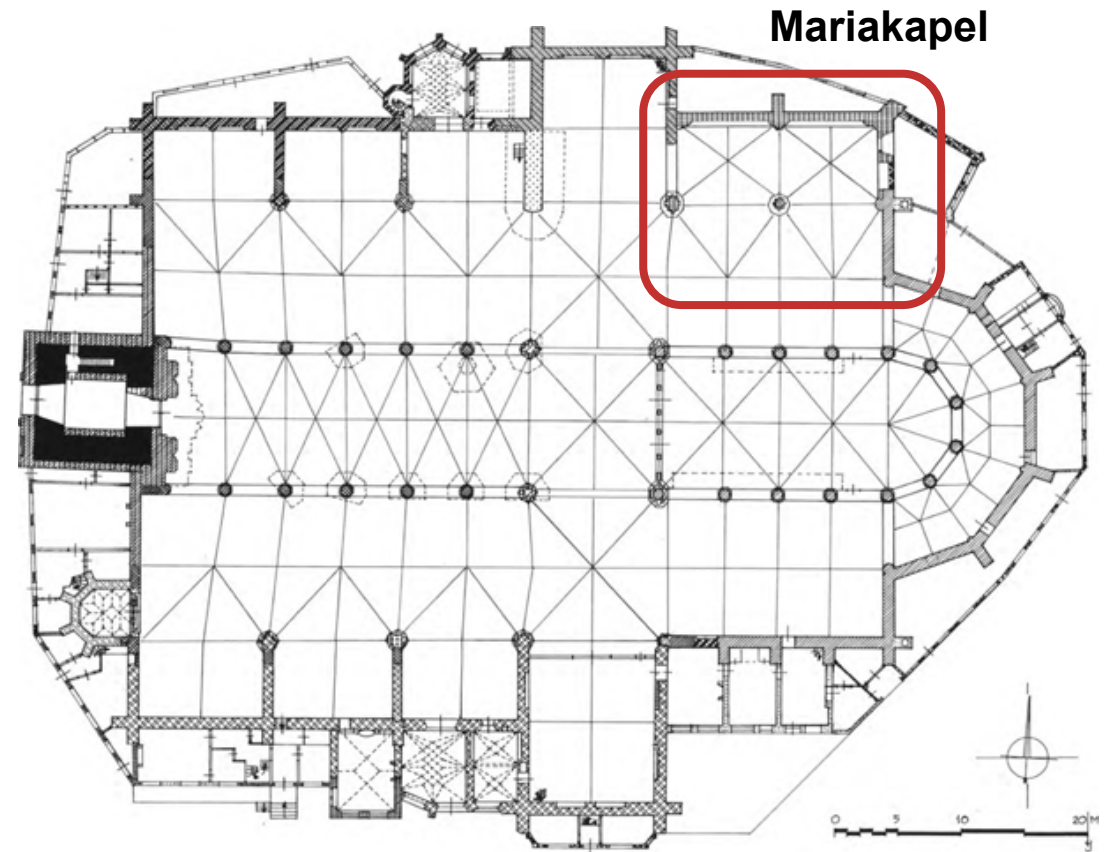
Wat is de conditie en context van de draagconstructie en de daarin geconstateerde schade?

Problematiek

Het onderzoek richt zich op de Mariakapel.

Het volgende is geconstateerd voorafgaand aan het onderzoek:

- scheurvorming in metselwerk;
- horizontale en verticale vervormingen;



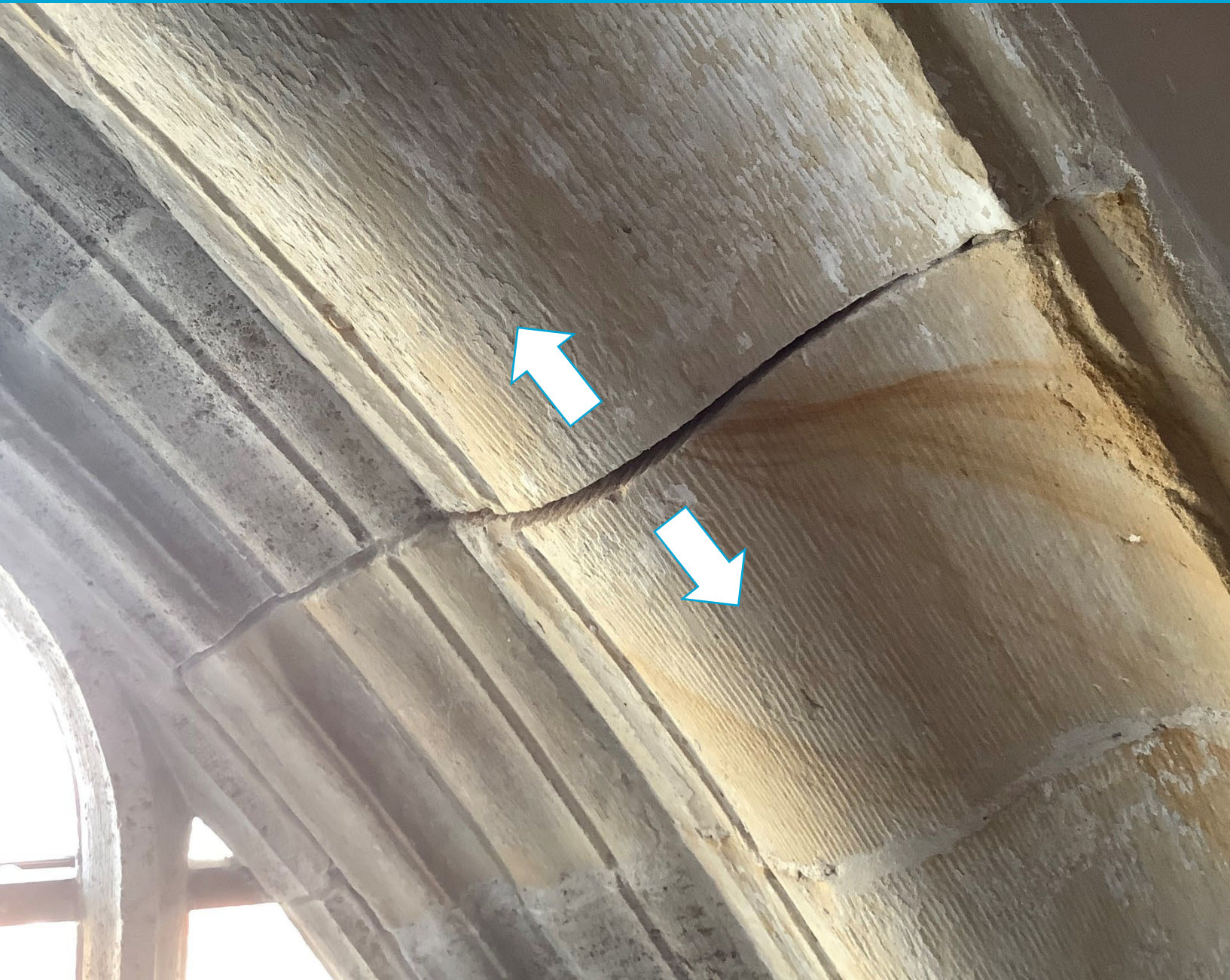
Situatie anno 2000

Afbeelding: De Oude Kerk te Amsterdam, Herman Janse

Crabethraam links boven



Crabethraam rechts boven



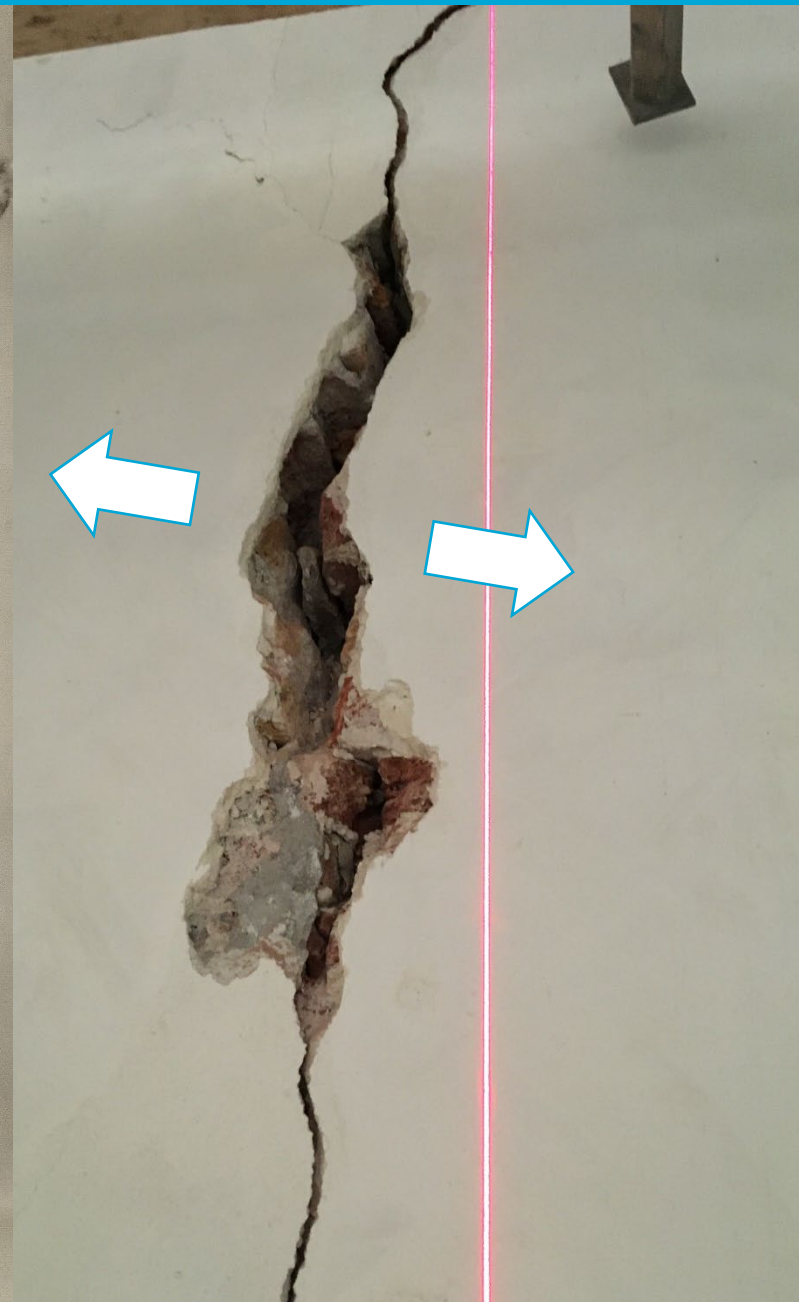
Crabethraam links



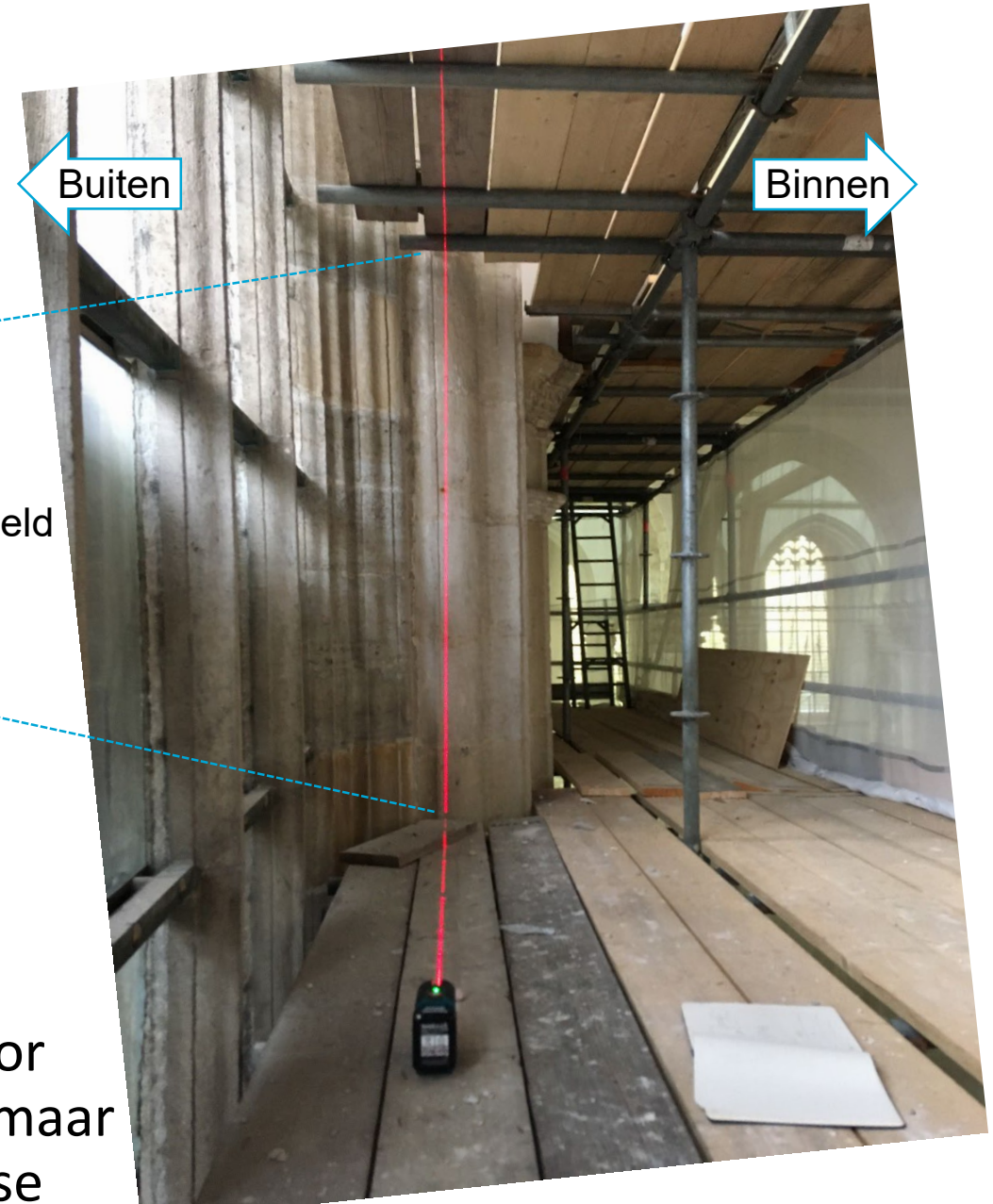
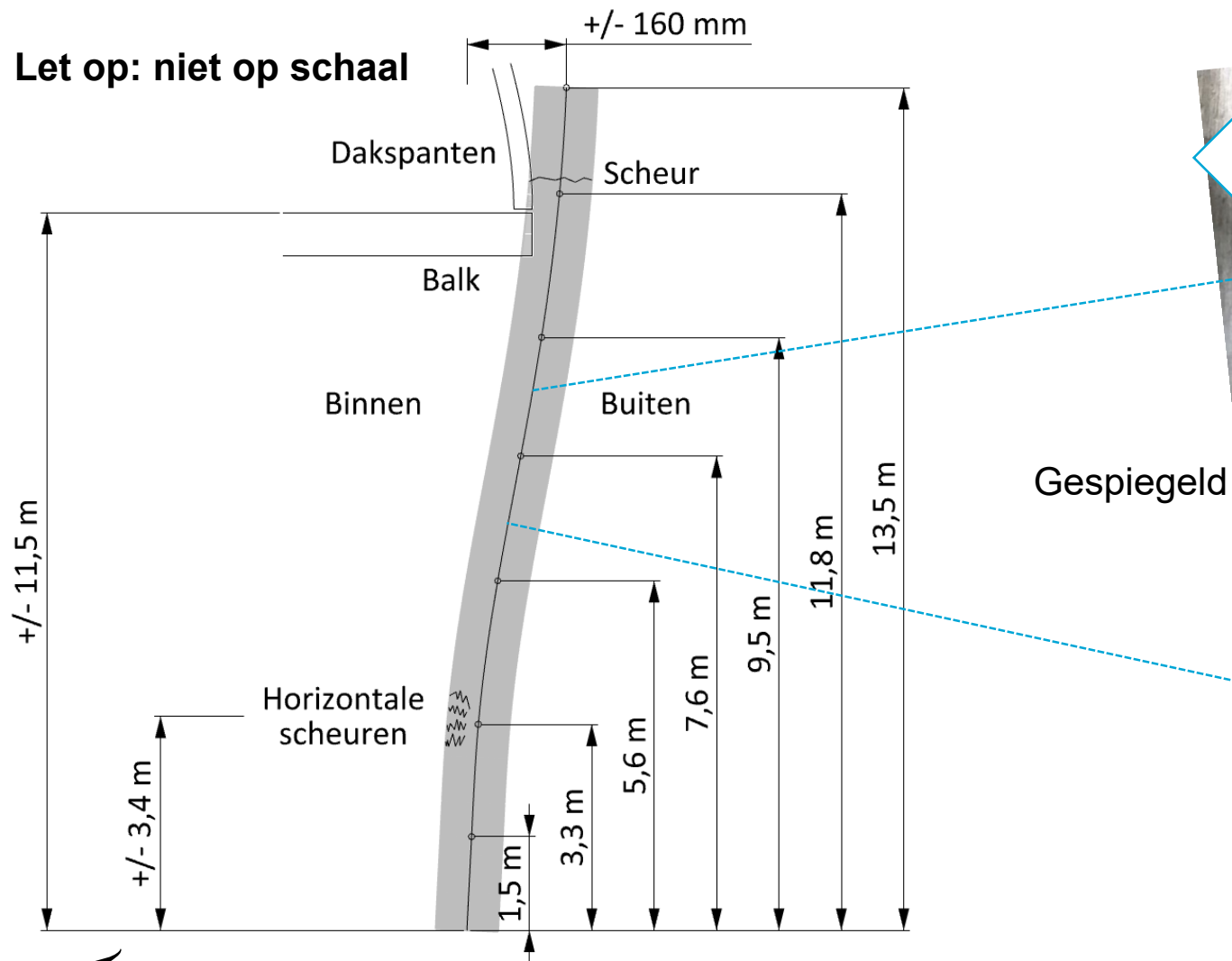
Crabethraam rechts midden



Crabethraam onder



Scheefstand steunbeer 41 (oostelijke wand)



Scheefstand steunbeer 41 (oostelijke wand)

Scheefstand in collegekamer



Kapconstructie



Kapconstructie

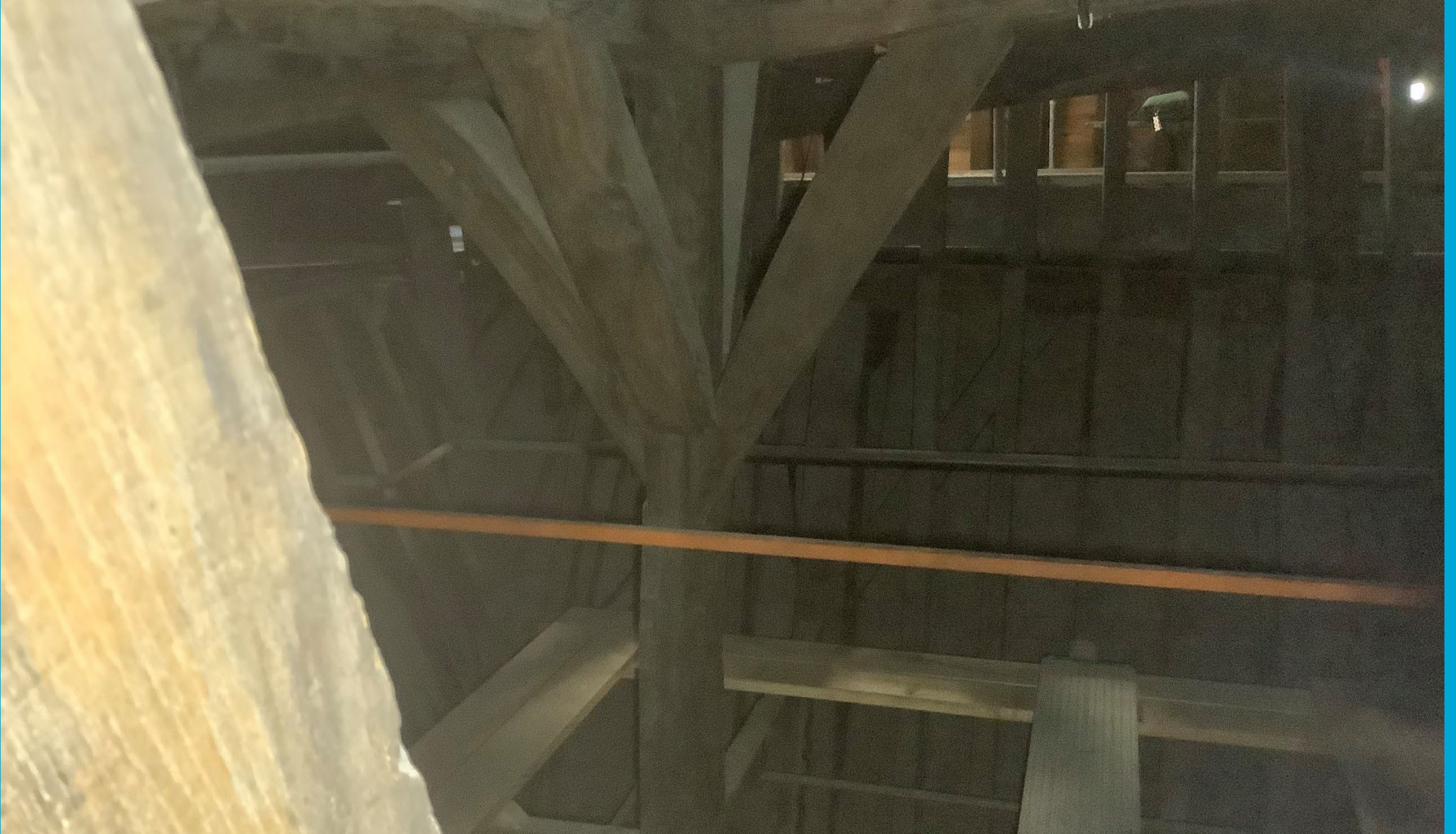


Verbinding los en dakbeschot vast
Constructief gedrag moeilijk vast te stellen

Kapconstructie



Kapconstructie

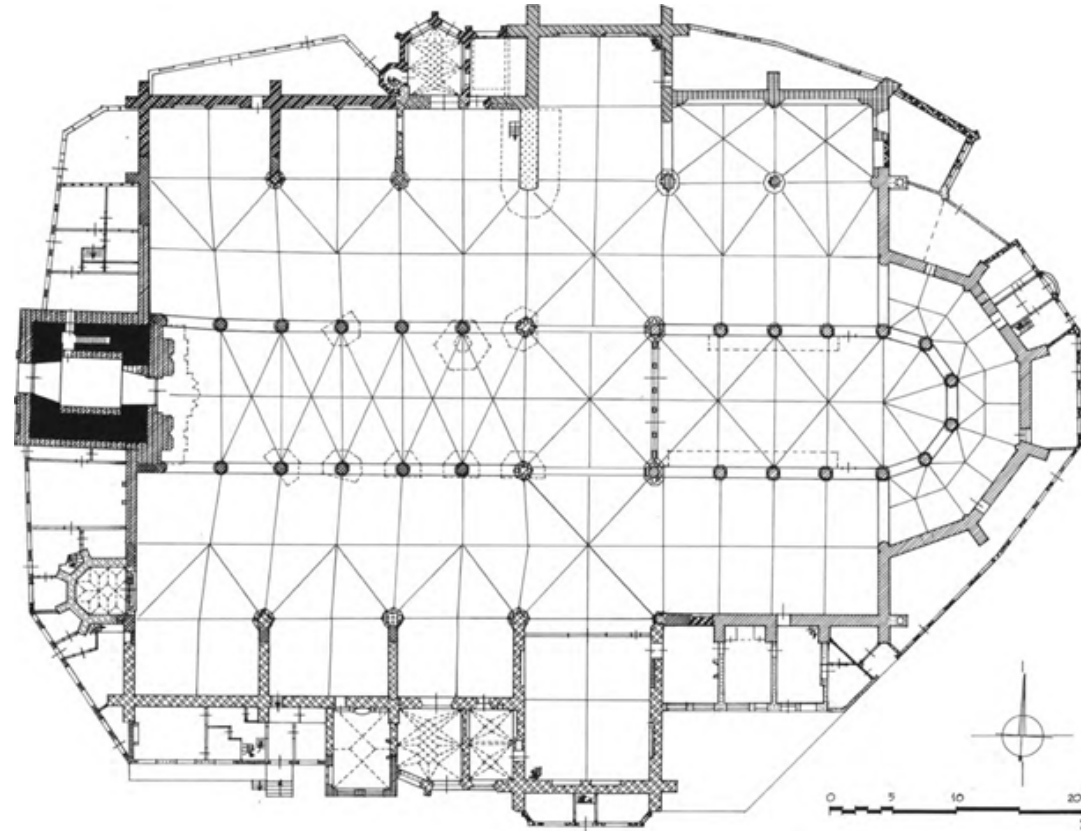


Deelconclusie:

Schade aan metselwerk *én kapconstructie*

Metselwerk en verbindingen worden uit elkaar getrokken

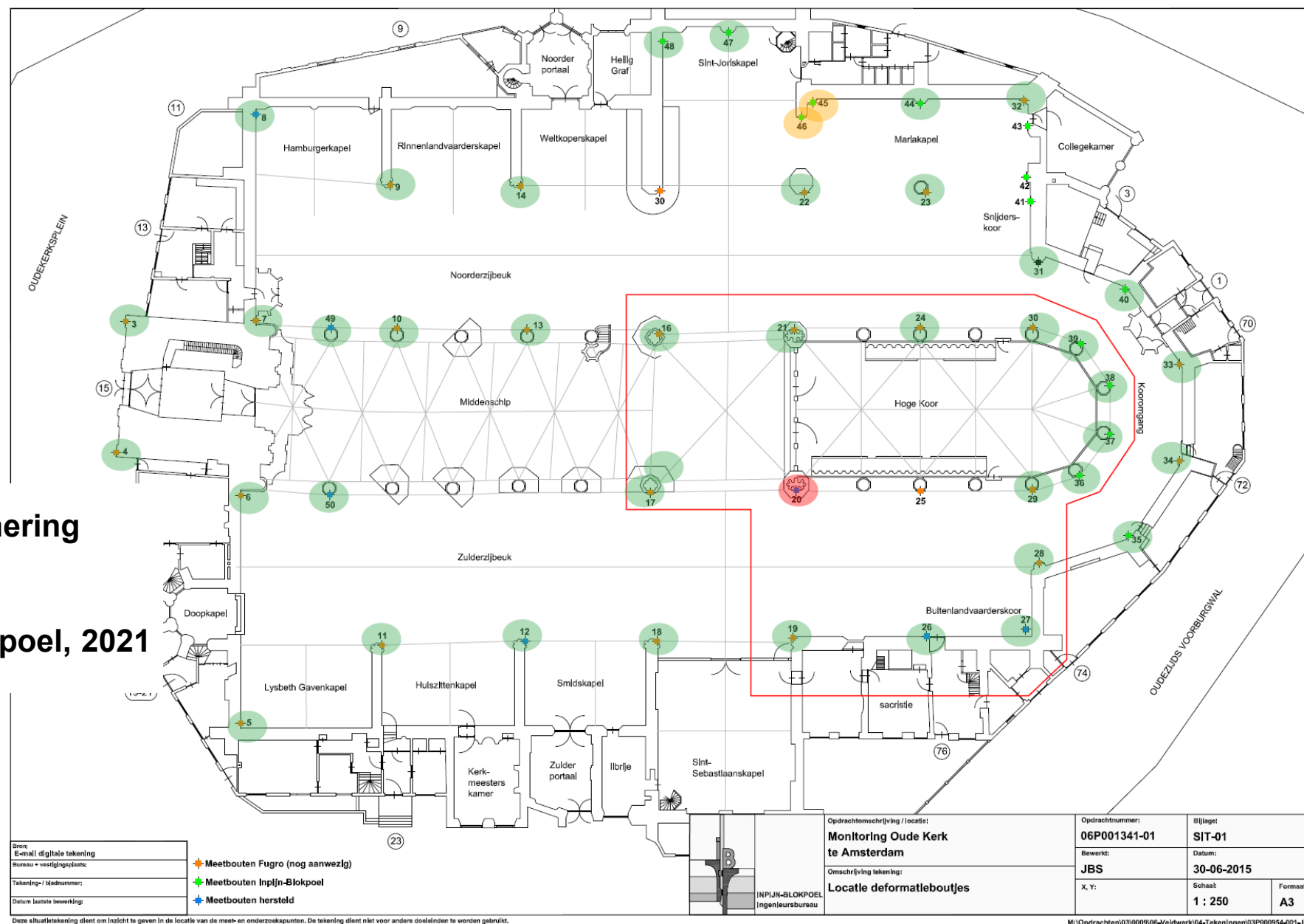
Deformatie metingen



Deformatie metingen

Posities en nummering
meetbouten

Afbeelding: Inpijn-Blokpoel, 2021



Deformatie metingen

Metingen van 1996 t/m 2002 Fugro

Metingen van 2010 t/m 2021 Inpijn-Blokpoel

	nulmeting			zetting tov nulmeting [mm]															zetting tov 29-9-2020 [mm]
	1	2	gem.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	13	14	15	
	12-2-2010	12-2-2010	12-2-2010	12-2-2010	16-4-2010	7-5-2010	11-6-2010	9-7-2010	27-8-2010	22-11-2010	13-1-2011	23-8-2012	13-11-2014	22-11-2017	14-11-2018	29-9-2020	5-5-2021	10-12-2021	
RP 1																			
RP 2	0,3784	0,3787	0,3786																
BOUT 3										0,0	-1,4	-1,3	-2,0	-1,8	-2,2	-2,6		-3,3	-0,7
BOUT 4										0,0	-0,5	-0,5	-1,5	-1,0	-1,6	-1,8		-2,3	-0,5
BOUT 5										0,0	-1,6	-1,8	-2,3	*		-2,9		-3,3	-0,4
BOUT 6	0,2442	0,246	0,2451	0	1,1	0,0	-0,7	-0,5	0,7	0,7	-0,5	-0,4	0,3	-1,9	-1,8	-3,2		-3,6	-0,4
BOUT 7	0,2255	0,2252	0,2254	0	1,4	1,0	0,5	2,1	1,8	1,8	1,6	0,8	-0,3		-3,9	-4,8	-5,8	-6,1	-0,3
BOUT 8												0,0	0,9	*		-0,2		-0,1	0,1
BOUT 9	0,2617	0,2623	0,2620	0	1,1	-0,6	-0,1	1,0	1,0	1,0	0,8	-0,2	-0,2	0,6	1,0	0,5	0,6	0,5	-0,1
BOUT 10	0,1661	0,1664	0,1663	0	1,4	0,3	0,4	1,2	0,5	0,5	0,6	-0,5	-1,4	-1,9	-3,1	-4,4	-5,5	-5,7	-0,2
BOUT 11												0,0	-1,5	*	-2,3	-1,9		-2,8	-0,9
BOUT 12												0,0	-1,1	-1,3	-1,9	-3,4		-3,3	0,1
BOUT 13	0,1539	0,154	0,1540	0	0,8	0,9	0,3	1,3	0,1	0,8	0,3	-0,9	-1,4	-2,7	-4,3	-6,0	-7,1	-8,1	-1,0
BOUT 14	0,1203	0,1208	0,1206	0	1,2	0,0		1,3		0,9	0,4	-0,4	0,3	0,8	1,0	1,4		0,8	-0,3
BOUT 15	0,1741	0,174	0,1741	0	1,2	1,2	0,0	1,0	-0,1	0,4	-0,1	-0,8	0,3		*				0,0
BOUT 16	0,9695	0,9703	0,9699	0	1,5	1,1	0,2	1,3	0,3	1,3	-1,5	-2,0	-2,3	-2,9	-5,2	-6,8	-9,1	-9,7	-0,6
BOUT 17	0,4011	0,4019	0,4015	0		-0,8			-0,7	0,3	-1,3	-1,3	-1,2	-2,0	-2,9	-3,7	-4,6	-4,5	0,1
BOUT 18	0,3945	0,3945	0,3945	0	0,7	-1,6	-0,3	-0,3	-1,5	-0,5	-1,7	-0,5	-1,3	-1,5	-1,7	-2,0	-2,6	-2,4	0,2
BOUT 19	0,4219	0,423	0,4225	0	0,8	-0,4	0,0	-0,1	-1,2	0,1	-1,2	-0,6	-1,4	-1,9	-2,0	-2,6	-2,9	-3,1	-0,2
BOUT 20		0,1287	0,1287	0	0,7	-0,9	-0,4	-1,2	-1,2	-1,1	-2,1	-2,8				-1,8		-4,9	-3,1
BOUT 21	0,1995	0,1992	0,1994	0	2,6	1,8	2,1	2,8	1,6	3,3	1,6	1,0	-1,0	-2,6	-5,7	-7,8	-9,4	-10,5	-1,1
BOUT 22	0,2321	0,2322	0,2322	0	0,8	-0,3	-0,5	0,5	-0,8	-3,8	-1,3	-1,8	-3,5	-5,6	-9,5	-11,7	-14,0	-14,5	-1,5
BOUT 23	0,31	0,3102	0,3101	0	1,1	-0,5	0,2	1,2	-0,3	1,3	-0,8	-1,2	-0,3	-0,7	-1,5	-1,7	-2,3	-2,2	-0,4
BOUT 24	0,2678	0,2677	0,2678	0	0,5	-0,7	-0,1	1,1	-0,8	0,9	-1,5	-2,0	-3,1	-5,6	-9,5	-11,4	-13,6	-15,1	-1,5
BOUT 25	0,1848	0,1842	0,1845	0	0,9	-0,6	1,2		-0,4	-0,4	-2,4	-1,6	-4,3	-7,8	-11,4	-13,0	-15,9		*
BOUT 26		0,1514	0,1514	0									-1,0	*		-2,2		-2,5	-0,3
BOUT 27												0,0	0,2	0,0		-0,2		-0,3	-0,1
BOUT 28	0,1524	0,1515	0,1520	0	1,6	0,4	0,5	1,9	0,5	0,8	-1,5	-0,3	-0,2	-0,8	-1,3	-0,5	-1,8		-0,4
BOUT 29	0,2163	0,2165	0,2164	0	1,0	0,0	0,7	1,7	0,0	1,1	-2,5	-2,1	-3,6	-3,2	-9,8	-10,9	-13,4	-14,7	-1,3
BOUT 30	0,2529	0,2534	0,2532	0	0,0	-1,1	-0,6	0,4	-1,1	-1,3	-1,9	-2,6	-3,4	-3,2	*	-12,2	-15,0	-16,4	-1,4
BOUT 31	0,2459	0,2461	0,2460	0	0,7	0,4	-0,1	1,2	-0,3	1,5	-1,0	-0,2	0,5	0,6	1,6	0,6	0,8	0,6	0,0
BOUT 32	0,5387	0,5385	0,5386	0	0,0	-0,9	-0,6	0,2	-2,0	-0,4	-2,5	-2,8	-3,8	-6,5	-11,1	-12,7	-15,5	-16,1	-1,7
BOUT 33	0,2381	0,2385	0,2383	0	0,9	-0,4	-0,2	0,7	-0,7	0,2	-1,9	-1,5	-1,8	-2,4	-4,1	-4,1	-6,2		-0,6
BOUT 34	0,2256	0,2269	0,2263	0	1,1	-0,2	-0,6	1,1	-0,2	-0,2	-2,3	-1,2	-1,9	-2,5	-3,6	-4,0	-5,1		-0,7
BOUT 35	0,1276	0,1284	0,1280	0	1,4	0,0	-0,1	1,4	0,4	-0,2	-1,8	-1,0	-1,1	-1,5	-2,1	-1,8	-3,1	-3,4	-0,3
BOUT 36	0,2968	0,2982	0,2975	0	1,2	-0,6	0,5	1,4	0,3	1,1	-3,6	-3,2	-5,0	-7,6	-10,6	-12,2	-14,6		-1,2
BOUT 37	0,2715	0,272	0,2718	0	0,9	-0,1	0,0	1,0	-0,7	0,3	-2,3	-2,3	-4,0	-6,4	-10,0	-11,2	-14,2		-1,4
BOUT 38	0,2861	0,2857	0,2859	0	0,1	-1,1	-0,5	0,2	-1,3	-0,3	-3,0	-2,9	-4,6	-6,8	-10,6	-11,8	-14,8		-1,4
BOUT 39	0,3855	0,3858	0,3857	0	0,8	-1,9	-0,1	-0,6	-1,6	0,0	-3,0	-2,9	-4,6	-7,1	-10,4	-13,3	-15,0		-1,1
BOUT 40	0,3711	0,3739	0,3725	0	2,1	1,1	0,9	1,8	0,9	1,3	0,0	0,6	0,6	1,1	0,5	1,1	-0,1	-0,1	0,0
BOUT 41	0,4617	0,4619	0,4618	0	0,2	-1,1	-0,8	-4,0	-1,1	-4,2	-1,6	-1,6	-0,5	-0,5	-1,3	-4,6	*	*	*
BOUT 42	0,5156	0,5157	0,5157	0	0,7	-0,1	-0,2	0,5	-0,7	-0,7		-1,4	-1,3	-0,5	-1,6	-1,2	-3,3	*	*
BOUT 43	0,4916	0,4913	0,4915	0	0,9	-0,3	-0,4	0,5	-1,1	0,5	-1,6	-1,9	-2,5	-3,4	-6,4	-7,1	-9,1	*	*
BOUT 44	0,4092	0,409	0,4091	0	0,5	-0,4	0,0	0,8	-1,3	0,1	-2,1	-2,6	-4,3	-7,2	-12,3	-14,5	-18,1	-18,8	-2,0
BOUT 45	0,3717	0,372	0,3719	0	0,5	-0,5	-0,4	0,3	-1,5	0,0	-2,2	-2,8	-5,1	-8,6	-14,5	-17,0	-20,8		-2,4
BOUT 46	0,4012	0,4018	0,4015	0	1,2	-0,2	0,9	1,7	-0,3	0,8	-0,9	-1,4	-4,1	-7,0	-12,8	-15,7	-19,4		-2,4
BOUT 47	0,4731	0,4733	0,4732	0	0,9		0,1	1,2	0,0	0,3	-0,3	-1,0	-1,1	-3,1	-6,6	-8,0	-9,7		-1,4
BOUT 48	0,4437	0,4432	0,4435	0	1,6		0,5	1,6	0,5	-1,5	0,5	-0,3	0,0	-0,3	-2,1	-2,6	-3,4		-0,5
BOUT 49												0,0	-0,6	-1,8	-2,6	-3,8		-4,2	-0,4
BOUT 50												0,0	-1,5	-1,9	-2,2	-3,1		-4,0	-0,9

Zettingen

Als eerste stap worden de **zettingen** in kaart gebracht aan de hand van de beschikbare deformatiemetingen.

Brondata beschrijft **deformatie t.o.v. referentie punt**. Dit is niet gelijk aan zetting.

Zetting is het **verschil t.o.v. een voorgaande meting**.
Daarvoor is de data bewerkt.

Metingen zijn **incompleet**.

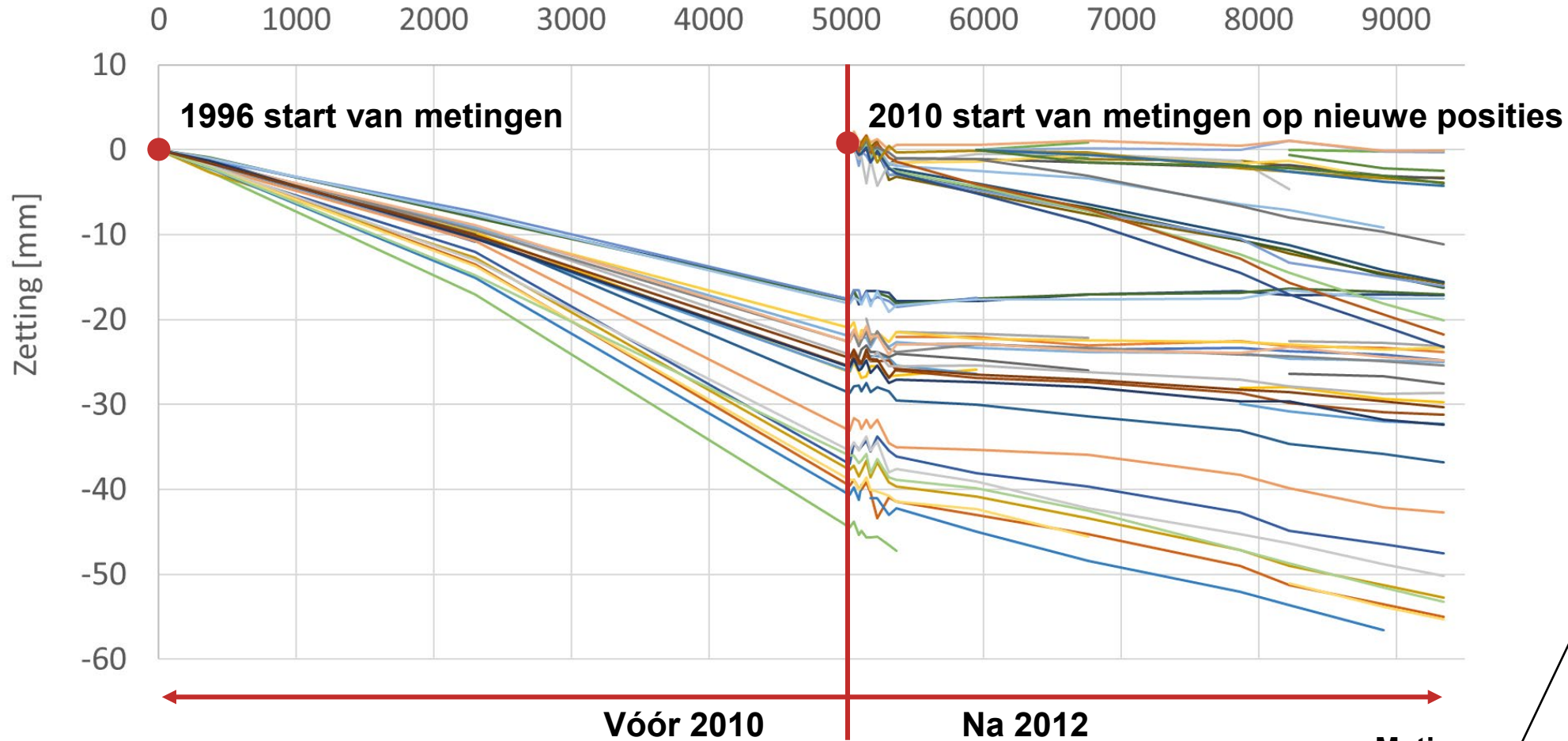
Brondata verwerkt tot beschrijving van zetting

	10-5-1996	13-5-1997	30-8-2002	12-2-2010	12-3-2010	16-4-2010	7-5-2010	11-6-2010	9-7-2010	27-8-2010	22-11-2010	13-1-2011	23-8-2012	13-11-2014	22-11-2017	14-11-2018	29-9-2020	10-12-2021
	0	368	2303	5026	5054	5089	5110	5145	5173	5222	5309	5361	5949	6761	7866	8223	8908	9345
3	0,00	-1,10	-10,80					-21,55				-22,95	-22,85	-23,55	-23,35	-23,75	-24,15	-24,85
4	0,00	-1,40	-9,90					-21,55				-22,05	-22,05	-23,05	-22,55	-23,15	-23,35	-23,85
5	0,00	-1,50	-9,10					-19,85	-21,75	-21,75		-21,45	-21,65	-22,15		-22,55	-22,75	-23,15
6	0,00	-1,90	-9,80	-26,15	-25,05	-26,15	-26,85	-26,65	-25,45	-25,45	-26,65	-26,55	-25,85		-28,05	-27,95	-29,35	-29,75
7	0,00	-1,70	-10,40	-26,05	-24,75	-25,15	-25,65	-23,95	-24,35	-24,35	-24,55	-25,35	-26,35		-29,95	-30,85	-31,95	-32,25
8													0,00	0,90		0,00	-0,20	-0,40
9	0,00	-1,00	-7,90	-17,65	-16,55	-18,25	-17,75	-16,65	-16,65	-16,65	-16,85	-17,85	-17,85	-17,05	-16,65	-17,15	-17,05	-17,15
10	0,00	-1,40	-10,30	-25,45	-24,05	-25,15	-25,05	-24,25	-24,95	-24,95	-24,85	-25,95	-26,85	-27,35	-28,65	-29,85	-30,95	-31,45
11	0,00	-1,40	-10,00			-24,45	-23,55	-23,05	-23,85	-23,85	-24,45	-24,05	-24,75	-25,95		-26,35	-26,65	-27,55
12													0,00	-1,10	-1,30	-1,90	-3,40	-3,30
13	0,00	-1,60	-10,10	-28,65	-27,85	-27,75	-28,45	-27,45	-28,55	-27,95	-28,45	-29,55	-30,05	-31,35	-33,05	-34,65	-35,85	-36,85
14	0,00	-0,90	-8,00	-17,75	-16,65	-17,75		-16,55		-16,85	-17,35	-18,15	-17,55	-17,05	-16,85	-16,35	-16,75	-17,05
15	0,00	-1,20	-7,30	-17,65	-16,55	-16,55	-17,75	-16,75	-17,85	-17,35	-17,85	-18,55	-17,45					
16	0,00	-2,00	-10,70	-33,05	-31,55	-31,95	-32,85	-31,75	-32,75	-31,75	-34,55	-35,05	-35,35	-35,95	-38,25	-39,85	-42,15	-42,75
17	0,00	-1,80	-9,30	-24,15		-24,95		-24,85		-23,85	-25,45	-25,45	-25,35	-26,15	-27,05	-27,85	-28,75	-28,65
18	0,00	-1,60	-9,30	-20,95	-20,25	-22,55	-21,25	-21,25	-22,45	-21,45	-22,65	-21,45	-22,25	-22,45	-22,65	-22,95	-23,55	-23,35
19	0,00	-1,80	-9,20	-21,95	-21,25	-22,35	-22,05	-22,15	-23,25	-21,85	-23,25	-22,65	-23,35	-23,85	-23,95	-24,65	-24,85	-25,05
20	0,00	-2,60	-17,00	-44,45	-43,75	-45,35	-44,85	-45,65	-45,65	-45,55	-46,55	-47,25						
21	0,00	-2,20	-12,00	-37,05	-34,55	-35,35	-34,95	-34,25	-35,55	-33,75	-35,45	-36,15	-38,05	-39,65	-42,75	-44,85	-46,45	-47,55
22	0,00	-2,00	-13,50	-39,55	-38,85	-39,95	-40,05	-39,15	-40,35	-43,35	-40,95	-41,45	-43,05	-45,25	-49,05	-51,25	-53,55	-55,05
23	0,00	-1,40	-9,50	-22,65	-21,55	-23,15	-22,45	-21,45	-22,95	-21,35	-23,45	-23,85	-22,95	-23,35	-24,15	-24,35	-24,95	-25,35
24	0,00	-2,70	-12,70	-37,65	-37,15	-38,45	-37,85	-36,65	-38,55	-36,85	-39,15	-39,65	-40,85	-43,35	-47,15	-49,05	-51,25	-52,75
25	0,00	-2,20	-15,10	-40,65	-39,75	-41,25	-39,45		-41,05	-41,05	-43,05	-42,25	-44,95	-48,45	-52,05	-53,65	-56,55	-57,75
26													0,00	-1,00		-0,60	-2,20	-2,50
27													0,00	0,20	0,00	1,10	-0,20	-0,30
28	0,00	-1,60	-8,90	-22,65	-21,15	-22,25	-22,15	-20,75	-22,15	-21,85	-24,15	-22,95	-22,85	-23,65	-23,95	-23,25	-24,45	-24,85
29	0,00	-1,90	-13,00	-35,45	-34,45	-35,45	-34,75	-33,75	-35,45	-34,35	-37,95	-37,55	-39,05	-42,25	-45,25	-46,35	-48,85	-50,15
30	0,00	-2,10	-13,70	-38,85	-38,85	-40,05	-39,55	-38,55	-40,05	-40,25	-40,75	-41,45	-42,35	-45,55		-51,05	-53,85	-55,25
31	0,00	-1,00	-7,70	-18,15	-17,45	-17,75	-18,25	-16,95	-18,45	-16,65	-19,15	-18,35	-17,65	-17,65	-17,55	-16,55	-17,55	-17,55
32	0,00	-2,10	-14,80	-36,05	-36,05	-36,95	-36,65	-35,85	-38,05	-36,45	-38,55	-38,85	-39,85	-42,55	-47,15	-48,75	-51,55	-53,25
33	0,00	-1,30	-10,40	-25,55	-24,65	-25,95	-25,75	-24,85	-26,25	-25,35	-27,45	-27,05	-27,35	-27,95	-29,65	-29,65	-31,75	-32,35
34	0,00	-1,60	-10,10	-24,55	-23,55	-24,75	-25,15	-23,55	-24,75	-24,75	-26,85	-25,75	-26,45	-27,05	-28,25	-28,55	-29,65	-30,35
35				0,00	1,40	0,00	-0,10	1,40	0,40	-0,20	-1,80	-1,00	-1,10	-1,50	-2,10	-1,80	-3,10	-3,40
36				0,00	1,20	-0,60	0,50	1,40	0,30	1,10	-3,60	-3,20	-5,00	-7,60	-10,60	-12,20	-14,60	-15,80
37				0,00	0,90	-0,10	0,00	1,00	-0,70	0,30	-2,30	-2,30	-4,00	-6,40	-10,10	-11,20	-14,20	-15,60
38				0,00	0,10	-1,10	-0,50	0,20	-1,30	-0,30	-3,00	-2,90	-4,60	-6,80	-10,60	-11,80	-14,80	-16,20
39				0,00	2,10	-1,90	-0,20	-0,70	-1,60	0,00	-3,00	-2,90	-4,70	-7,20	-10,40	-13,30	-15,00	-16,10
40				0,00	0,70	1,10	0,90	1,80	0,90	1,30	0,00	0,60	0,60	1,10	0,50	1,10	-0,10	-0,10
41				0,00	0,20	-1,10	-0,80	-4,00	-1,10	-4,20	-1,60	-1,60	-0,50	-0,50	-1,30	-4,60		
42				0,00	0,60	-0,20	-0,30	0,40	-0,80	-0,80		-1,50	-1,40	-0,60	-1,60	-1,30	-3,40	
43				0,00	0,80	-0,30	-0,40	0,40	-1,10	0,40	-1,70	-1,90	-2,50	-3,40	-6,40	-7,10	-9,20	
44				0,00	0,50	-0,40	0,00	0,80	-1,30	0,10	-2,10	-2,60	-4,30	-7,20	-12,30	-14,50	-18,10	-20,10
45				0,00	0,50	-0,60	-0,40	0,30	-1,50	-0,10	-2,20	-2,80	-5,10	-8,60	-14,50	-17,00	-20,80	-23,20
46				0,00	1,20	-0,20	0,90	1,70	-0,30	0,80	-0,90	-1,40	-4,10	-7,00	-12,80	-15,70	-19,40	-21,80
47				0,00	0,90		0,10	1,20	0,00	0,30	-0,30	-1,00	-1,10	-3,10	-6,60	-8,00	-9,70	-11,10
48				0,00	1,50		0,50	1,50	0,50	-1,50	0,50	-0,30	-0,10	-0,30	-2,20	-2,60	-3,40	-3,90
49													0,00	-0,60	-1,80	-2,60	-3,80	-4,20
50													0,00	-1,50	-1,90	-2,20	-3,10	-4,00

Start metingen op nieuwe posities

Zettingen

Dagen na 10-5-1996



Zetting per dag			
	Voor 2010	Na 2010	
3	-0,0047	-0,0008	16,8%
4	-0,0043	-0,0005	12,7%
5	-0,0040	-0,0008	19,9%
6	-0,0052	-0,0008	16,0%
7	-0,0052	-0,0014	27,7%
8	-0,0002	0,0000	12,2%
9	-0,0035	0,0001	-3,3%
10	-0,0051	-0,0013	26,1%
11	-0,0043	-0,0007	16,8%
12	-0,0065	-0,0010	15,1%
13	-0,0057	-0,0019	33,3%
14	-0,0035	0,0002	-4,6%
15	-0,0035	0,0002	-6,2%
16	-0,0066	-0,0022	34,2%
17	-0,0048	-0,0010	21,7%
18	-0,0042	-0,0006	13,3%
19	-0,0044	-0,0007	16,4%
20	-0,0088	-0,0084	94,5%
21	-0,0074	-0,0024	33,0%
22	-0,0079	-0,0036	45,6%
23	-0,0045	-0,0006	13,9%
24	-0,0075	-0,0035	46,7%
25	-0,0081	-0,0041	50,6%
26	-0,0053	-0,0007	13,9%
27	-0,0006	-0,0001	13,9%
28	-0,0045	-0,0005	11,3%
29	-0,0071	-0,0034	48,3%
30	-0,0077	-0,0038	49,1%
31	-0,0036	0,0001	-3,8%
32	-0,0072	-0,0040	55,5%
33	-0,0051	-0,0016	31,0%
34	-0,0049	-0,0013	27,5%
35	-0,0041	-0,0008	19,4%
36	-0,0097	-0,0037	37,9%
37	-0,0095	-0,0036	37,9%
38	-0,0128	-0,0038	29,2%
39	-0,0093	-0,0037	40,0%
40	-0,0002	0,0000	13,6%
41	-0,0056	-0,0014	25,8%
42	-0,0034	-0,0009	25,8%
43	-0,0043	-0,0024	55,5%
44	-0,0084	-0,0047	55,5%
45	-0,0118	-0,0054	45,6%
46	-0,0111	-0,0050	45,6%
47	-0,0130	-0,0026	19,7%
48	-0,0046	-0,0009	19,7%
49	-0,0077	-0,0012	16,0%
50	-0,0043	-0,0012	27,7%

Zettingen

Aanname: **zetting vóór en na 2010 is bij benadering lineair.**

D.m.v. berekende en ingeschatte zetting per dag kan de **zetting t.o.v. een datum** worden verkregen.

Let op: in bijzonder is de data voor meetpunt 35 t/m 50 **sterk afhankelijk van de aanname**

Schatting van zettingen sinds 1996

	10-5-1996	10-5-1996	13-5-1997	30-8-2002	12-2-2010	12-3-2010	16-4-2010	7-5-2010	11-6-2010	9-7-2010	27-8-2010	22-11-2010	13-1-2011	23-8-2012	13-11-2014	22-11-2017	14-11-2018	29-9-2020	10-12-2021
	0	0	368	2303	5026	5054	5089	5110	5145	5173	5222	5309	5361	5949	6761	7866	8223	8908	9345
3	0,00	0,00	-1,73	-10,80	-23,57	-23,59	-23,62	-23,64	-23,66	-23,69	-23,72	-23,79	-23,83	-24,29	-24,93	-25,80	-26,08	-26,62	-26,96
4	0,00	0,00	-1,58	-9,90	-21,61	-21,62	-21,64	-21,65	-21,67	-21,69	-21,71	-21,76	-21,79	-22,11	-22,56	-23,16	-23,36	-23,73	-23,97
5	0,00	0,00	-1,45	-9,10	-19,86	-19,88	-19,91	-19,93	-19,95	-19,98	-20,01	-20,08	-20,12	-20,58	-21,22	-22,09	-22,37	-22,91	-23,25
6	0,00	0,00	-1,91	-11,98	-26,15	-26,17	-26,20	-26,22	-26,25	-26,27	-26,31	-26,39	-26,43	-26,92	-27,60	-28,52	-28,81	-29,39	-29,75
7	0,00	0,00	-1,91	-11,94	-26,05	-26,09	-26,14	-26,17	-26,22	-26,26	-26,33	-26,46	-26,53	-27,37	-28,54	-30,13	-30,64	-31,62	-32,25
8	0,00	0,00	-0,09	-0,56	-1,21	-1,21	-1,21	-1,22	-1,22	-1,22	-1,22	-1,22	-1,22	-1,24	-1,26	-1,30	-1,31	-1,33	-1,34
9	0,00	0,00	-1,29	-8,09	-17,65	-17,65	-17,64	-17,64	-17,64	-17,63	-17,63	-17,62	-17,61	-17,54	-17,45	-17,32	-17,28	-17,20	-17,15
10	0,00	0,00	-1,86	-11,66	-25,45	-25,49	-25,53	-25,56	-25,61	-25,64	-25,71	-25,82	-25,89	-26,67	-27,74	-29,20	-29,67	-30,57	-31,45
11	0,00	0,00	-1,60	-10,00	-21,82	-21,84	-21,87	-21,88	-21,91	-21,93	-21,97	-22,03	-22,07	-22,50	-23,09	-23,89	-24,15	-24,65	-24,97
12	0,00	0,00	-2,38	-14,87	-32,45	-32,47	-32,51	-32,53	-32,56	-32,59	-32,64	-32,72	-32,77	-33,34	-34,13	-35,20	-35,55	-36,22	-36,64
13	0,00	0,00	-2,10	-13,13	-28,65	-28,70	-28,77	-28,81	-28,88	-28,93	-29,02	-29,19	-29,29	-30,40	-31,94	-34,04	-34,72	-36,02	-36,85
14	0,00	0,00	-1,30	-8,13	-17,75	-17,75	-17,74	-17,74	-17,73	-17,73	-17,72	-17,70	-17,70	-17,60	-17,47	-17,29	-17,23	-17,12	-17,05
15	0,00	0,00	-1,29	-8,09	-17,65	-17,64	-17,64	-17,63	-17,62	-17,62	-17,61	-17,59	-17,58	-17,45	-17,27	-17,03	-16,96	-16,81	-16,71
16	0,00	0,00	-2,42	-15,14	-33,05	-33,11	-33,19	-33,24	-33,32	-33,38	-33,49	-33,69	-33,80	-35,12	-36,95	-39,43	-40,23	-41,77	-42,75
17	0,00	0,00	-1,77	-11,07	-24,15	-24,18	-24,22	-24,24	-24,27	-24,30	-24,35	-24,44	-24,50	-25,11	-25,96	-27,11	-27,48	-28,19	-28,65
18	0,00	0,00	-1,53	-9,60	-20,95	-20,97	-20,99	-21,00	-21,02	-21,03	-21,06	-21,11	-21,14	-21,46	-21,91	-22,53	-22,73	-23,11	-23,35
19	0,00	0,00	-1,61	-10,06	-21,95	-21,97	-22,00	-22,01	-22,04	-22,06	-22,09	-22,15	-22,19	-22,61	-23,20	-23,99	-24,24	-24,74	-25,05
20	0,00	0,00	-3,25	-20,37	-44,45	-44,68	-44,98	-45,15	-45,44	-45,68	-46,09	-46,82	-47,25	-52,16	-58,95	-68,19	-71,17	-76,90	-80,55
21	0,00	0,00	-2,71	-16,98	-37,05	-37,12	-37,20	-37,25	-37,34	-37,41	-37,53	-37,74	-37,86	-39,29	-41,27	-43,95	-44,82	-46,49	-47,55
22	0,00	0,00	-2,90	-18,12	-39,55	-39,65	-39,78	-39,85	-39,98	-40,08	-40,25	-40,57	-40,75	-42,86	-45,78	-49,74	-51,02	-53,48	-55,05
23	0,00	0,00	-1,66	-10,38	-22,65	-22,67	-22,69	-22,70	-22,72	-22,74	-22,77	-22,83	-22,86	-23,23	-23,73	-24,43	-24,65	-25,08	-25,35
24	0,00	0,00	-2,76	-17,25	-37,65	-37,75	-37,87	-37,94	-38,07	-38,16	-38,34	-38,64	-38,82	-40,88	-43,72	-47,58	-48,83	-51,22	-52,75
25	0,00	0,00	-2,98	-18,63	-40,65	-40,76	-40,91	-40,99	-41,14	-41,25	-41,45	-41,81	-42,02	-44,43	-47,76	-52,28	-53,74	-56,55	-58,34
26	0,00	0,00	-1,95	-12,22	-26,68	-26,70	-26,72	-26,74	-26,77	-26,79	-26,82	-26,89	-26,92	-27,36	-27,96	-28,77	-29,03	-29,54	-29,86
27	0,00	0,00	-0,23	-1,47	-3,20	-3,20	-3,21	-3,21	-3,21	-3,21	-3,22	-3,23	-3,23	-3,28	-3,35	-3,45	-3,48	-3,54	-3,58
28	0,00	0,00	-1,66	-10,38	-22,65	-22,66	-22,68	-22,69	-22,71	-22,72	-22,75	-22,79	-22,82	-23,12	-23,53	-24,10	-24,28	-24,63	-24,85
29	0,00	0,00	-2,60	-16,24	-35,45	-35,55	-35,66	-35,74	-35,86	-35,95	-36,12	-36,41	-36,59	-38,59	-41,36	-45,12	-46,33	-48,66	-50,15
30	0,00	0,00	-2,84	-17,80	-38,85	-38,96	-39,09	-39,17	-39,30	-39,41	-39,59	-39,92	-40,12	-42,35	-45,44	-49,63	-50,99	-53,59	-55,25
31	0,00	0,00	-1,33	-8,32	-18,15	-18,15	-18,14	-18,14	-18,13	-18,13	-18,12	-18,11	-18,10	-18,02	-17,91	-17,76	-17,71	-17,61	-17,55
32	0,00	0,00	-2,64	-16,52	-36,05	-36,16	-36,30	-36,38	-36,52	-36,64	-36,83	-37,18	-37,38	-39,73	-42,96	-47,36	-48,78	-51,51	-53,25
33	0,00	0,00	-1,87	-11,71	-25,55	-25,59	-25,65	-25,68	-25,74	-25,78	-25,86	-26,00	-26,08	-27,00	-28,28	-30,02	-30,58	-31,66	-32,35
34	0,00	0,00	-1,80	-11,25	-24,55	-24,59	-24,63	-24,66	-24,71	-24,75	-24,81	-24,93	-25,00	-25,79	-26,88	-28,36	-28,84	-29,76	-30,35
35	0,00	0,00	-1,49	-9,35	-20,40	-20,42	-20,45	-20,46	-20,49	-20,51	-20,55	-20,62	-20,66	-21,12	-21,76	-22,63	-22,91	-23,45	-23,80
36	0,00	0,00	-3,55	-22,24	-48,55	-48,65	-48,78	-48,85	-48,98	-49,08	-49,26	-49,58	-49,77	-51,92	-54,89	-58,94	-60,24	-62,75	-64,35
37	0,00	0,00	-3,51	-21,96	-47,93	-48,03	-48,16	-48,24	-48,36	-48,46	-48,64	-48,95	-49,14	-51,27	-54,20	-58,19	-59,48	-61,95	-63,53
38	0,00	0,00	-4,72	-29,55	-64,49	-64,60	-64,73	-64,81	-64,94	-65,04	-65,23	-65,55	-65,75	-67,95	-71,00	-75,14	-76,48	-79,05	-80,69
39	0,00	0,00	-3,43	-21,44	-46,78	-46,89	-47,02	-47,10	-47,23	-47,33	-47,51	-47,84	-48,03	-50,22	-53,25	-57,37	-58,70	-61,25	-62,88
40	0,00	0,00	-0,06	-0,39	-0,86	-0,86	-0,86	-0,86	-0,86	-0,86	-0,86	-0,86	-0,87	-0,88	-0,90	-0,92	-0,93	-0,95	-0,96
41	0,00	0,00	-2,05	-12,83	-27,99	-28,03	-28,08	-28,11	-28,16	-28,20	-28,27	-28,40	-28,47	-29,32	-30,49	-32,08	-32,59	-33,57	-34,20
42	0,00	0,00	-1,25	-7,81	-17,04	-17,06	-17,09	-17,11	-17,14	-17,17	-17,21	-17,29	-17,33	-17,85	-18,56	-19,52	-19,84	-20,44	-20,82
43	0,00	0,00	-1,57	-9,83	-21,45	-21,52	-21,60	-21,65	-21,74	-21,80	-21,92	-22,12	-22,25	-23,64	-25,57	-28,18	-29,03	-30,65	-31,69
44	0,00	0,00	-3,08	-19,30	-42,13	-42,26	-42,42	-42,52	-42,68	-42,81	-43,04	-43,45	-43,69	-46,42	-50,20	-55,35	-57,01	-60,19	-62,23
45	0,00	0,00	-4,33	-27,13	-59,20	-59,35	-59,54	-59,65	-59,84	-59,99	-60,25	-60,72	-61,00	-64,16	-68,52	-74,45	-76,37	-80,05	-82,40
46	0,00	0,00	-4,07	-25,49	-55,63	-55,77	-55,94	-56,05	-56,23	-56,37	-56,61	-57,05	-57,32	-60,28	-64,38	-69,96	-71,76	-75,22	-77,43
47	0,00	0,00	-4,80	-30,02	-65,51	-65,58	-65,67	-65,72	-65,81	-65,89	-66,01	-66,24	-66,37	-67,88	-69,97	-72,81	-73,73	-75,49	-76,61
48	0,00	0,00	-1,69	-10,55	-23,02	-23,04	-23,07	-23,09	-23,12	-23,15	-23,19	-23,27	-23,32	-23,85	-24,58	-25,90	-26,52	-26,92	-27,22
49	0,00	0,00	-2,84	-17,78	-38,80	-38,83	-38,88	-38,90	-38,95	-38,98	-39,04	-39,15	-39,21	-39,94	-40,95	-42,31	-42,75	-43,60	-44,14
50	0,00	0,00	-1,57	-9,79	-21,37	-21,41	-21,45	-21,47	-21,51	-21,55	-21,61	-21,71	-21,77	-22,46	-23,42	-24,72	-25,14	-25,95	-26,46

-17,15

Controle

-55,05

Zettingen

Aanname: **zetting vóór en na 2010 is bij benadering lineair.**

D.m.v. berekende en ingeschatte zetting per dag kan de **zetting t.o.v. een datum** worden verkregen.

Let op: in bijzonder is de data voor knoop 35 t/m 50 **sterk afhankelijk van de aanname**

Schatting van zettingen sinds 1996

	10-5-1996	10-5-1996	13-5-1997	30-8-2002	12-2-2010	12-3-2010	16-4-2010	7-5-2010	11-6-2010	9-7-2010	27-8-2010	22-11-2010	13-1-2011	23-8-2012	13-11-2014	22-11-2017	14-11-2018	29-9-2020	10-12-2021
	0	0	368	2303	5026	5054	5089	5110	5145	5173	5222	5309	5361	5949	6761	7866	8223	8908	9345
3	0,00	0,00	-1,73	-10,80	-23,57	-23,59	-23,62	-23,64	-23,66	-23,69	-23,72	-23,79	-23,83	-24,29	-24,93	-25,80	-26,08	-26,62	-26,96
4	0,00	0,00	-1,58	-9,90	-21,61	-21,62	-21,64	-21,65	-21,67	-21,69	-21,71	-21,76	-21,79	-22,11	-22,56	-23,16	-23,36	-23,73	-23,97
5	0,00	0,00	-1,45	-9,10	-19,86	-19,88	-19,91	-19,93	-19,95	-19,98	-20,01	-20,08	-20,12	-20,58	-21,22	-22,09	-22,37	-22,91	-23,25
6	0,00	0,00	-1,91	-11,98	-26,15	-26,17	-26,20	-26,22	-26,25	-26,27	-26,31	-26,39	-26,43	-26,92	-27,60	-28,52	-28,81	-29,39	-29,75
7	0,00	0,00	-1,91	-11,94	-26,05	-26,09	-26,14	-26,17	-26,22	-26,26	-26,33	-26,46	-26,53	-27,37	-28,54	-30,13	-30,64	-31,62	-32,25
8	0,00	0,00	-0,09	-0,56	-1,21	-1,21	-1,21	-1,22	-1,22	-1,22	-1,22	-1,22	-1,22	-1,24	-1,26	-1,30	-1,31	-1,33	-1,34
9	0,00	0,00	-1,29	-8,09	-17,65	-17,65	-17,64	-17,64	-17,64	-17,63	-17,63	-17,62	-17,61	-17,54	-17,45	-17,32	-17,28	-17,20	-17,15
10	0,00	0,00	-1,86	-11,66	-25,45	-25,49	-25,53	-25,56	-25,61	-25,64	-25,71	-25,82	-25,89	-26,67	-27,74	-29,20	-29,67	-30,57	-31,15
11	0,00	0,00	-1,60	-10,00	-21,82	-21,84	-21,87	-21,88	-21,91	-21,93	-21,97	-22,03	-22,07	-22,50	-23,09	-23,89	-24,15	-24,65	-24,97
12	0,00	0,00	-2,38	-14,87	-32,45	-32,47	-32,51	-32,53	-32,56	-32,59	-32,64	-32,72	-32,77	-33,34	-34,13	-35,20	-35,55	-36,22	-36,64
13	0,00	0,00	-2,10	-13,13	-28,65	-28,70	-28,77	-28,81	-28,88	-28,93	-29,02	-29,19	-29,29	-30,40	-31,94	-34,04	-34,72	-36,02	-36,85
14	0,00	0,00	-1,30	-8,13	-17,75	-17,75	-17,74	-17,74	-17,73	-17,73	-17,72	-17,70	-17,70	-17,60	-17,47	-17,29	-17,23	-17,12	-17,05
15	0,00	0,00	-1,29	-8,09	-17,65	-17,64	-17,64	-17,63	-17,62	-17,62	-17,61	-17,59	-17,58	-17,45	-17,27	-17,03	-16,96	-16,81	-16,71
16	0,00	0,00	-2,42	-15,14	-33,05	-33,11	-33,19	-33,24	-33,32	-33,38	-33,49	-33,69	-33,80	-35,12	-36,95	-39,43	-40,23	-41,77	-42,75
17	0,00	0,00	-1,77	-11,07	-24,15	-24,18	-24,22	-24,24	-24,27	-24,30	-24,35	-24,44	-24,50	-25,11	-25,96	-27,11	-27,48	-28,19	-28,65
18	0,00	0,00	-1,53	-9,60	-20,95	-20,97	-20,99	-21,00	-21,02	-21,03	-21,06	-21,11	-21,14	-21,46	-21,91	-22,53	-22,73	-23,11	-23,35
19	0,00	0,00	-1,61	-10,06	-21,95	-21,97	-22,00	-22,01	-22,04	-22,06	-22,09	-22,15	-22,19	-22,61	-23,20	-23,99	-24,24	-24,74	-25,05
20	0,00	0,00	-3,25	-26,97	-44,45	-44,68	-44,98	-45,15	-45,44	-45,68	-46,05	-46,62	-47,25	-52,16	-58,55	-68,19	-71,17	-76,38	-80,59
21	0,00	0,00	-2,71	-16,98	-37,05	-37,12	-37,20	-37,25	-37,34	-37,41	-37,53	-37,74	-37,86	-39,29	-41,27	-43,95	-44,82	-46,49	-47,55
22	0,00	0,00	-2,90	-18,12	-39,55	-39,65	-39,78	-39,85	-39,98	-40,08	-40,25	-40,57	-40,75	-42,86	-45,78	-49,74	-51,02	-53,48	-55,05
23	0,00	0,00	-1,66	-10,38	-22,65	-22,67	-22,69	-22,70	-22,72	-22,74	-22,77	-22,83	-22,86	-23,23	-23,73	-24,43	-24,65	-25,08	-25,35
24	0,00	0,00	-2,76	-17,25	-37,65	-37,75	-37,87	-37,94	-38,07	-38,16	-38,34	-38,64	-38,82	-40,88	-43,72	-47,58	-48,83	-51,22	-52,75
25	0,00	0,00	-2,98	-18,63	-40,63	-40,70	-40,91	-40,99	-41,14	-41,23	-41,43	-41,81	-42,02	-44,93	-47,70	-52,28	-53,74	-56,33	-58,34
26	0,00	0,00	-1,95	-12,22	-26,68	-26,70	-26,72	-26,74	-26,77	-26,79	-26,82	-26,89	-26,92	-27,36	-27,96	-28,77	-29,03	-29,54	-29,86
27	0,00	0,00	-0,23	-1,47	-3,20	-3,20	-3,21	-3,21	-3,21	-3,21	-3,22	-3,23	-3,23	-3,28	-3,35	-3,45	-3,48	-3,54	-3,58
28	0,00	0,00	-1,66	-10,38	-22,65	-22,66	-22,68	-22,69	-22,71	-22,72	-22,75	-22,79	-22,82	-23,12	-23,53	-24,10	-24,28	-24,63	-24,85
29	0,00	0,00	-3,60	-16,24	-35,45	-35,55	-35,66	-35,74	-35,86	-35,95	-36,12	-36,44	-36,59	-38,59	-41,36	-45,12	-46,33	-48,66	-50,44
30	0,00	0,00	-2,84	-17,80	-38,85	-38,96	-39,09	-39,17	-39,30	-39,41	-39,59	-39,92	-40,12	-42,35	-45,44	-49,63	-50,99	-53,59	-55,25
31	0,00	0,00	-1,33	-8,32	-18,15	-18,15	-18,14	-18,14	-18,13	-18,13	-18,12	-18,11	-18,10	-18,02	-17,91	-17,76	-17,71	-17,61	-17,55
32	0,00	0,00	-2,64	-16,52	-36,05	-36,16	-36,30	-36,38	-36,52	-36,64	-36,83	-37,18	-37,38	-39,73	-42,96	-47,36	-48,78	-51,51	-53,25
33	0,00	0,00	-1,87	-11,74	-25,55	-25,59	-25,65	-25,68	-25,74	-25,78	-25,85	-26,00	-26,08	-27,00	-28,28	-30,02	-30,58	-31,66	-32,38
34	0,00	0,00	-1,80	-11,25	-24,55	-24,59	-24,63	-24,66	-24,71	-24,75	-24,81	-24,93	-25,00	-25,79	-26,88	-28,36	-28,84	-29,76	-30,35
35	0,00	0,00	-1,49	-9,35	-20,40	-20,42	-20,45	-20,46	-20,49	-20,51	-20,55	-20,62	-20,66	-21,12	-21,76	-22,63	-22,91	-23,45	-23,80
36	0,00	0,00	-3,55	-22,24	-48,55	-48,65	-48,78	-48,85	-48,98	-49,08	-49,26	-49,58	-49,77	-51,92	-54,89	-58,94	-60,24	-62,75	-64,35
37	0,00	0,00	-3,51	-21,96	-47,93	-48,03	-48,16	-48,24	-48,36	-48,46	-48,64	-48,95	-49,14	-51,27	-54,20	-58,19	-59,48	-61,95	-63,53
38	0,00	0,00	-4,72	-29,55	-64,49	-64,60	-64,73	-64,81	-64,94	-65,04	-65,23	-65,55	-65,75	-67,95	-71,00	-75,14	-76,48	-79,05	-80,69
39	0,00	0,00	-3,43	-21,44	-46,78	-46,89	-47,02	-47,10	-47,23	-47,33	-47,51	-47,84	-48,03	-50,22	-53,25	-57,37	-58,70	-61,25	-62,88
40	0,00	0,00	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66	-6,66
41	0,00	0,00	-2,05	-12,83	-27,99	-28,03	-28,08	-28,11	-28,16	-28,20	-28,27	-28,40	-28,47	-29,32	-30,49	-32,08	-32,59	-33,57	-34,20
42	0,00	0,00	-1,25	-7,81	-17,04	-17,06	-17,09	-17,11	-17,14	-17,17	-17,21	-17,29	-17,33	-17,85	-18,56	-19,52	-19,84	-20,44	-20,82
43	0,00	0,00	-1,57	-9,83	-21,45	-21,52	-21,60	-21,65	-21,74	-21,80	-21,92	-22,12	-22,25	-23,64	-25,57	-28,18	-29,03	-30,65	-31,69
44	0,00	0,00	-3,08	-19,30	-42,13	-42,26	-42,42	-42,52	-42,68	-42,81	-43,04	-43,45	-43,69	-46,42	-50,20	-55,35	-57,01	-60,19	-62,23
45	0,00	0,00	-4,33	-27,13	-59,20	-59,35	-59,54	-59,65	-59,84	-59,99	-60,25	-60,72	-61,00	-64,16	-68,52	-74,45	-76,37	-80,05	-82,40
46	0,00	0,00	-4,07	-25,49	-55,63	-55,77	-55,94	-56,05	-56,23	-56,37	-56,61	-57,05	-57,32	-60,28	-64,38	-69,96	-71,76	-75,22	-77,43
47	0,00	0,00	-4,99	-30,93	-65,61	-65,68	-65,87	-65,94	-66,01	-66,09	-66,01	-66,34	-66,37	-67,88	-69,07	-72,91	-73,73	-76,40	-76,64
48	0,00	0,00	-1,69	-10,55	-23,02	-23,04	-23,07	-23,09	-23,12	-23,15	-23,19	-23,27	-23,32	-23,85	-24,58	-25,58	-25,90	-26,52	-26,92
49	0,00	0,00	-2,84	-17,78	-38,80	-38,83	-38,88	-38,90	-38,95	-38,98	-39,04	-39,15	-39,21	-39,94	-40,95	-42,31	-42,75	-43,60	-44,14
50	0,00	0,00	-1,57	-9,79	-21,37	-21,41	-21,45	-21,47	-21,51	-21,55	-21,61	-21,71	-21,77	-22,46	-23,42	-24,72	-25,14	-25,95	-26,46

Zettingen

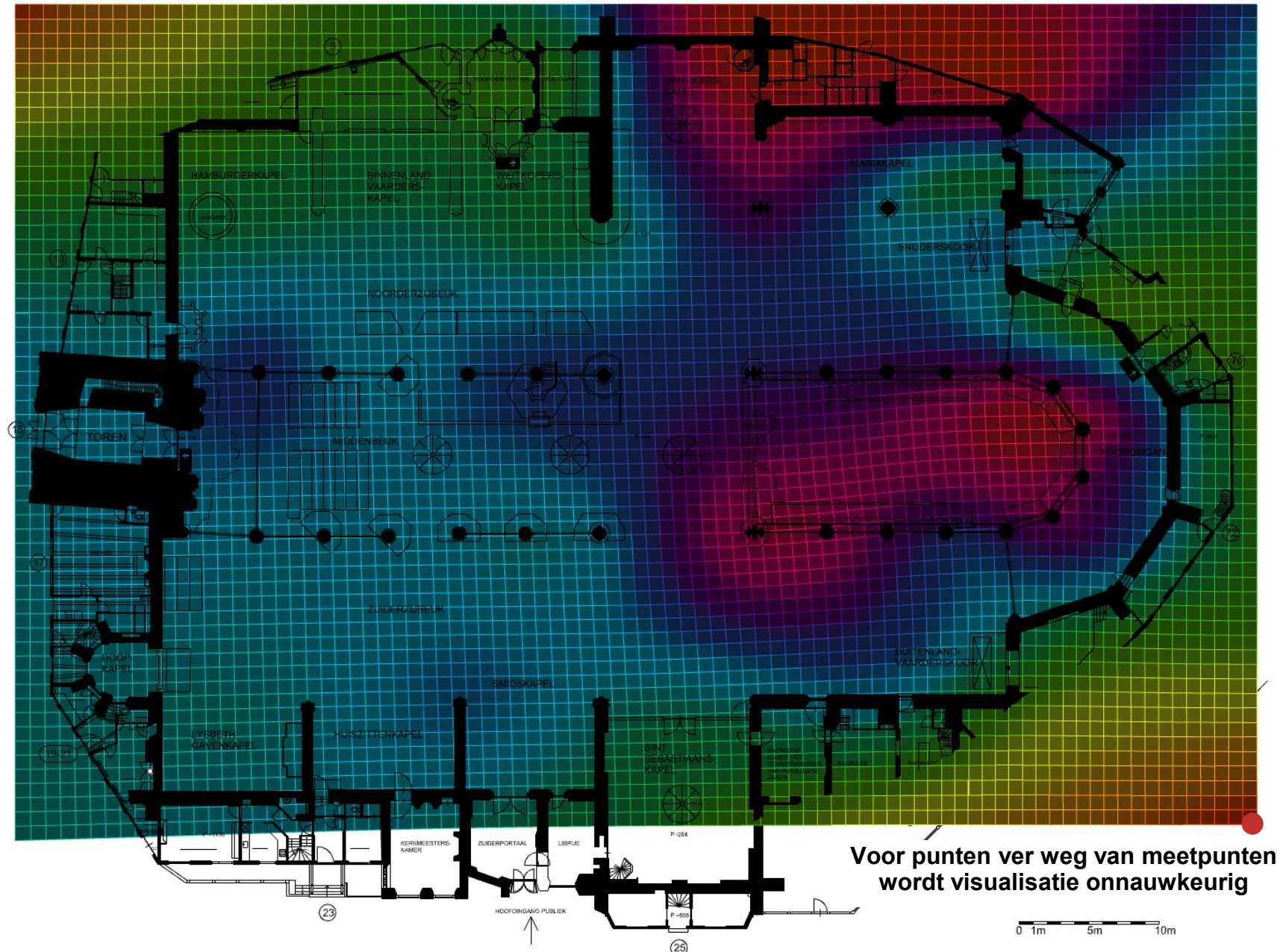
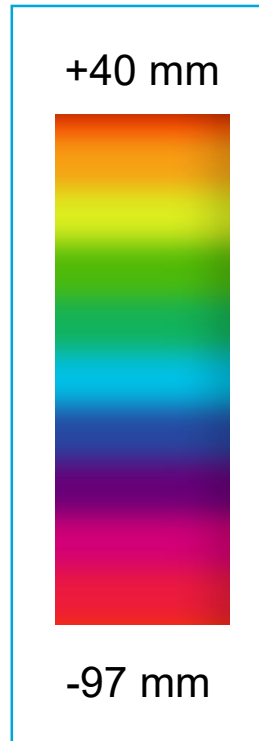
In het jaar 1960 hebben
herstelwerkzaamheden aan
het metselwerk in de
Mariakapel uitgevoerd.

Schatting van zettingen sinds 1961

	25-12-1961	10-5-1996	13-5-1997	30-8-2002	12-2-2010	12-3-2010	16-4-2010	7-5-2010	11-6-2010	9-7-2010	27-8-2010	22-11-2010	13-1-2011	23-8-2012	13-11-2014	22-11-2017	14-11-2018	29-9-2020	10-12-2021
	0	12555	12923	14858	17581	17609	17644	17665	17700	17728	17777	17864	17916	18504	19316	20421	20778	21463	21900
3	0,00	-58,88	-60,60	-69,68	-82,45	-82,47	-82,50	-82,51	-82,54	-82,56	-82,60	-82,67	-82,71	-83,17	-83,81	-84,68	-84,96	-85,50	-85,84
4	0,00	-53,97	-55,55	-63,87	-75,58	-75,59	-75,61	-75,62	-75,64	-75,66	-75,68	-75,73	-75,76	-76,08	-76,53	-77,13	-77,33	-77,70	-77,94
5	0,00	-49,61	-51,06	-58,71	-69,47	-69,49	-69,52	-69,53	-69,56	-69,58	-69,62	-69,69	-69,73	-70,19	-70,83	-71,70	-71,98	-72,52	-72,86
6	0,00	-65,32	-67,24	-77,31	-91,47	-91,50	-91,53	-91,54	-91,57	-91,60	-91,64	-91,71	-91,75	-92,24	-92,92	-93,84	-94,14	-94,71	-95,07
7	0,00	-65,07	-66,98	-77,01	-91,12	-91,16	-91,21	-91,24	-91,29	-91,33	-91,40	-91,53	-91,60	-92,45	-93,61	-95,20	-95,71	-96,70	-97,32
8	0,00	-3,03	-3,12	-3,59	-4,24	-4,24	-4,25	-4,25	-4,25	-4,25	-4,25	-4,25	-4,25	-4,27	-4,29	-4,33	-4,34	-4,36	-4,37
9	0,00	-44,09	-45,38	-52,18	-61,74	-61,74	-61,73	-61,73	-61,73	-61,72	-61,72	-61,71	-61,70	-61,63	-61,54	-61,41	-61,37	-61,29	-61,24
10	0,00	-63,57	-65,44	-75,24	-89,02	-89,06	-89,11	-89,14	-89,18	-89,22	-89,28	-89,40	-89,47	-90,24	-91,31	-92,77	-93,24	-94,15	-94,72
11	0,00	-54,52	-56,11	-64,52	-76,34	-76,36	-76,39	-76,40	-76,43	-76,45	-76,48	-76,55	-76,58	-77,01	-77,60	-78,41	-78,67	-79,17	-79,49
12	0,00	-81,05	-83,42	-95,92	-113,49	-113,52	-113,55	-113,57	-113,61	-113,64	-113,68	-113,77	-113,82	-114,39	-115,18	-116,25	-116,60	-117,27	-117,69
13	0,00	-71,57	-73,67	-84,70	-100,22	-100,27	-100,34	-100,38	-100,44	-100,50	-100,59	-100,76	-100,85	-101,97	-103,51	-105,61	-106,29	-107,59	-108,42
14	0,00	-44,34	-45,64	-52,47	-62,09	-62,09	-62,08	-62,08	-62,07	-62,07	-62,06	-62,04	-62,04	-61,94	-61,81	-61,63	-61,57	-61,46	-61,39
15	0,00	-44,09	-45,38	-52,18	-61,74	-61,73	-61,73	-61,72	-61,71	-61,71	-61,70	-61,68	-61,67	-61,54	-61,36	-61,12	-61,05	-60,90	-60,80
16	0,00	-82,56	-84,98	-97,70	-115,61	-115,67	-115,75	-115,80	-115,88	-115,94	-116,05	-116,24	-116,36	-117,68	-119,51	-121,99	-122,79	-124,33	-125,31
17	0,00	-60,33	-62,10	-71,39	-84,48	-84,51	-84,54	-84,56	-84,60	-84,63	-84,68	-84,77	-84,83	-85,44	-86,28	-87,44	-87,81	-88,52	-88,98
18	0,00	-52,33	-53,87	-61,93	-73,28	-73,30	-73,32	-73,33	-73,35	-73,37	-73,39	-73,44	-73,47	-73,80	-74,25	-74,86	-75,06	-75,44	-75,68
19	0,00	-54,83	-56,44	-64,89	-76,78	-76,80	-76,83	-76,84	-76,87	-76,89	-76,92	-76,98	-77,02	-77,44	-78,03	-78,82	-79,08	-79,57	-79,88
20	0,00	-111,64	-114,23	-131,40	-155,43	-155,72	-156,01	-156,13	-156,48	-156,72	-157,12	-157,65	-158,23	-163,26	-169,33	-179,22	-182,21	-187,33	-191,59
21	0,00	-92,55	-95,26	-109,53	-129,60	-129,67	-129,75	-129,81	-129,89	-129,96	-130,08	-130,29	-130,42	-131,85	-133,82	-136,51	-137,37	-139,04	-140,10
22	0,00	-98,80	-101,69	-116,92	-138,35	-138,45	-138,57	-138,65	-138,77	-138,87	-139,05	-139,36	-139,55	-141,66	-144,57	-148,54	-149,82	-152,28	-153,85
23	0,00	-56,58	-58,24	-66,96	-79,23	-79,25	-79,27	-79,28	-79,30	-79,32	-79,35	-79,41	-79,44	-79,81	-80,31	-81,01	-81,23	-81,66	-81,93
24	0,00	-94,05	-96,81	-111,30	-131,70	-131,80	-131,92	-131,99	-132,12	-132,21	-132,39	-132,69	-132,87	-134,93	-137,77	-141,63	-142,88	-145,27	-146,80
25	0,00	-101,34	-104,32	-120,17	-142,13	-142,31	-142,34	-142,34	-142,68	-142,80	-143,00	-143,33	-143,37	-145,37	-149,30	-155,23	-159,09	-163,63	-168,88
26	0,00	-66,64	-68,59	-78,87	-93,32	-93,34	-93,37	-93,38	-93,41	-93,43	-93,46	-93,53	-93,57	-94,00	-94,60	-95,41	-95,67	-96,18	-96,50
27	0,00	-8,00	-8,23	-9,46	-11,20	-11,20	-11,20	-11,21	-11,21	-11,21	-11,22	-11,22	-11,23	-11,28	-11,35	-11,45	-11,48	-11,54	-11,58
28	0,00	-56,58	-58,24	-66,96	-79,23	-79,24	-79,26	-79,27	-79,29	-79,30	-79,33	-79,37	-79,40	-80,11	-80,68	-80,86	-81,21	-81,43	-81,43
29	0,00	-98,55	-101,45	-118,68	-144,08	-144,40	-144,22	-144,29	-144,41	-144,58	-144,67	-144,97	-145,14	-147,15	-149,91	-153,67	-154,09	-157,22	-159,70
30	0,00	-97,05	-99,89	-114,85	-135,90	-136,00	-136,14	-136,22	-136,35	-136,46	-136,64	-136,97	-137,17	-139,40	-142,49	-146,68	-148,04	-150,64	-152,30
31	0,00	-45,34	-46,67	-53,66	-63,49	-63,48	-63,48	-63,48	-63,47	-63,47	-63,46	-63,45	-63,44	-63,36	-63,25	-63,09	-63,04	-62,95	-62,89
32	0,00	-90,05	-92,69	-106,57	-126,10	-126,21	-126,35	-126,44	-126,58	-126,69	-126,88	-127,23	-127,44	-129,78	-133,01	-137,41	-138,84	-141,56	-143,30
33	0,00	-63,83	-65,69	-75,53	-89,37	-89,42	-89,54	-89,56	-89,61	-89,68	-89,82	-89,90	-89,92	-92,11	-93,85	-94,41	-95,40	-96,41	-96,41
34	0,00	-61,33	-63,12	-72,58	-85,88	-85,91	-85,96	-85,99	-86,04	-86,07	-86,14	-86,26	-86,33	-87,12	-88,21	-89,69	-90,17	-91,09	-91,68
35	0,00	-50,95	-52,45	-60,30	-71,35	-71,37	-71,40	-71,41	-71,44	-71,46	-71,50	-71,57	-71,61	-72,08	-72,71	-73,58	-73,87	-74,40	-74,75
36	0,00	-121,27	-124,82	-143,51	-169,82	-169,92	-170,05	-170,12	-170,25	-170,35	-170,53	-170,85	-171,04	-173,19	-176,16	-180,21	-181,51	-184,02	-185,62
37	0,00	-119,73	-123,24	-141,70	-167,67	-167,77	-167,89	-167,97	-168,10	-168,20	-168,37	-168,69	-168,88	-171,00	-173,93	-177,92	-179,21	-181,69	-183,27
38	0,00	-161,10	-165,82	-190,65	-225,59	-225,69	-225,83	-225,90	-226,04	-226,14	-226,32	-226,65	-226,85	-229,05	-232,10	-236,24	-237,58	-240,15	-241,79
39	0,00	-116,86	-120,29	-138,30	-163,65	-163,75	-163,88	-163,96	-164,09	-164,20	-164,38	-164,70	-164,90	-167,09	-170,12	-174,23	-175,57	-178,12	-179,75
40	0,00	-2,14	-2,21	-2,34	-3,06	-3,06	-3,06	-3,06	-3,06	-3,06	-3,06	-3,06	-3,06	-3,06	-3,06	-3,07	-3,08	-3,09	-3,10
41	0,00	-69,92	-71,97	-82,74	-97,91	-97,95	-98,00	-98,03	-98,08	-98,12	-98,19	-98,31	-98,39	-99,23	-100,40	-101,99	-102,51	-103,49	-104,12
42	0,00	-42,56	-43,81	-50,37	-59,60	-59,62	-59,65	-59,67	-59,70	-59,72	-59,77	-59,84	-59,89	-60,40	-61,12	-62,08	-62,40	-63,00	-63,38
43	0,00	-53,59	-55,16	-63,42	-75,04	-75,11	-75,19	-75,24	-75,33	-75,39	-75,51	-75,71	-75,84	-77,23	-79,16	-81,77	-82,62	-84,24	-85,28
44	0,00	-105,24	-108,32	-124,54	-147,36	-147,50	-147,66	-147,76	-147,92	-148,05	-148,28	-148,68	-148,92	-151,66	-155,44	-160,58	-162,24	-165,43	-167,46
45	0,00	-147,88	-152,21	-175,00	-207,07	-207,22	-207,41	-207,52	-207,71	-207,86	-208,13	-208,59	-208,87	-212,03	-216,39	-222,33	-224,25	-227,93	-230,27
46	0,00	-138,95	-143,03	-164,44	-194,58	-194,72	-194,90	-195,00	-195,18	-195,32	-195,57	-196,01	-196,27	-199,24	-203,33	-208,91	-210,71	-214,17	-216,38
47	0,00	-163,64	-168,44	-193,66	-230,16	-230,33	-230,51	-230,67	-230,86	-231,03	-231,26	-231,66	-232,01	-234,53	-238,41	-243,46	-247,37	-250,13	-250,35
48	0,00	-57,50	-59,18	-68,04	-80,51	-80,54	-80,57	-80,59	-80,62	-80,65	-80,69	-80,77	-80,81	-81,35	-82,08	-83,08	-84,40	-84,02	-84,41
49	0,00	-96,92	-99,76	-114,70	-135,72	-135,76	-135,80	-135,83	-135,87	-135,91	-135,97	-136,07	-136,14	-136,87	-137,87	-139,24	-139,68	-140,52	-141,07
50	0,00	-53,39	-54,96	-63,19	-74,77	-74,80	-74,84	-74,87	-74,91	-74,94	-75,00	-75,10	-75,16	-75,85	-76,81	-78,11	-78,53	-79,34	-79,85

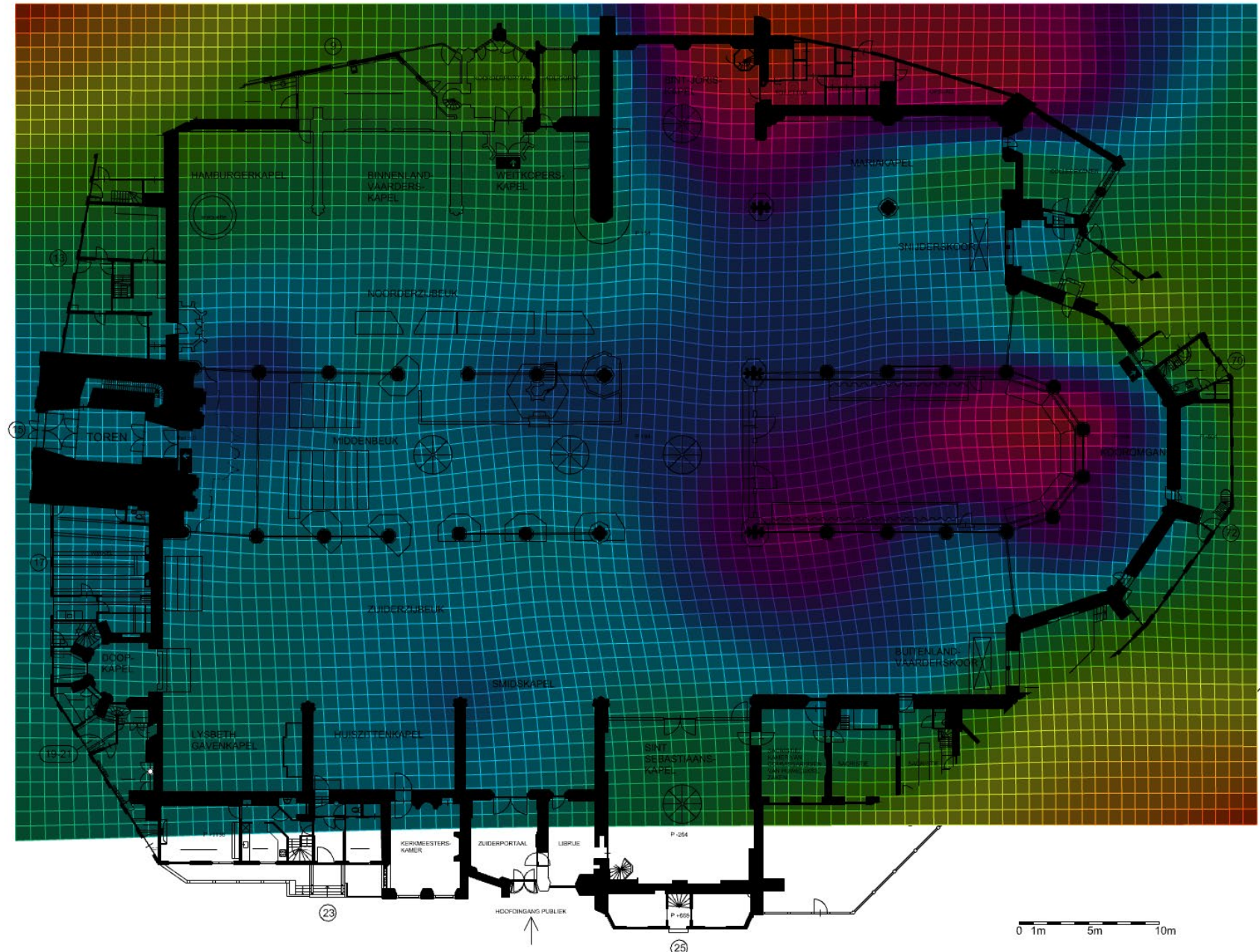
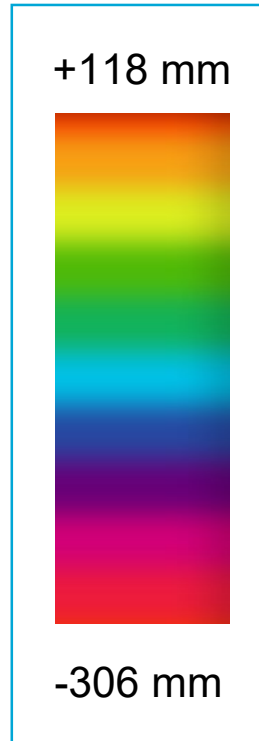
Schatting van zettingen sinds 1996

De data is gevisualiseerd
m.b.v. parametrisch
modelleren

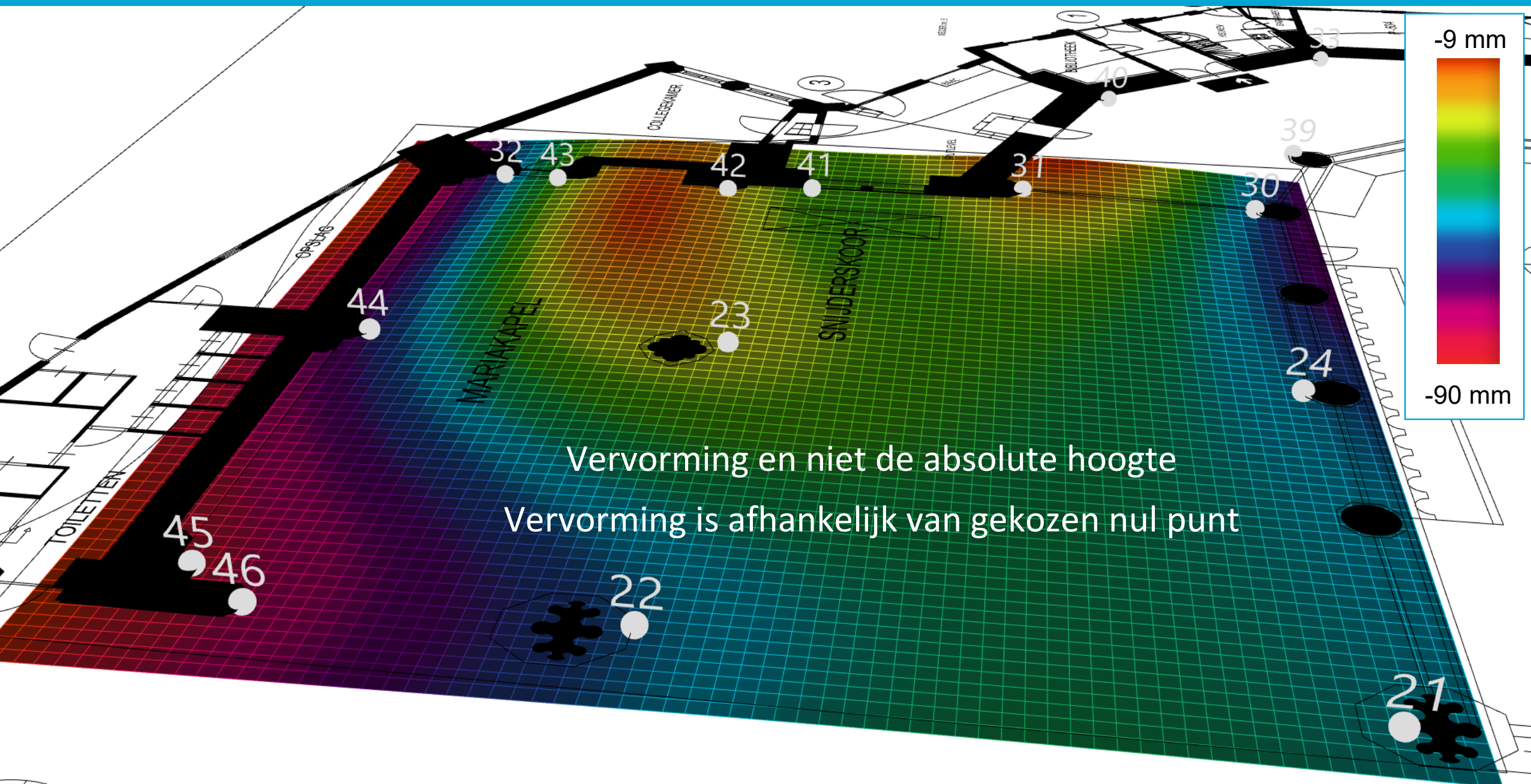


Schatting van zettingen sinds 1961

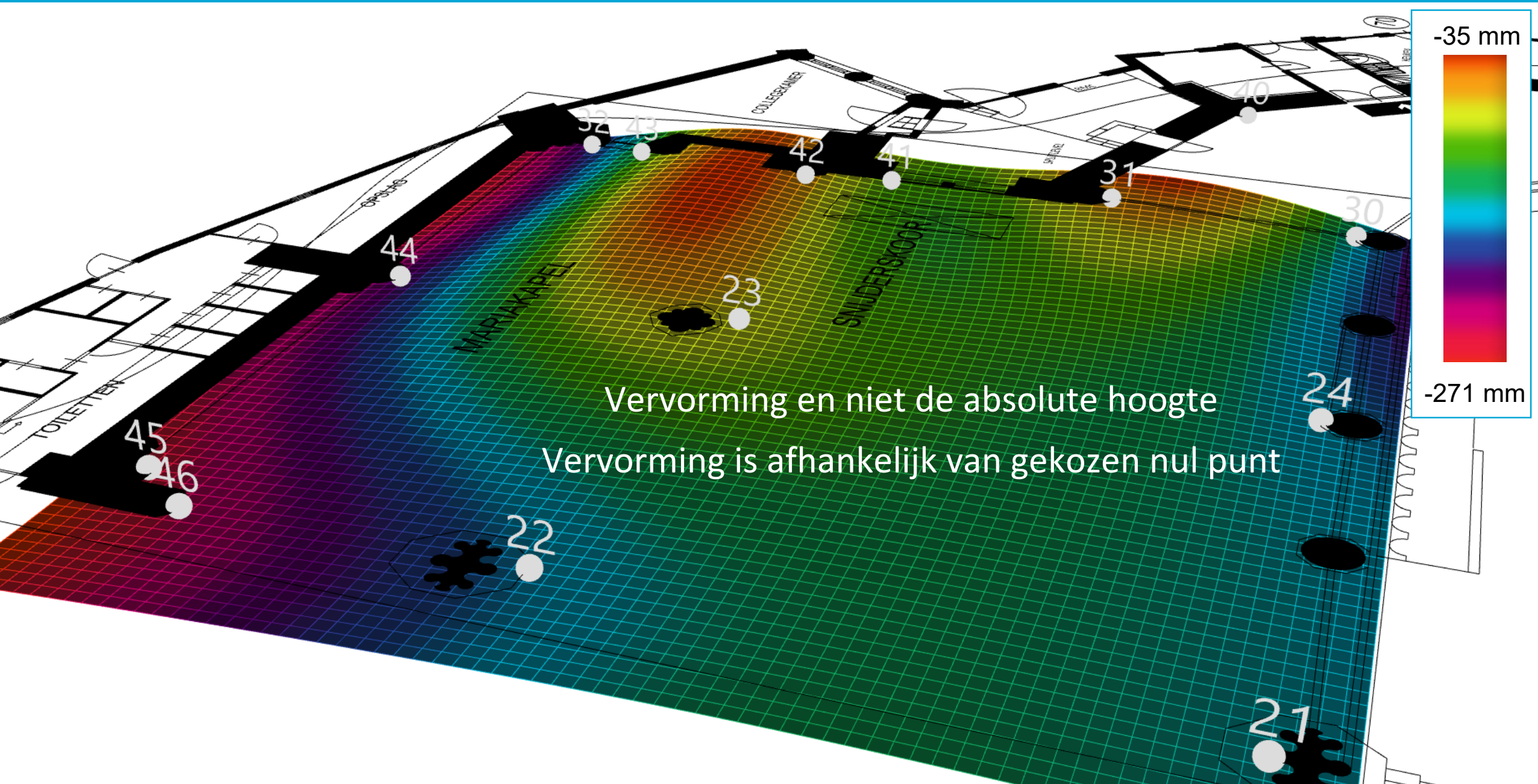
De data is gevisualiseerd
m.b.v. parametrisch
modelleren



Schatting van zettingen sinds 1996



Schatting van zettingen sinds 1961



Onderzoeksvraag 1:

Wat is de conditie en context van de draagconstructie en de daarin geconstateerde schade?

Conclusies:

Schade aan metselwerk *én kapconstructie*

Metselwerk en verbindingen worden uit elkaar getrokken

Zettingen voornamelijk aan noord en oost zijde

Jaarlijkse zetting sinds 2010 gaat door en snelheid varieert per locatie

Onderzoeksvraag 2:

2a Wat is het constructieve gedrag tot nu toe t.g.v. de mogelijke oorzaken van schade ten aanzien van evenwicht, krachtdoorstroming, spanningen en vervormingen?

2b Voor welke van deze mogelijke oorzaken is het waarschijnlijk tot de huidige schade te hebben geleid?

Mogelijk oorzaken van schade zijn:

Onderdeel van dit onderzoek

Zetting van de ondergrond

2^e orde effecten door vervorming

Complex materiaalgedrag zoals tijdgebonden eigenschappen (kruip)

Aanpassingen aan constructie

Gemaakte modellen

- Model #1: alleen het metselwerk

Geeft inzicht in het constructief gedrag van het metselwerk

Linear *mogelijk*

Niet-linear (inclusief scheurvorming) *mogelijk*

- Model #2: metselwerk en starre verbindingen met onderbouw en kap

Geeft inzicht in de invloed van de kap op de vervorming

Linear *mogelijk*

Niet-linear (inclusief scheurvorming) *beperkt mogelijke*

- Model #3: metselwerk en kapconstructie

Geeft inzicht in het constructief gedrag van het metselwerk en kap samen (lage stijfheid)

Linear *mogelijk*

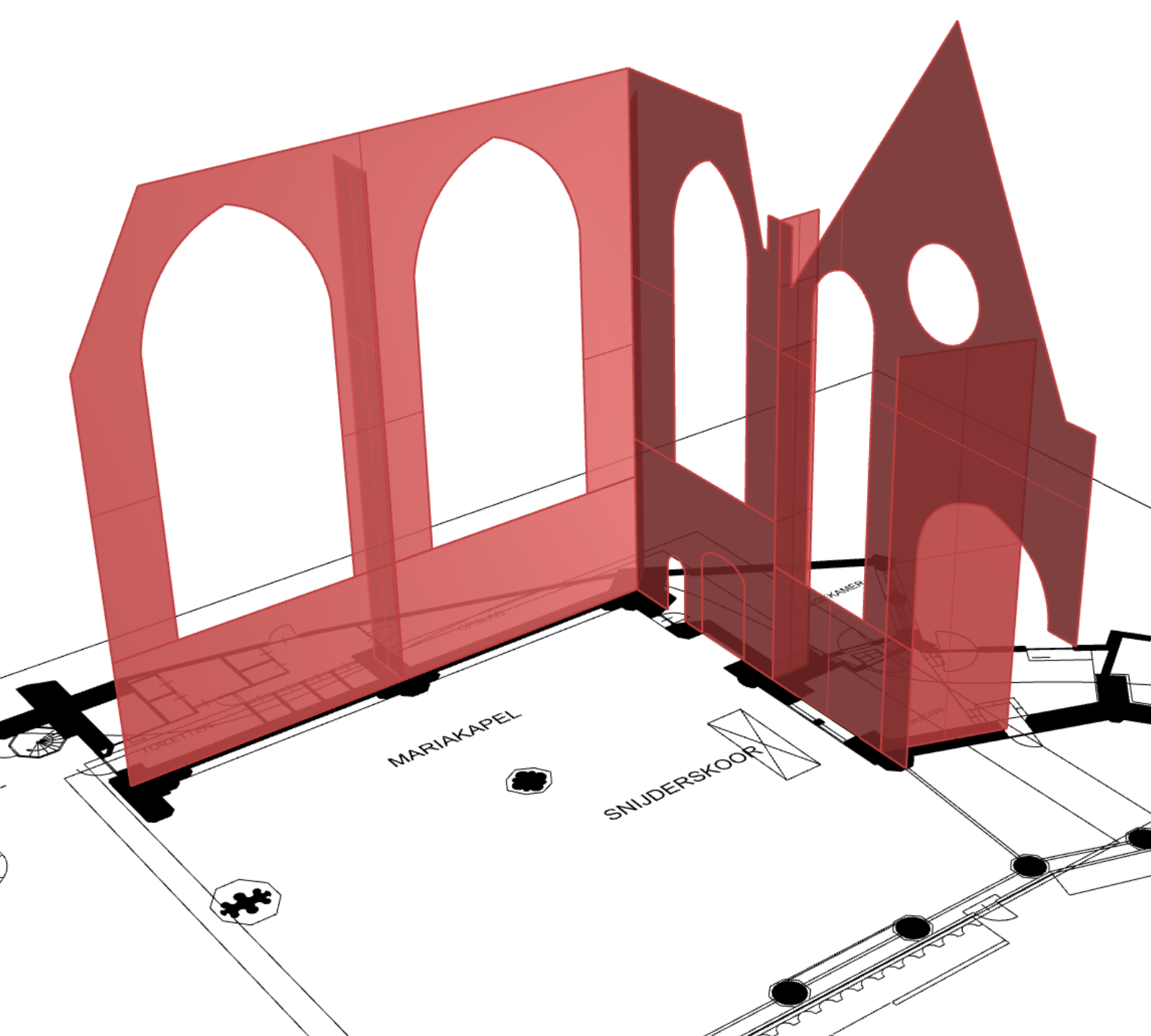
Niet-linear (inclusief scheurvorming) *niet mogelijk*

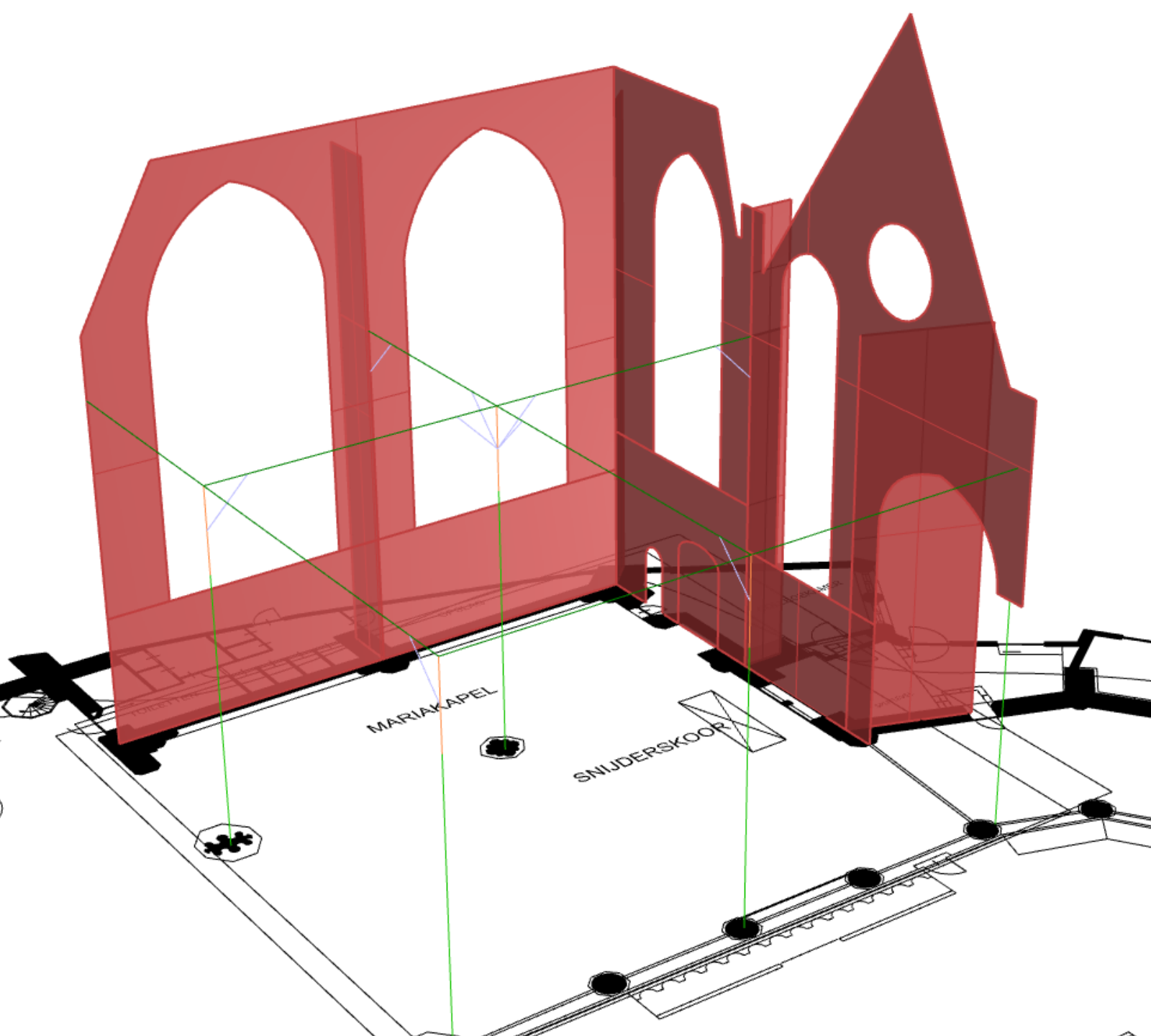
Resultaten zijn theoretisch en treden niet
per se op in het echt

Verskil tussen lineair ven niet-lineair

Geometrie van de constructie

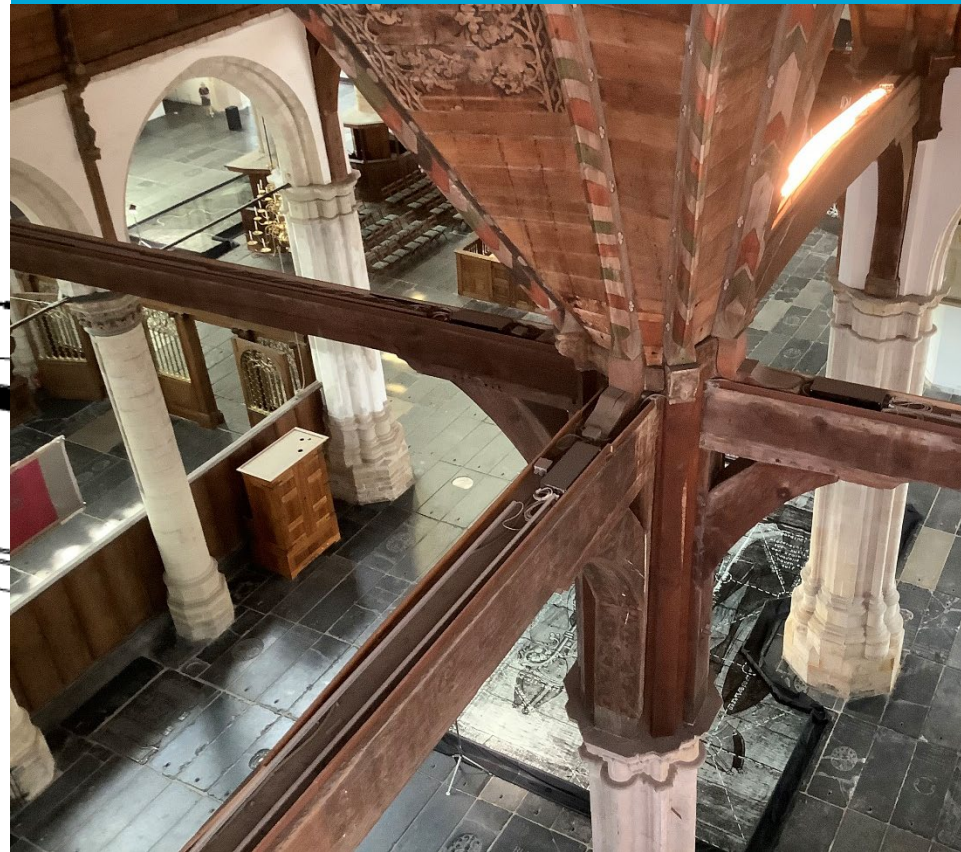
Metselwerk noordelijke en oostelijke wand van de Mariakapel





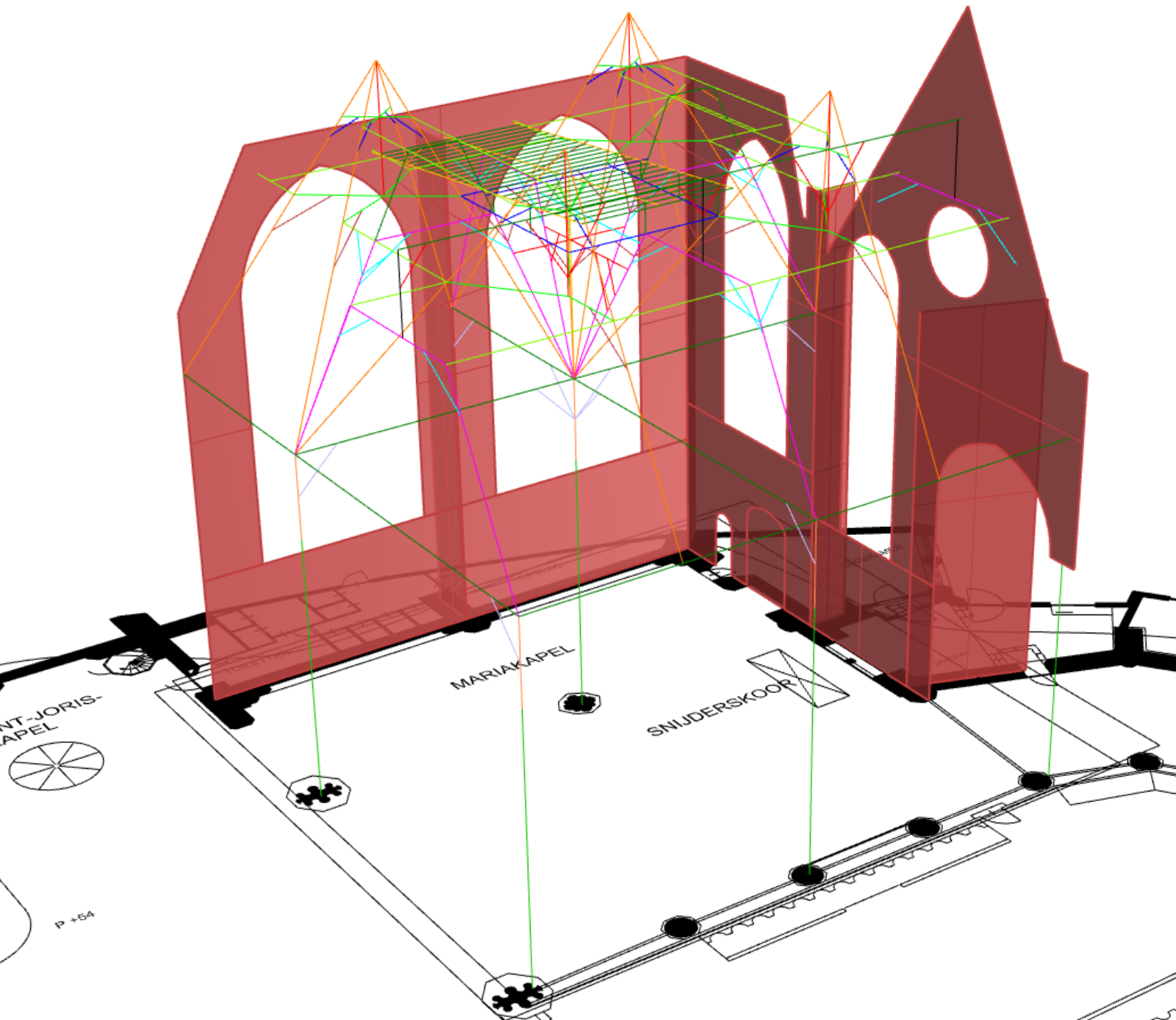
Geometrie van de constructie

Onderbouw van metselwerk
kolommen en houten trekbalen



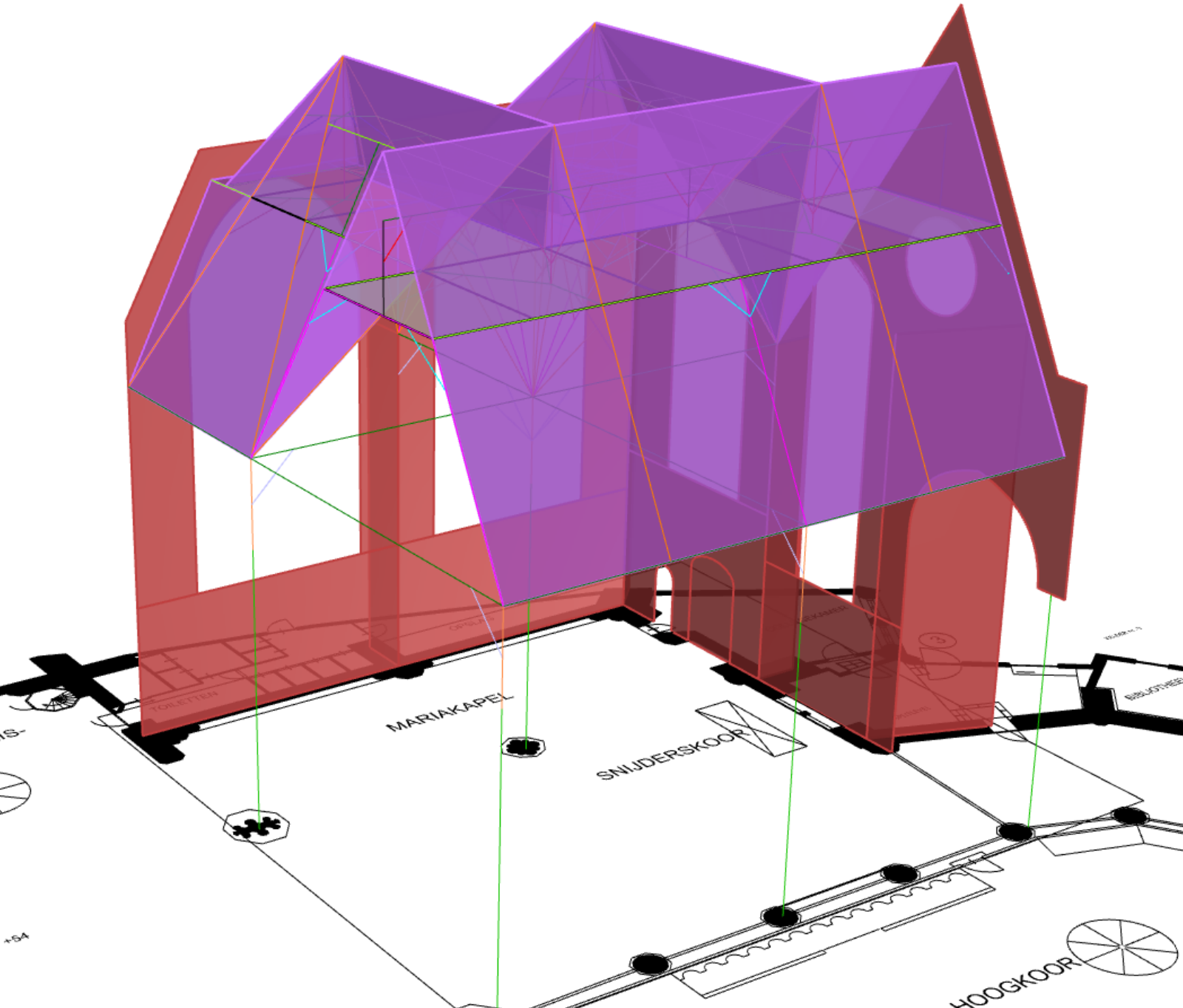
Modellering geometrie van de constructie

Kapconstructie



Modellering geometrie van de constructie

Dakvlak



Onzekerheden zijn:

Zettingen buiten posities van metingen zijn een schatting. Lokaal kan de zetting afwijken.

Geometrische vereenvoudiging van de constructie

Randvoorwaarden waar de constructie met andere bouwdelen is verbonden

Tijdsgebonden effecten zijn complex of onbekend. Zoals materiaaleigenschappen, kruipgedrag, aanpassingen aan de constructie, zetting in de tijd

Specifieke condities per verbinding zijn vereenvoudigd. Aannames zijn noodzakelijk maar kunnen niet worden geverifieerd of zijn zowel kwantitatief en kwalitatief te complex. Ook zijn bezweten verbindingen niet als zodanig gemodelleerd.

Deelconclusie:

De constructie is in hoge mate complex
modellen zijn beschrijven een vereenvoudigde situatie

Constructief gedrag moet *kwalitatief*
beoordeeld worden (d.m.v. trend)

Model #1

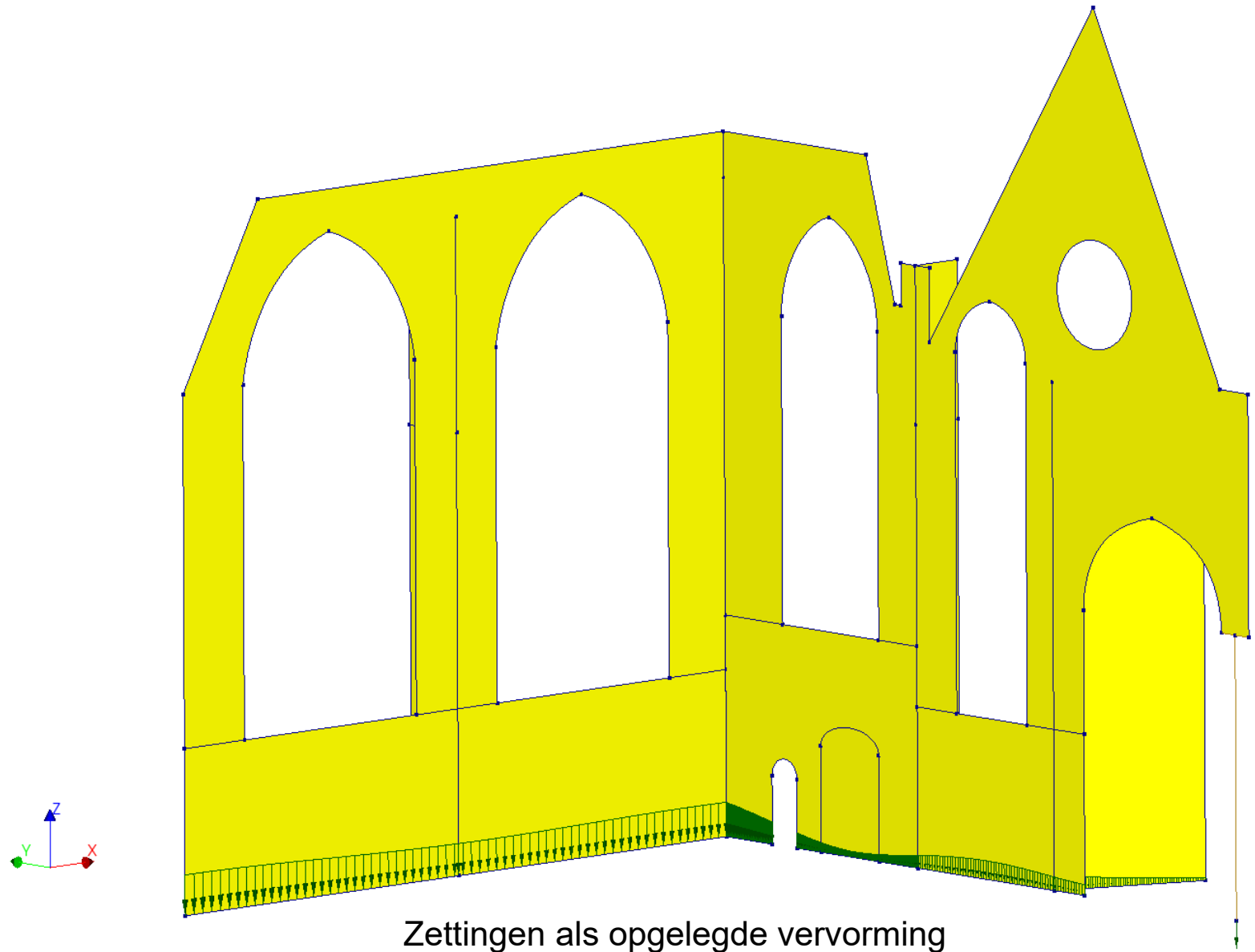
Een model waarin alléén het metselwerk is opgenomen

Type analysis:

- **Lineair elastisch** (gebruikelijk)
- Niet-lineair, geometrisch en fysisch (cracking)

Belastingen:

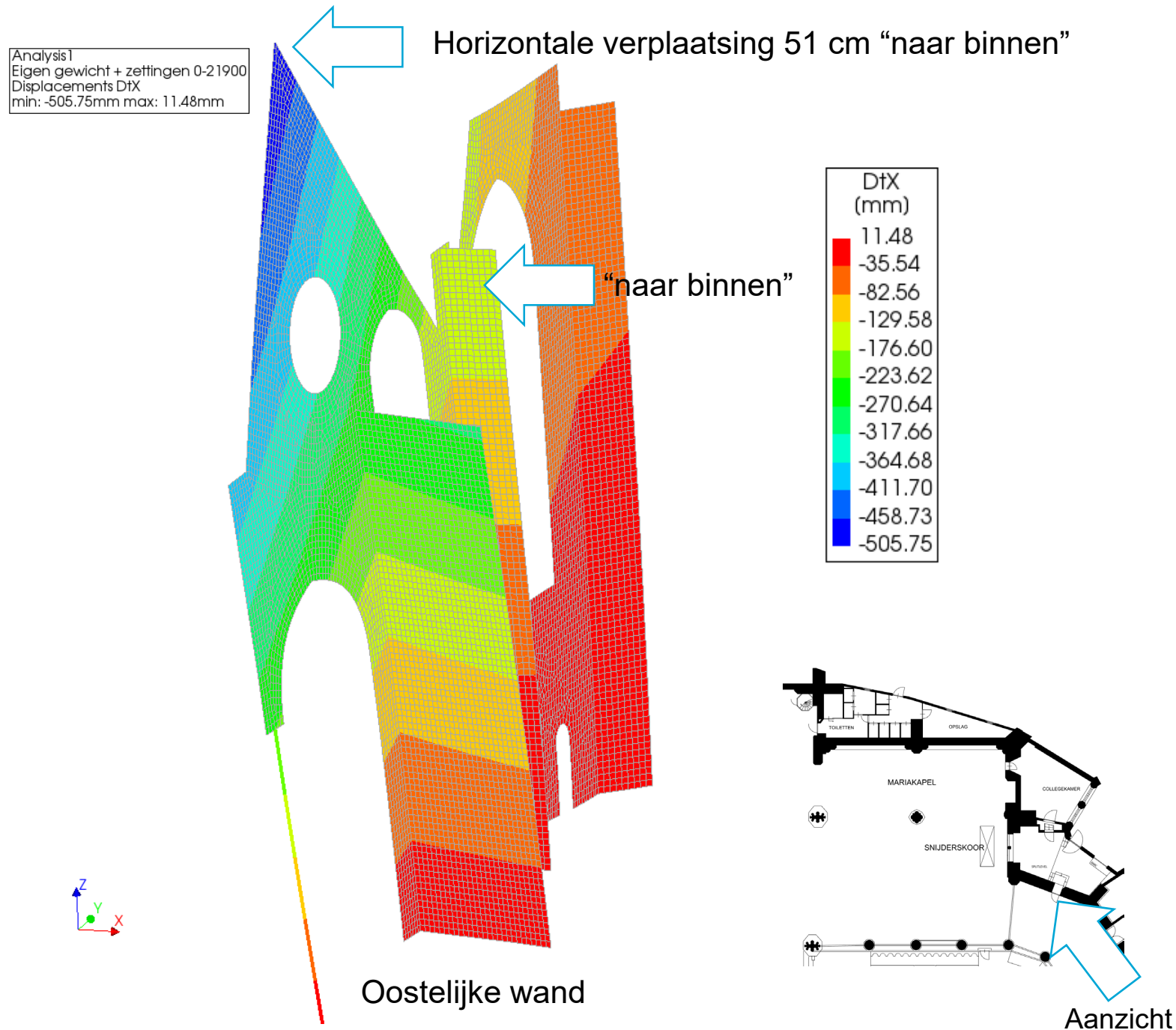
- Eigen gewicht
- Zetting 1961-2010 (dag 17581)
- Zetting 2010-2021 (dag 21900)



Model #1

Theoretische vervorming van de oostelijke wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

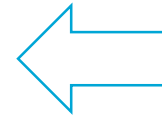


Model #1

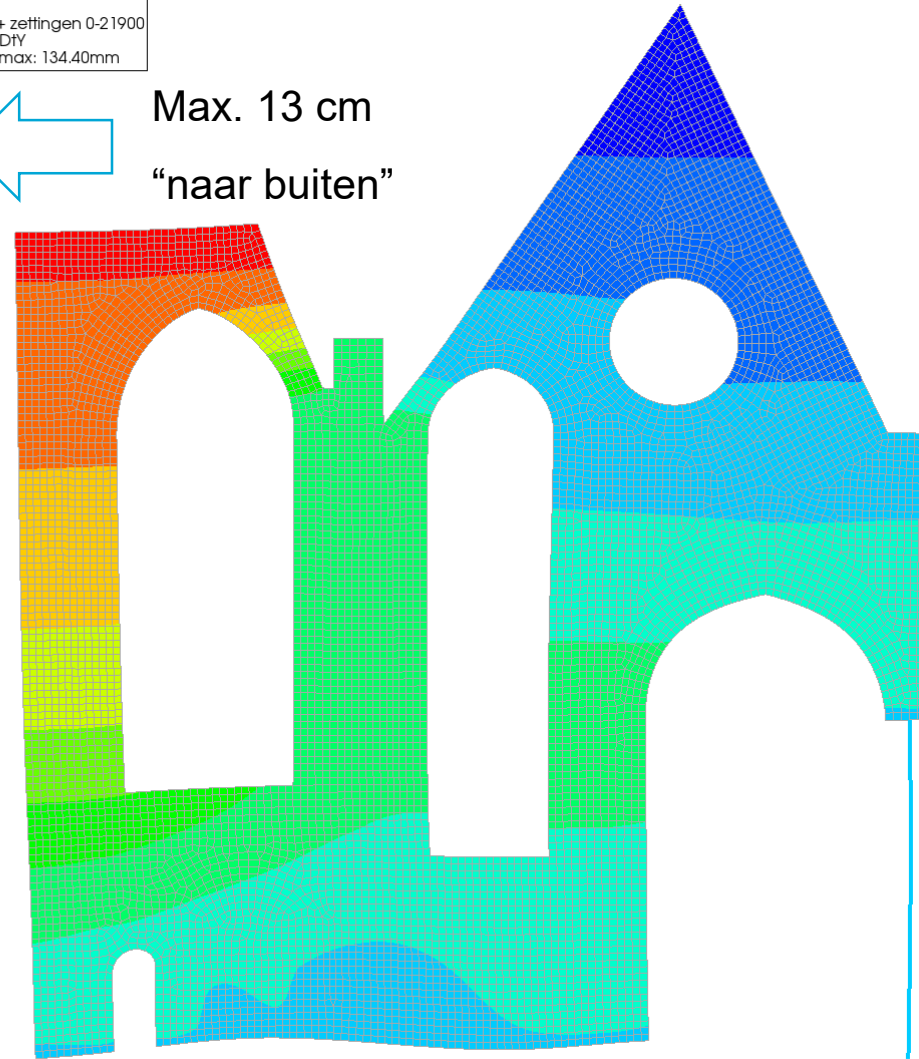
Theoretische vervorming van de *noordelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

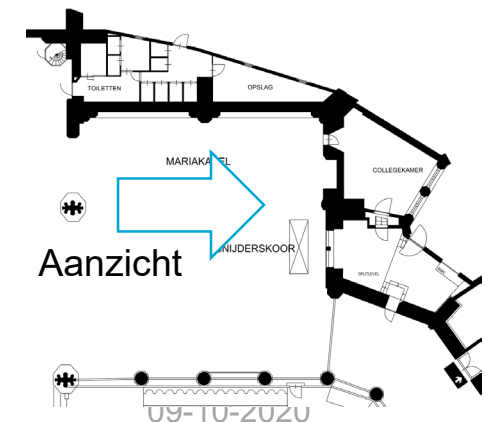
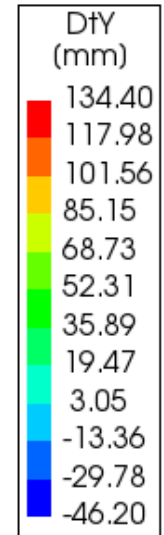
[Analysis]
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements DTY
min: -46.20mm max: 134.40mm



Max. 13 cm
“naar buiten”



Oostelijke wand



Model #1

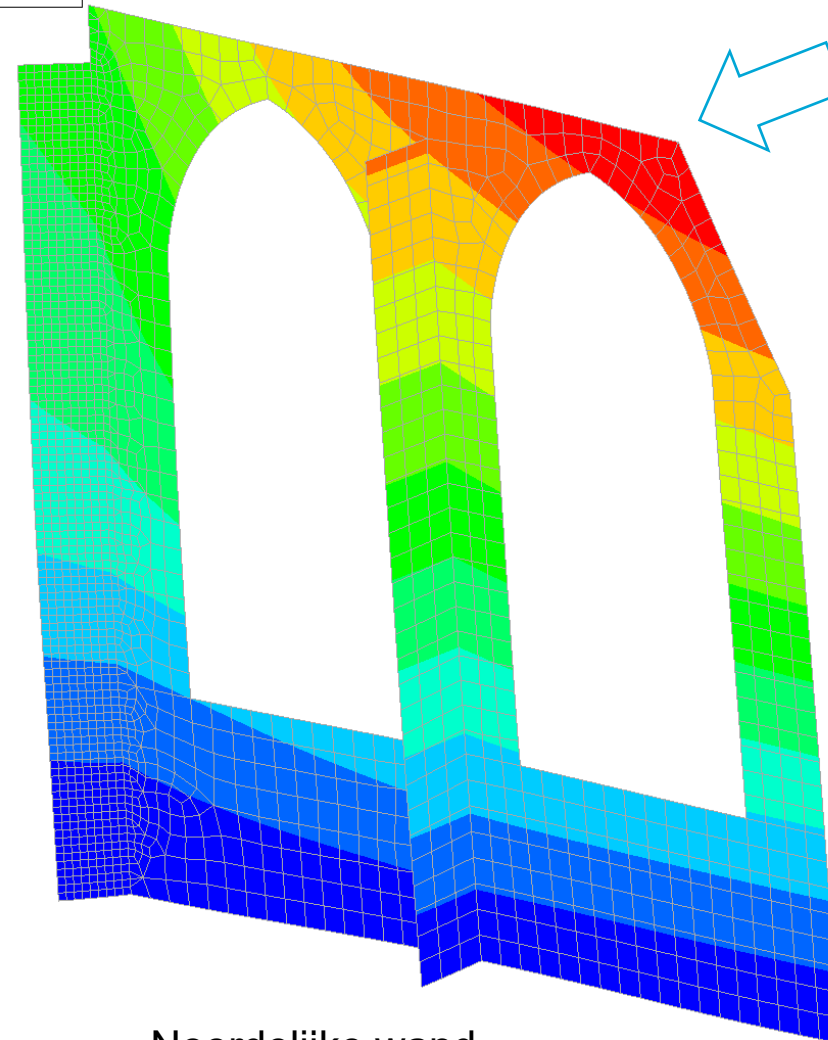
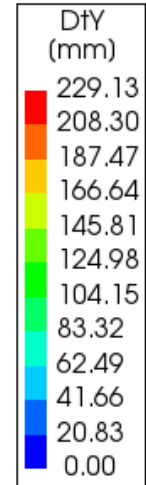
Theoretische vervorming van de noordelijke wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements DTY
min: 0.00mm max: 229.13mm

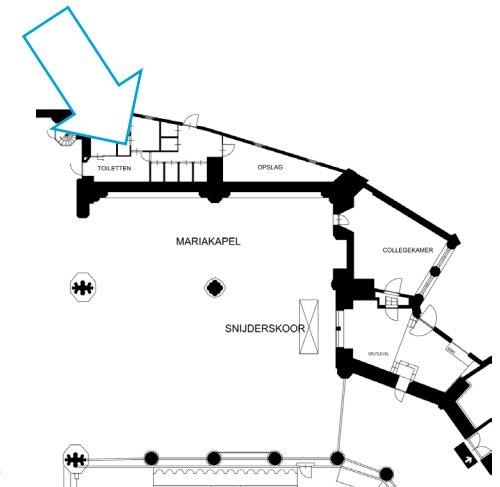
Horizontale verplaatsing 23 cm

“naar buiten”



Noordelijke wand

Aanzicht

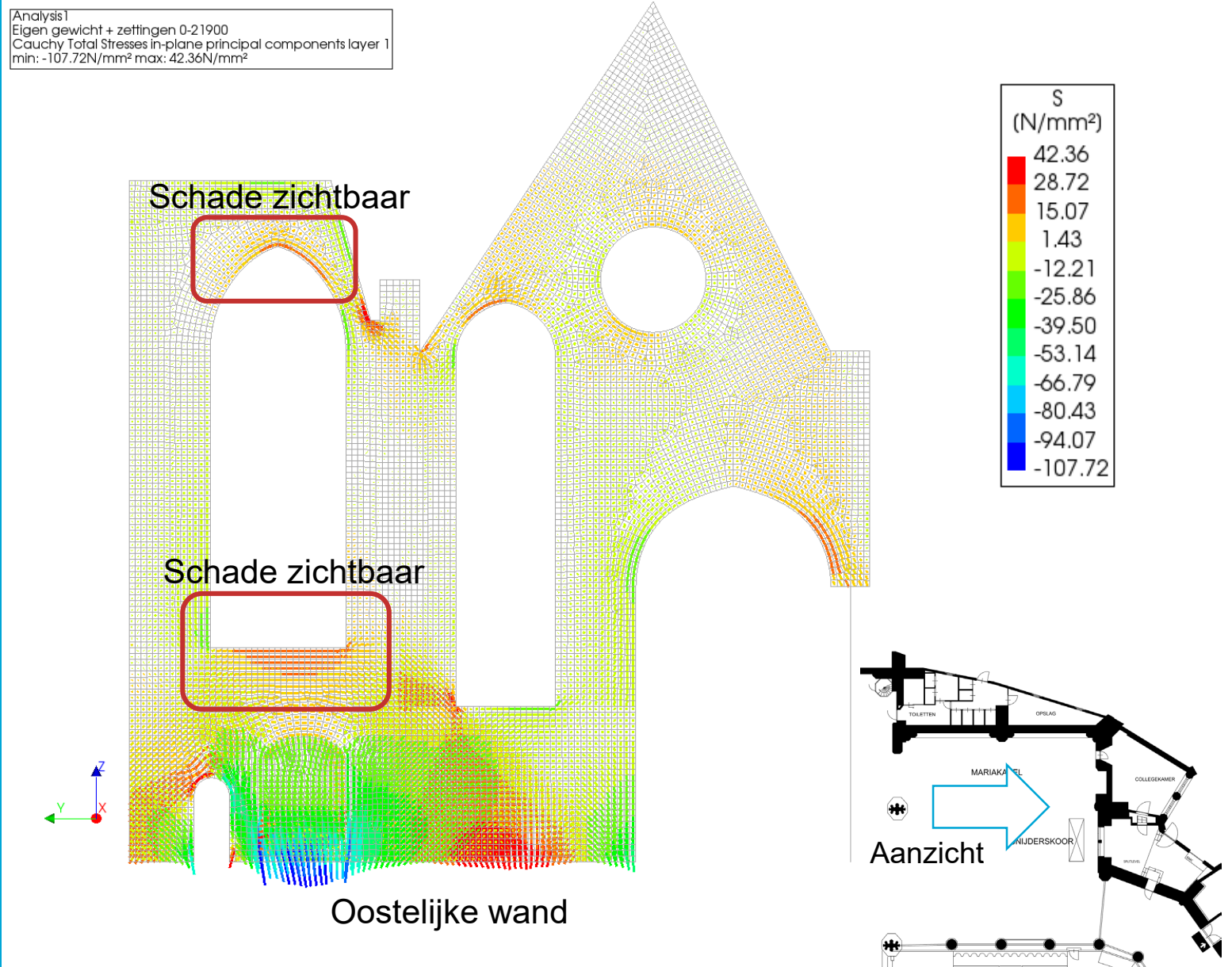


Model #1

Theoretische spanningen vande *oostelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

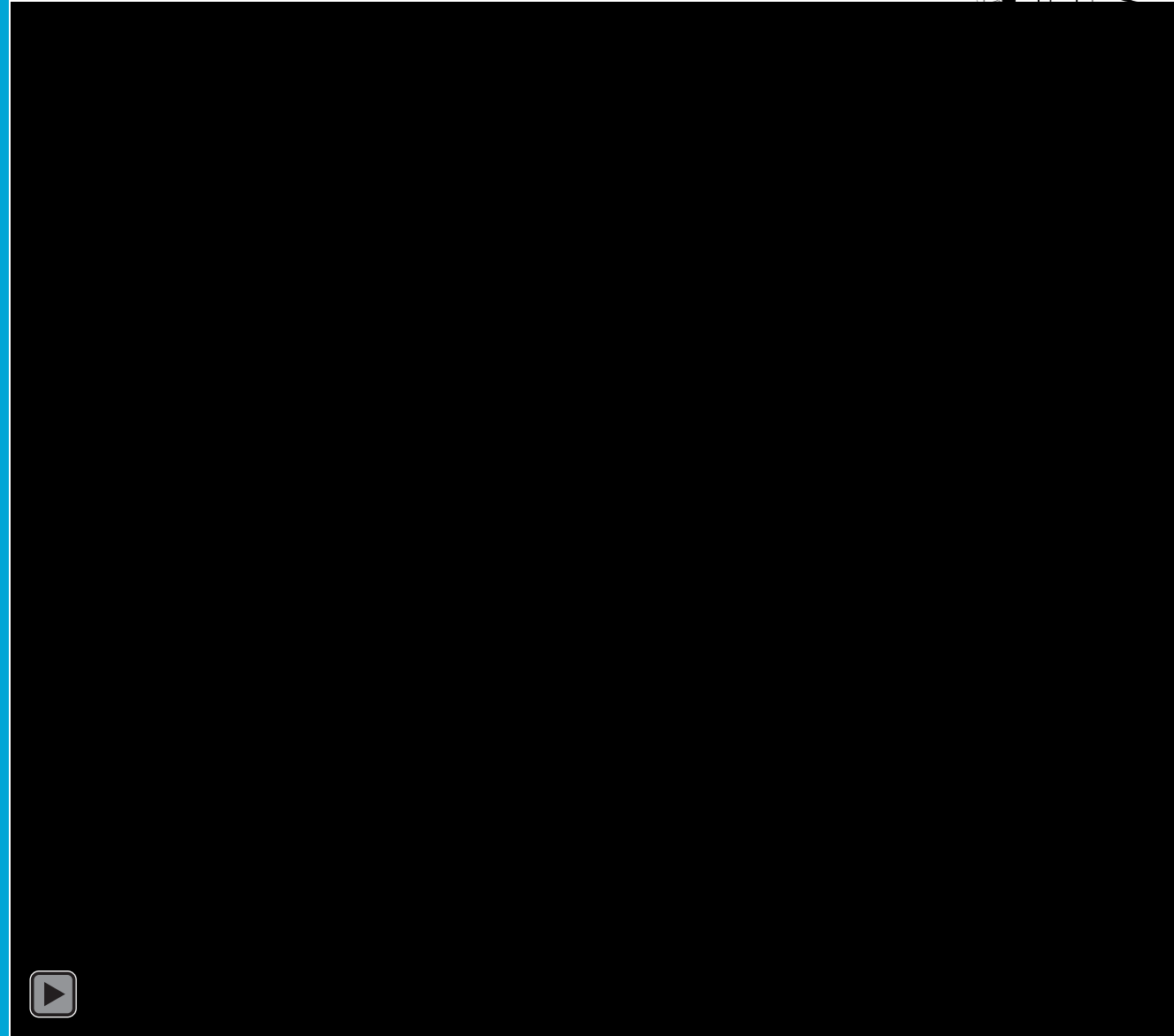
De getoonde waarden zijn theoretisch en treden in de praktijk niet op. Bij spanning groter dan 1 ongeveer N/mm² treden scheuren op en zullen krachten herverdelen.



Model #1

Theoretische spanningen van de *oostelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Dit cracking model is nodig om de gebieden van potentiële scheurvorming te lokaliseren.



Oostelijke wand

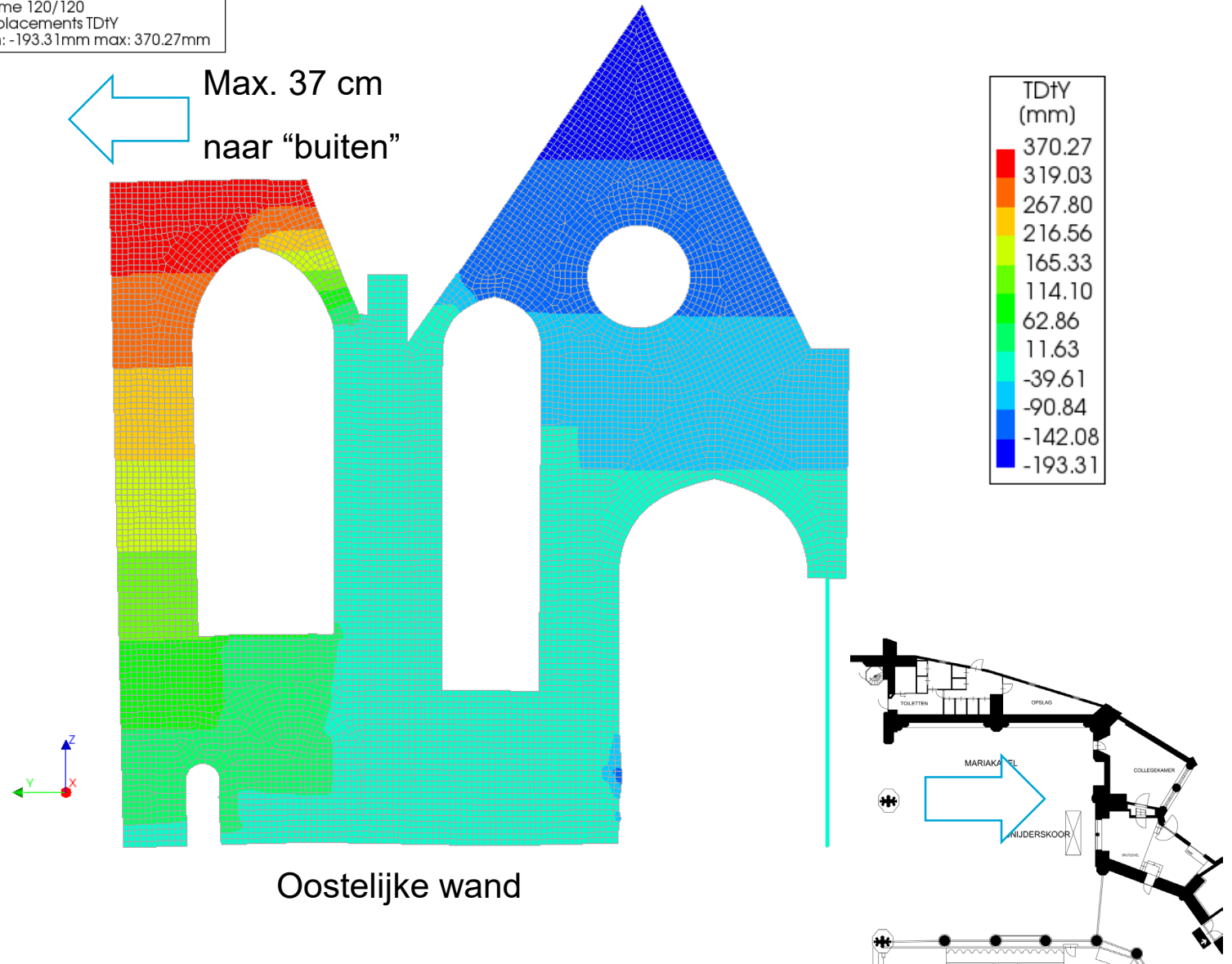
Schade zichtbaar

Model #1

Theoretische vervorming van de *oostelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Het cracking model geeft een grotere verplaatsing vergeleken met het **lineair elastische model**. Dat is het gevolg van scheurvorming.

Analysis 2 1961-2022
Load-step 380, Load-factor 1.0000
Frame 120/120
Displacements TDtY
min: -193.31mm max: 370.27mm

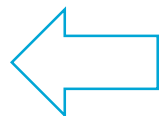


Model #1

Theoretische vervorming van de *oostelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

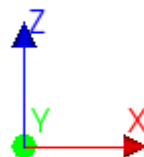
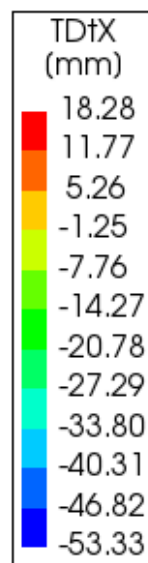
Vervorming in cracking model tegengestelde richting als op locatie geconstateerd.

Analysis 2 1961-2022
Load-step 380, Load-factor 1.0000
Frame 120/120
Displacements TDtX
min: -53.33mm max: 18.28mm

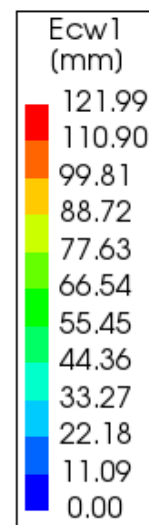


Max. 5 cm

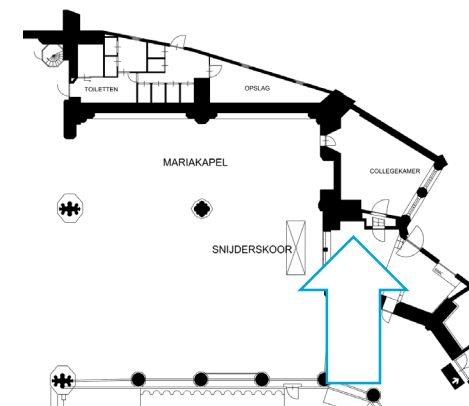
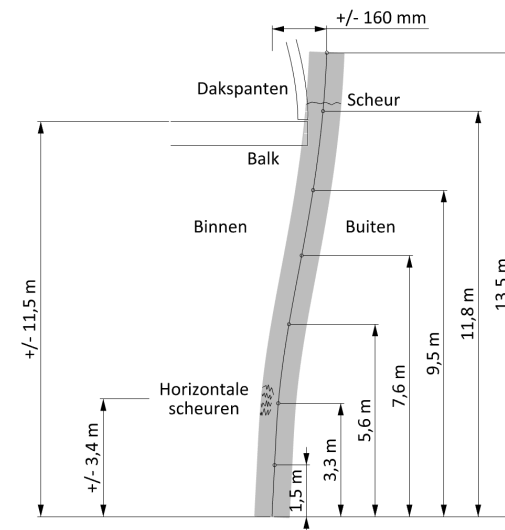
“naar binnen”



Analysis 2 1961-2022
Load-step 380, Load-factor 1.0000
Crack-widths Ecw1 layer 1
min: 0.00mm max: 121.99mm



Steunbeer 41



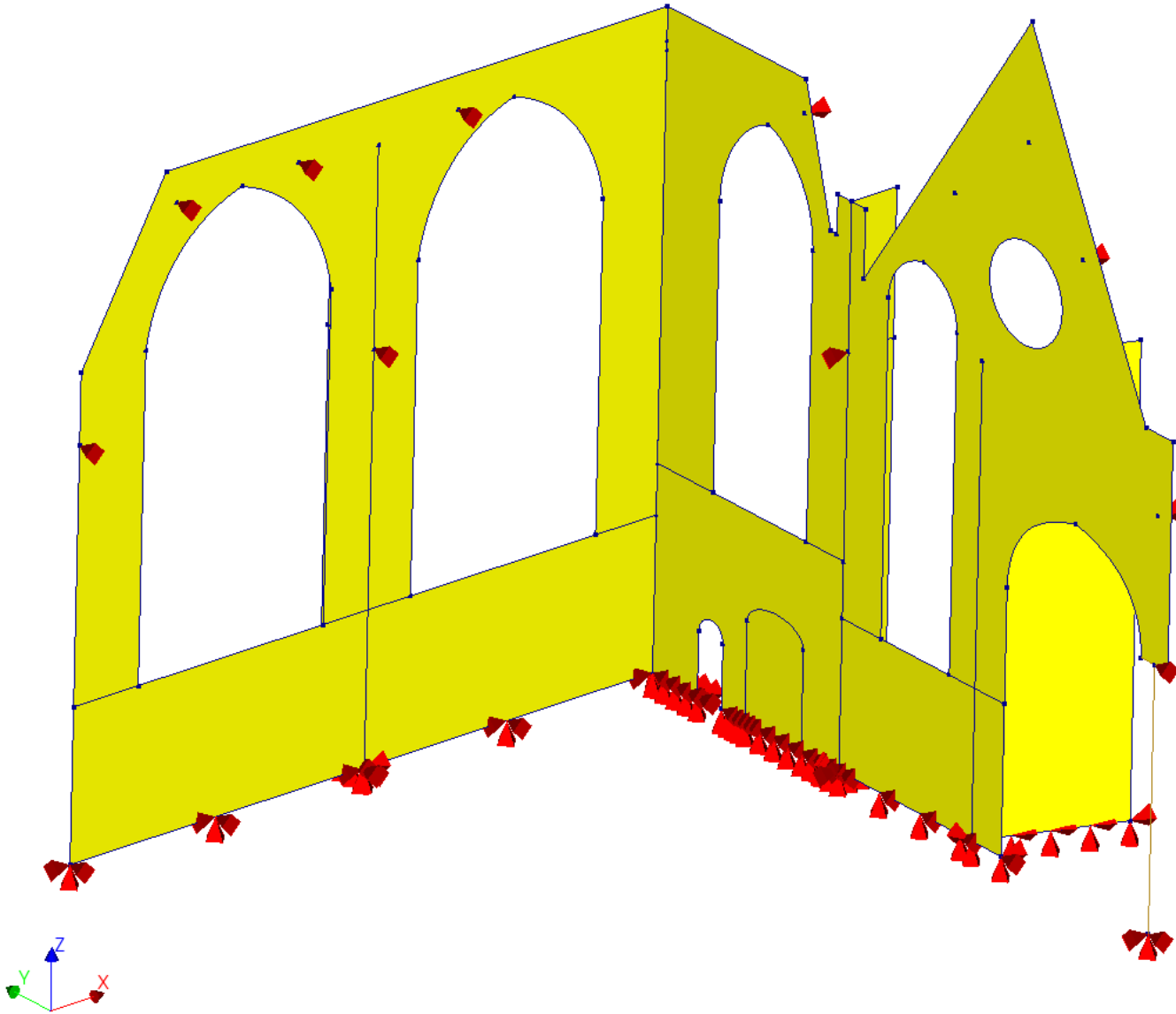
Deelconclusie:

Verticale zetting veroorzaakt horizontale verplaatsingen

Scheurvorming op basis van zettingen komt overeen met in de praktijk waargenomen schade

Scheurvorming vergoot de verplaatsingen

Hoek ongesteund. Hoek steunen levert onbruikbare resultaten.



Model #2

Een model waarin het metselwerk en verbindingen met kap als starre verbindingen zijn opgenomen.

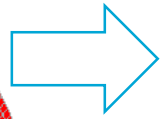
Type analysis:

- **Lineair elastisch** (gebruikelijk)
- Niet-lineair, geometrisch en fysisch (scheuren)

Belastingen

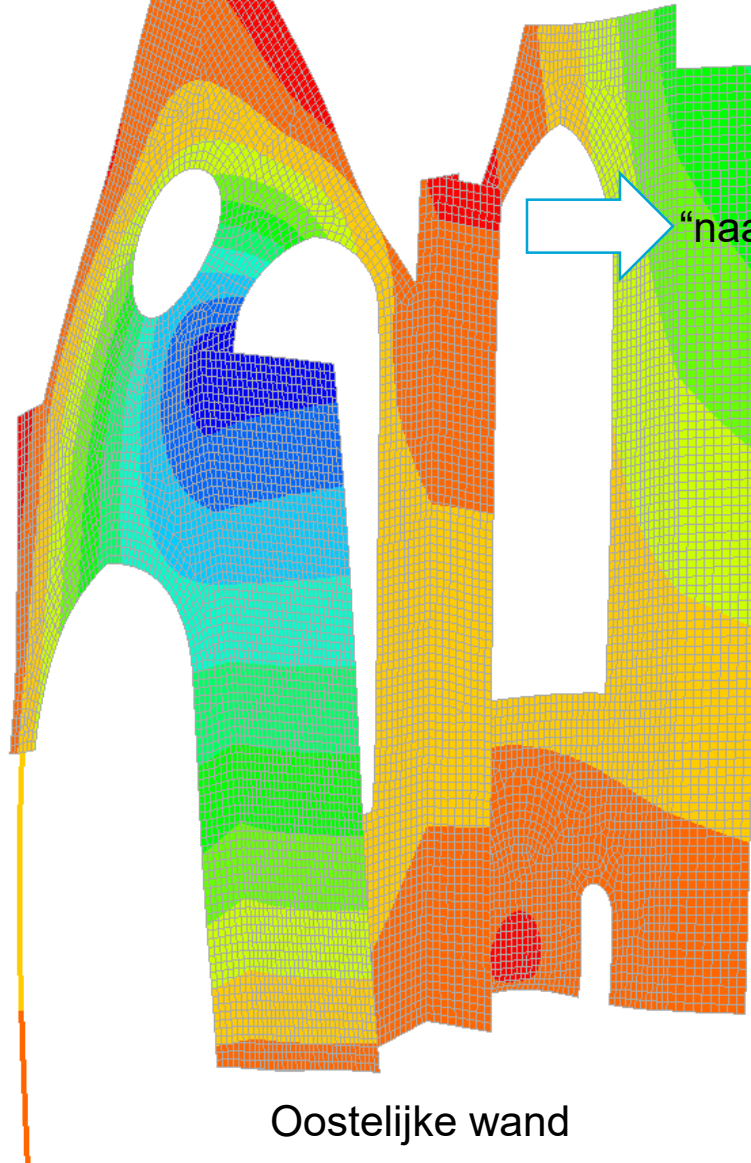
- Eigen gewicht
- Zetting 1961-2010 (dag 17581)
- Zetting 2010-2021 (dag 21900)

Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements DtX
min: -146.29mm max: 24.25mm

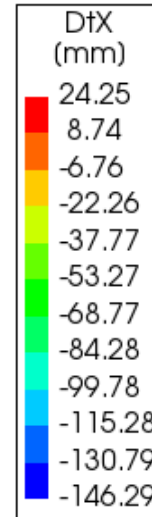


Horizontale verplaatsing 2 cm “naar buiten”

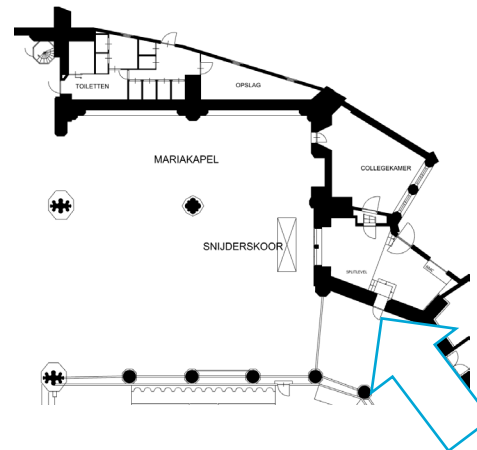
In model #1 was dit 51 cm “naar binnen”



“naar buiten”



Oostelijke wand

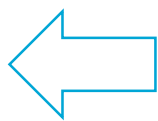


Model #2

Theoretische vervorming van de *oostelijke* wand wanneer de verbinding met de kap als starre verbinding werken.

Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

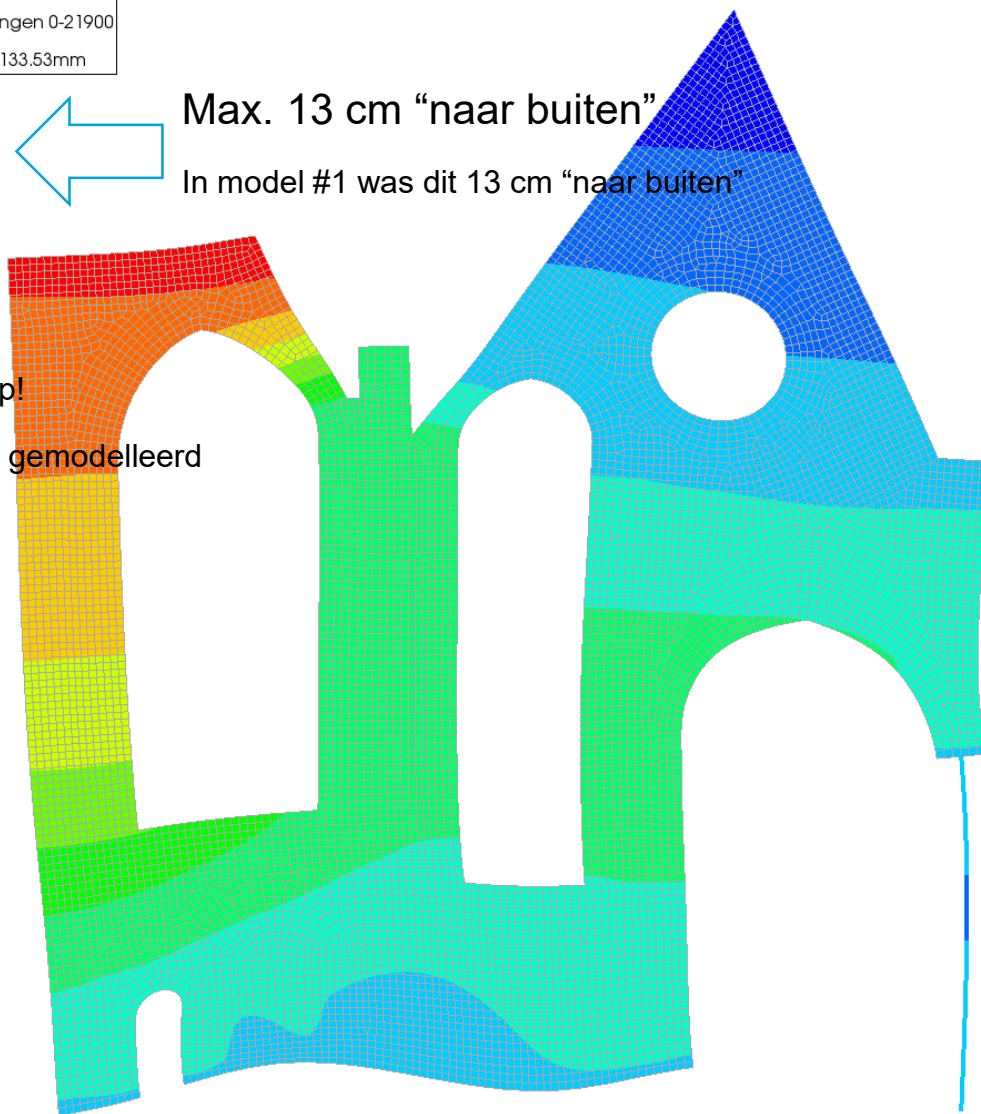
T
gewicht + zettingen 0-21900
ements DtY
81mm max: 133.53mm



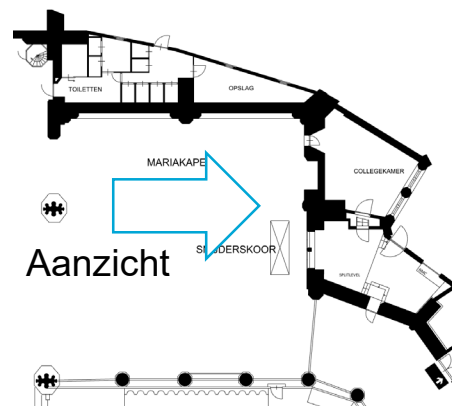
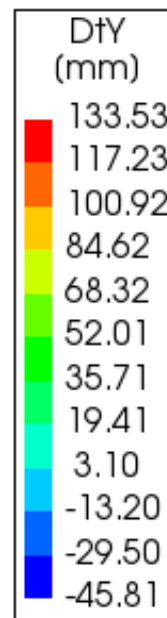
Max. 13 cm “naar buiten”

In model #1 was dit 13 cm “naar buiten”

Let op!
esteund gemodelleerd



Oostelijke wand



Aanzicht

Model #2

Theoretische vervorming van de oosterlijke wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements DtY
min: -11.23mm max: 125.68mm

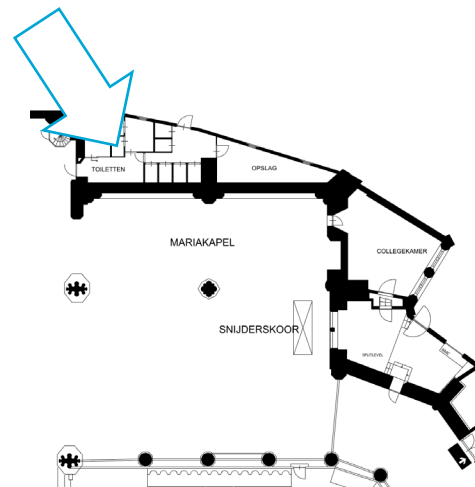
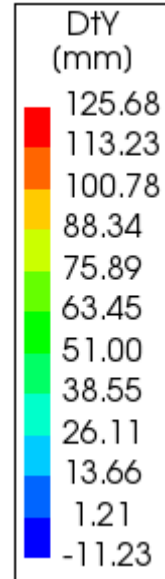
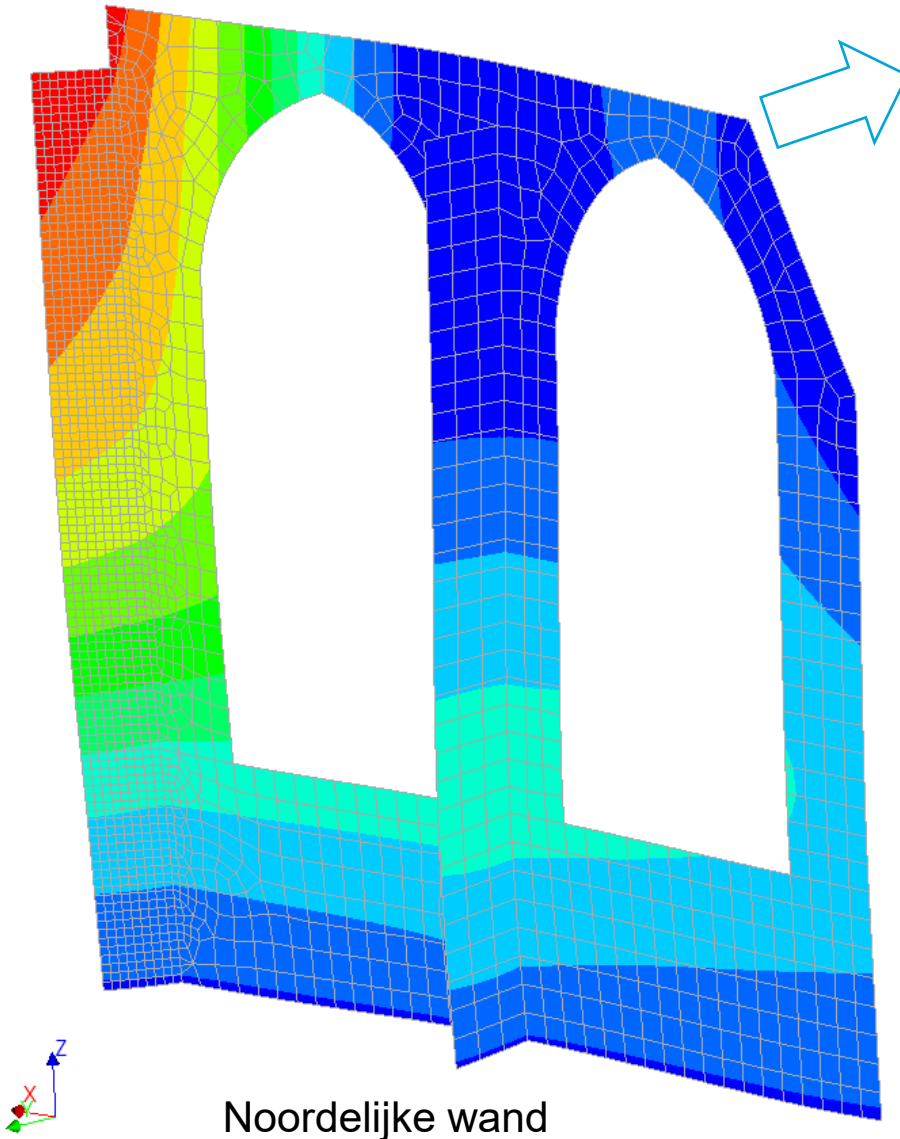
Horizontale verplaatsing 1 cm “naar binnen”

In model #1 was dit 23 cm “naar buiten”

Model #2

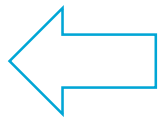
Theoretische vervorming van de *noordelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.



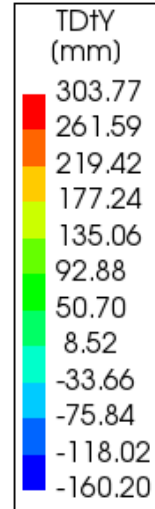
Analysis2 1961-2022
Load-step 380, Load-factor 1.0000
Displacements TDtY
min: -132.85mm max: 192.33mm

Oostelijke wand



Max. 19 cm naar “buiten”

In model #1 was dit 37 cm “naar buiten”

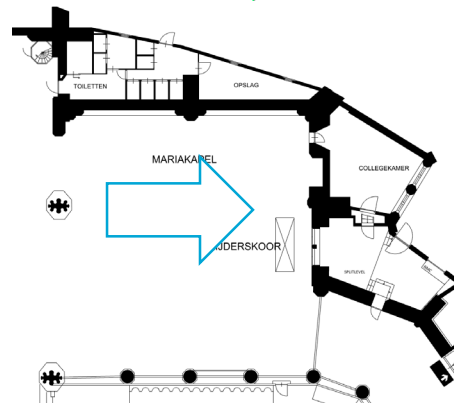
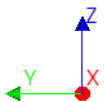


Model #2

Theoretische vervorming van de *oostelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Het cracking model geeft een grotere verplaatsing vergeleken met het **lineair elastische model**. Dat is het gevolg van scheurvorming.

Let op! Model noodgedwongen tot stand gekomen op basis van niet convergerende tussenstappen.



Deelconclusie:

Kap en onderbouw biedt weerstand tegen vervorming van het metselwerk

Groote en richting van vervormingen van het metselwerk worden beïnvloed door kap en onderbouw

Model #3

Een model waarin het metselwerk en kap als zijn opgenomen. Kap gemodelleerd met lage stijfheid.

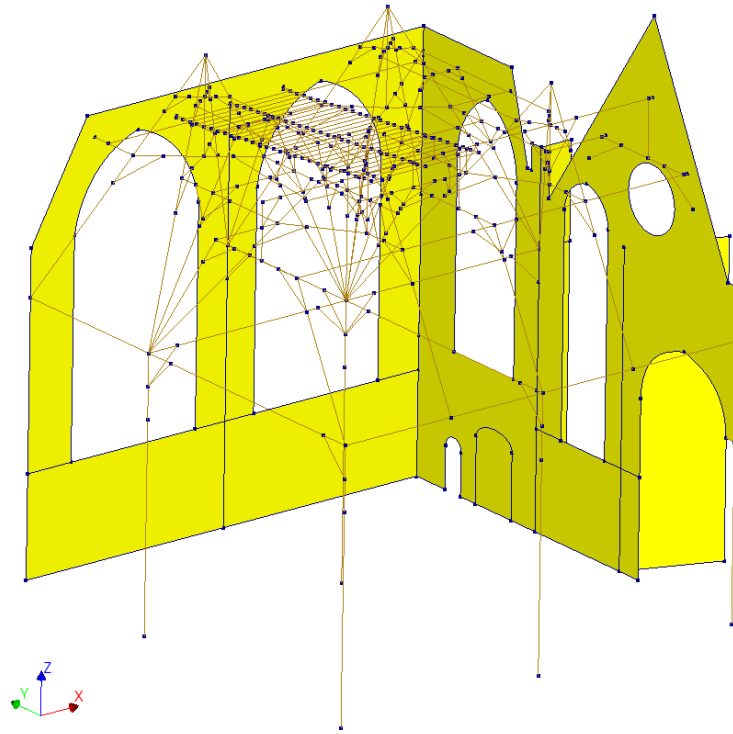
Type analysis:

- Lineair elastisch

Belastingen

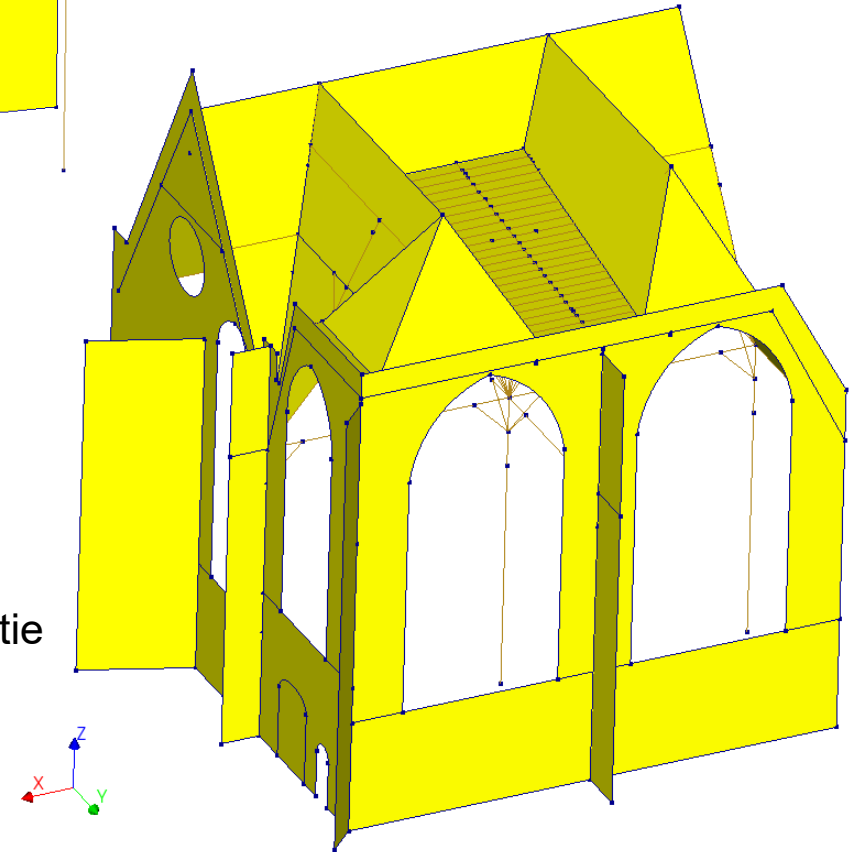
- Eigen gewicht
- Zetting 1961-2010 (dag 17581)
- Zetting 2010-2021 (dag 21900)

Hoek gesteund door kap.



Dak en vloer uitgezet voor visualisatie

Compleet voor visualisatie



Model #3

Theoretische vervorming van de oostelijke wand wanneer de verbinding met de kap als starre verbinding werken.

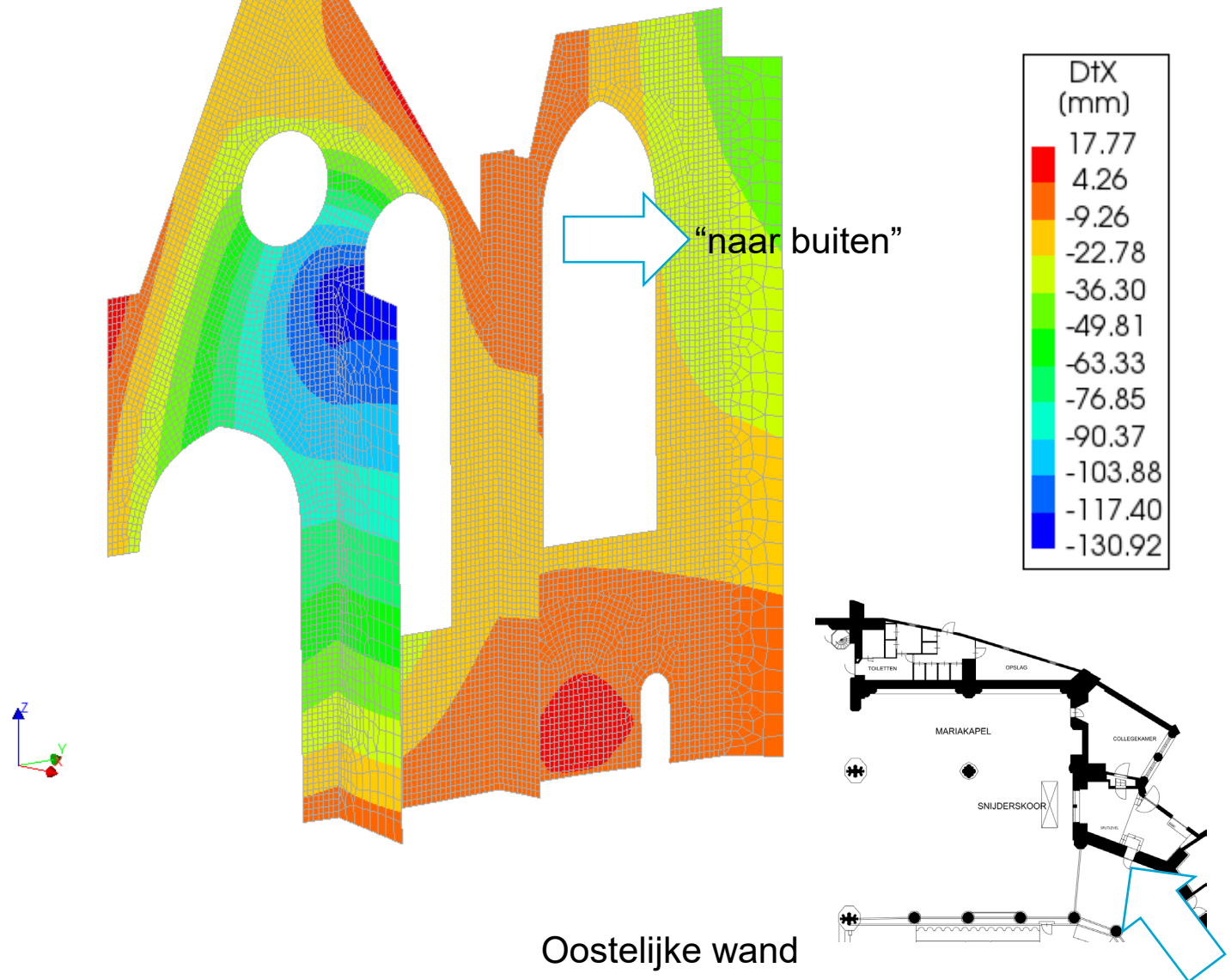
Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements Dtx
min: -130.92mm max: 17.77mm

Horizontale verplaatsing 2 cm “naar binnen”

In model 2 was dit 2 cm “naar buiten”

In model #1 was dit 51 cm “naar binnen”



Model #3

Theoretische vervorming van de *noordelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

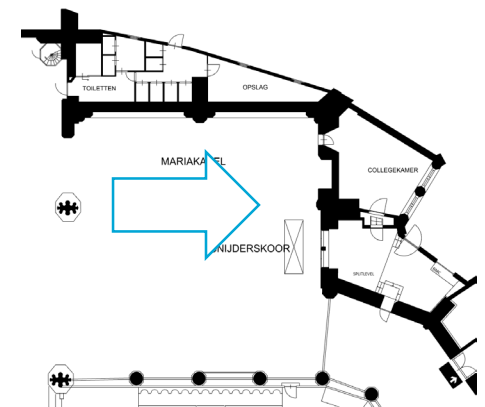
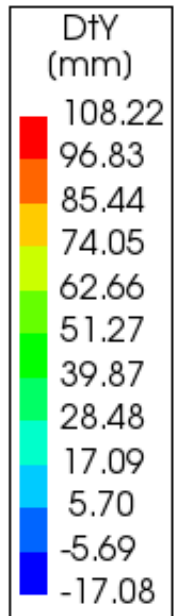
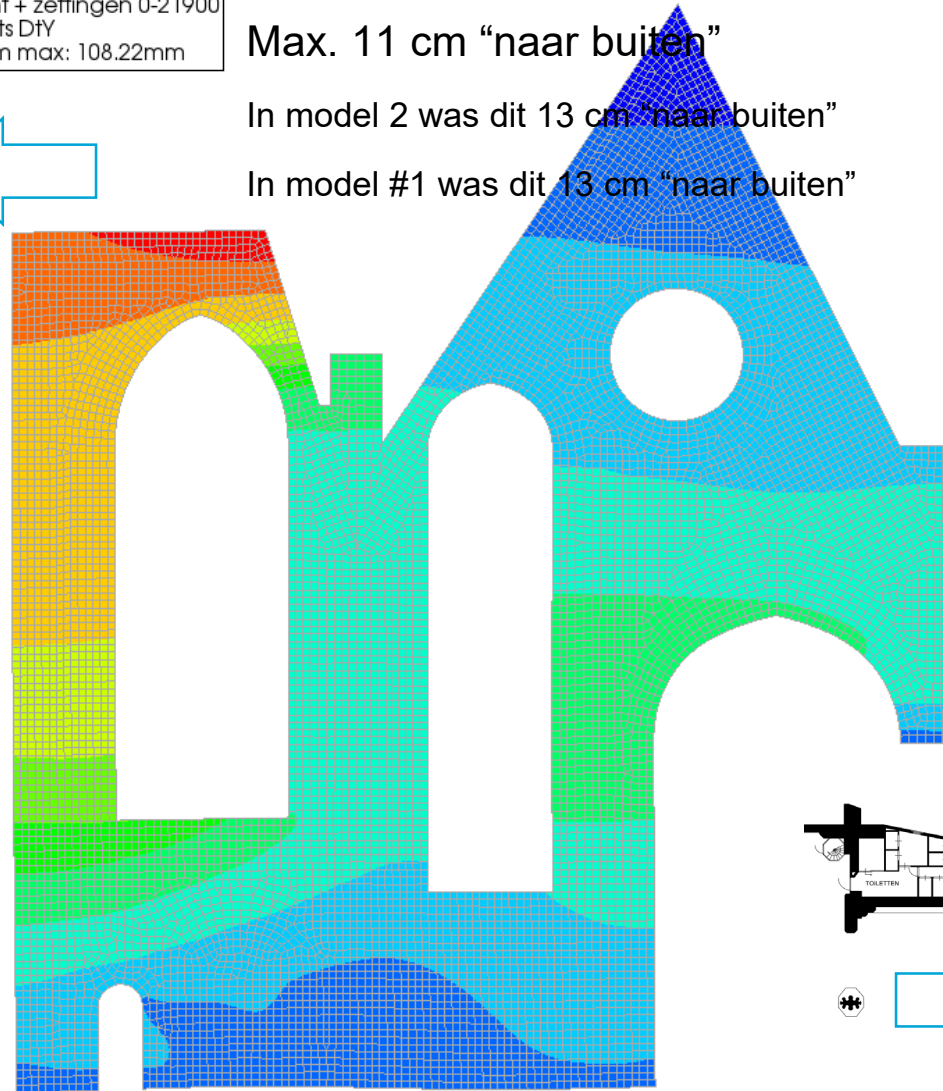
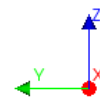
Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements DTY
min: -17.08mm max: 108.22mm

Max. 11 cm “naar buiten”

In model 2 was dit 13 cm “naar buiten”

In model #1 was dit 13 cm “naar buiten”

Hoek nu wél
gesteund door kap



Oostelijke wand

Model #3

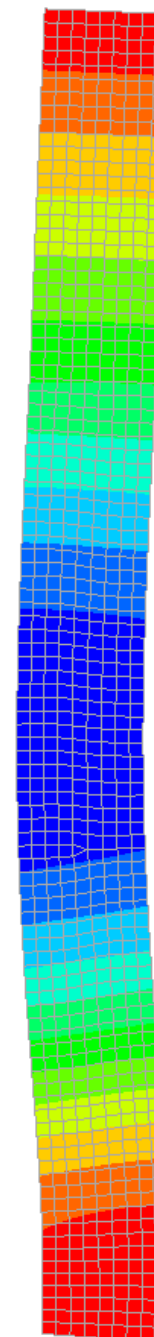
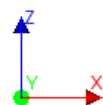
Theoretische vervorming van de *oostelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

Vervorming in **lineair elastische** model tegengestelde richting als op locatie geconstateerd.

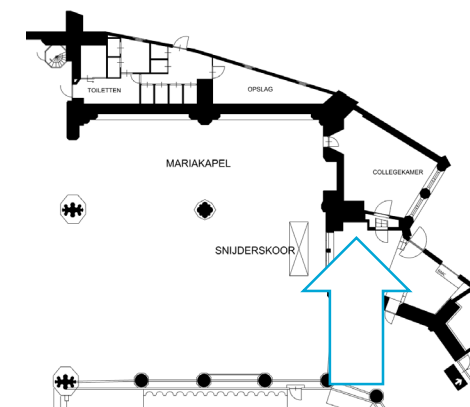
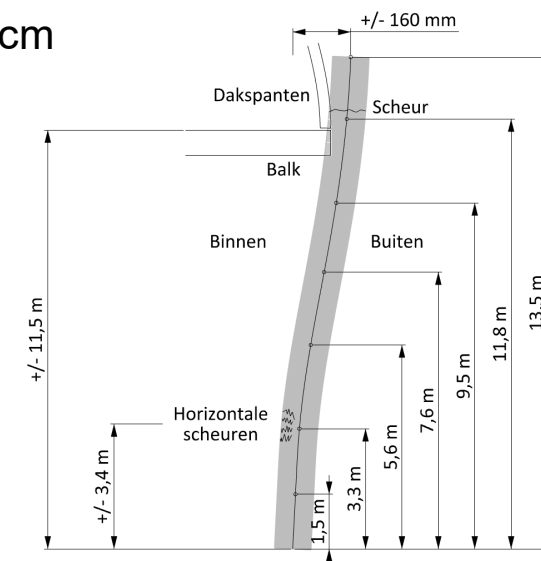
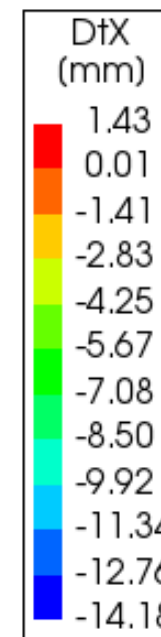
Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements DtX
min: -14.18mm max: 1.43mm

Steunbeer 41

1,5 cm



1,5 cm



Model #3

Theoretische vervorming van de *noordelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

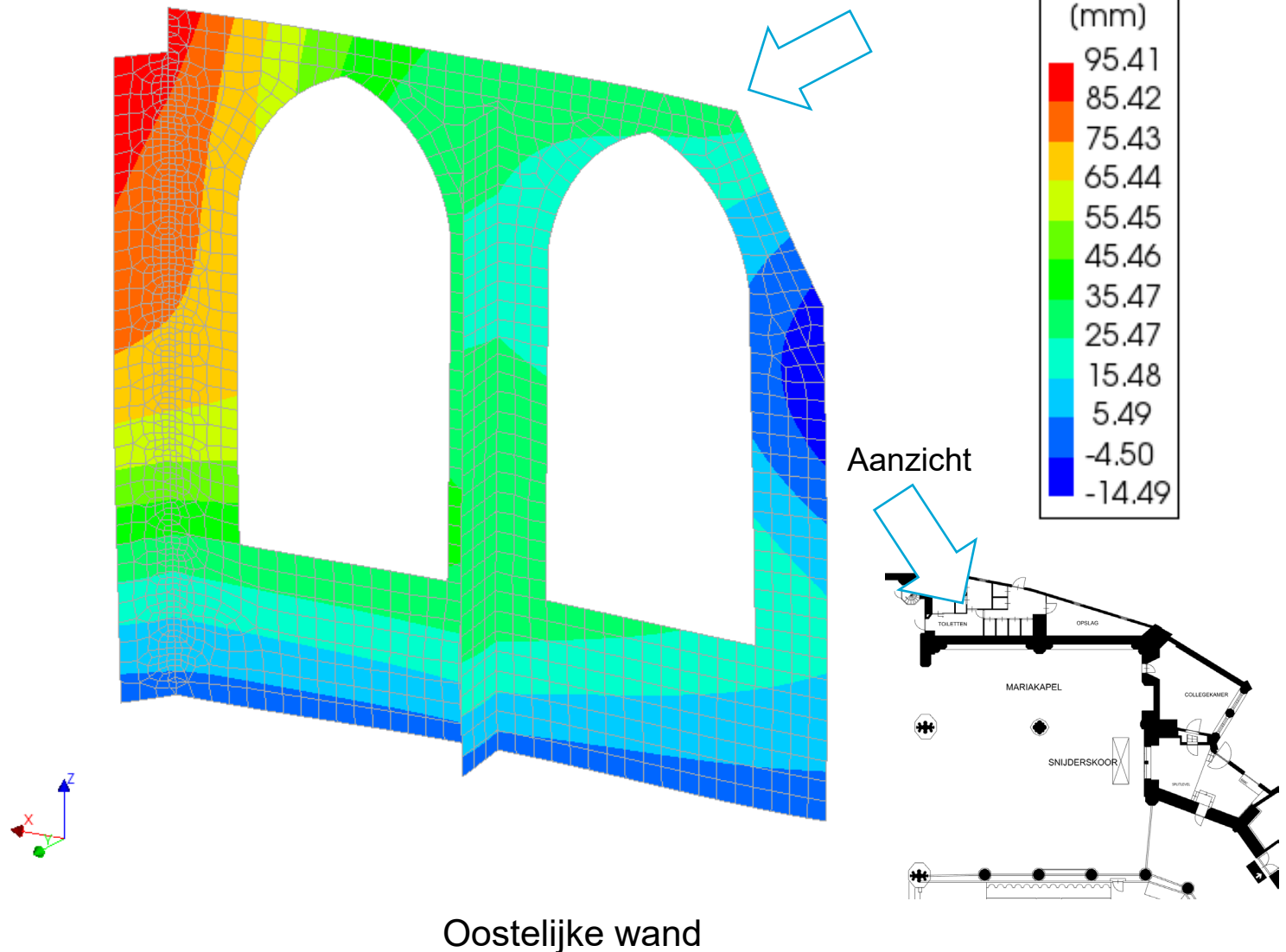
Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements DTY
min: -14.49mm max: 95.41mm

Horizontale verplaatsing 3 cm “naar buiten”

In model #2 was dit 1 cm “naar binnen”

In model #1 was dit 23 cm “naar buiten”



Model #3

Theoretische vervorming van de *noordelijke* wand indien de onderbouw én kapconstructie er niet zouden zijn.

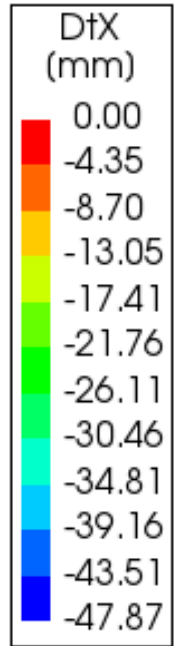
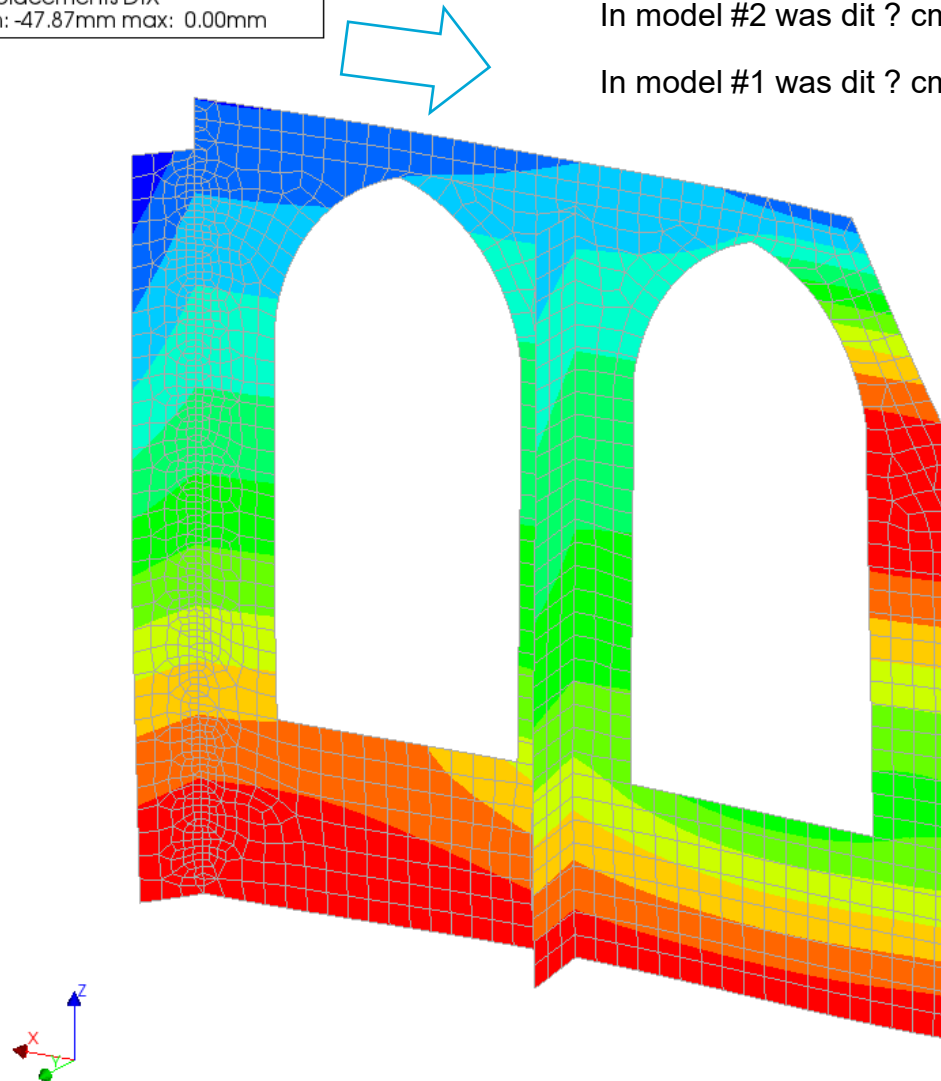
Dit **lineair elastische** model is nodig om het constructief gedrag van dit onderdeel inzichtelijk te maken.

Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Displacements DtX
min: -47.87mm max: 0.00mm

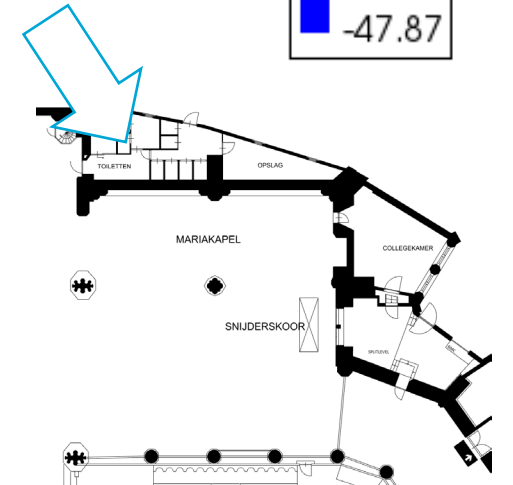
Horizontale verplaatsing 5 cm “naar buiten”

In model #2 was dit ? cm “naar binnen”

In model #1 was dit ? cm “naar binnen”



Aanzicht

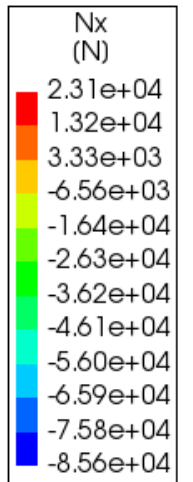
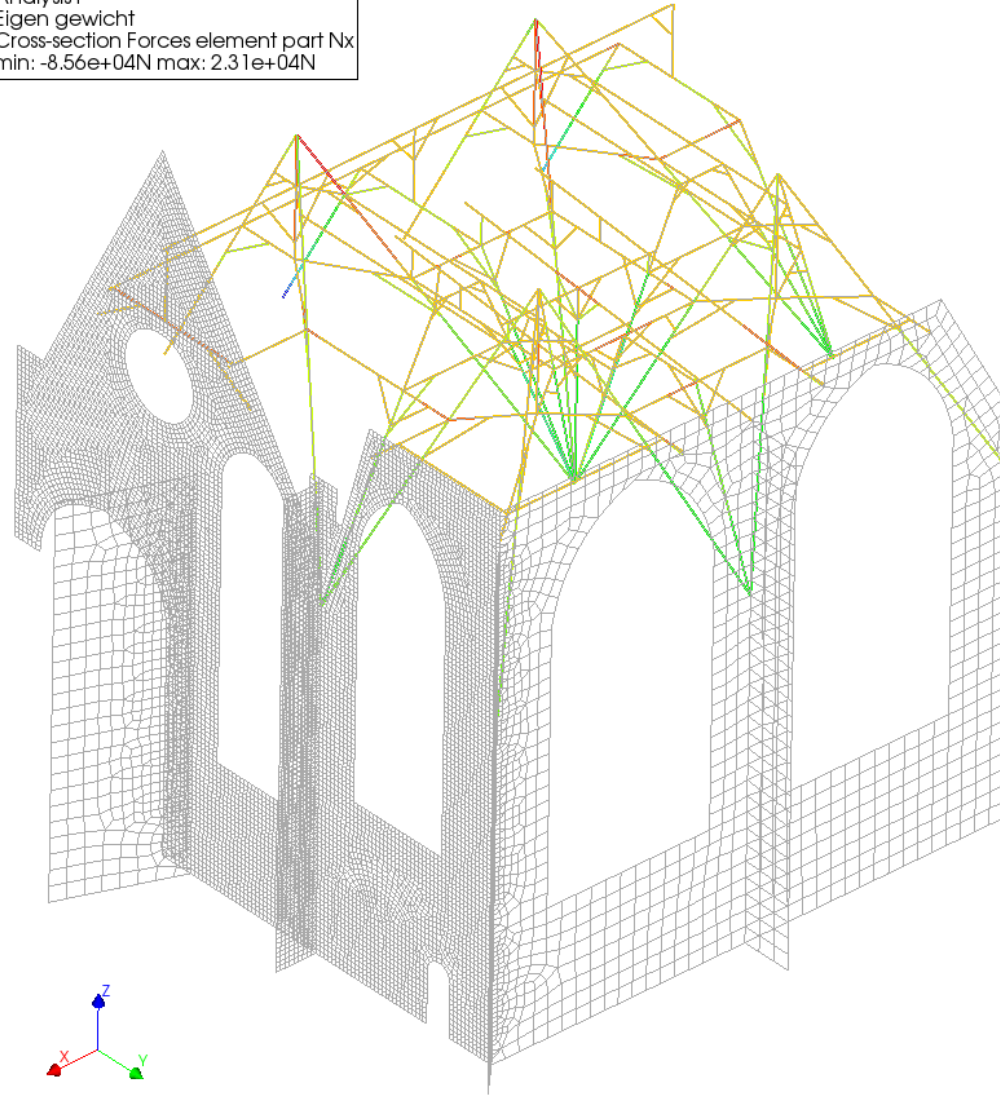


Oostelijke wand

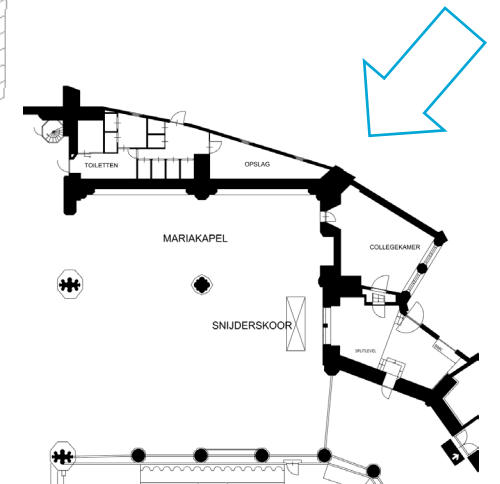
Model #3

Als gevolg van het eigen gewicht van de kap zijn er beperkte trekkrachten aanwezig. Hier zal de constructie voor zijn ontworpen.

Analysis1
Eigen gewicht
Cross-section Forces element part Nx
min: -8.56e+04N max: 2.31e+04N



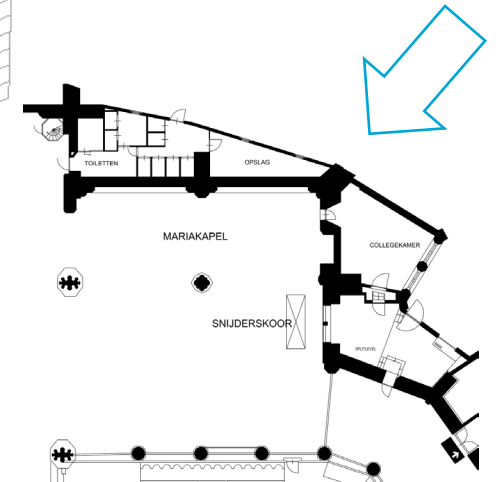
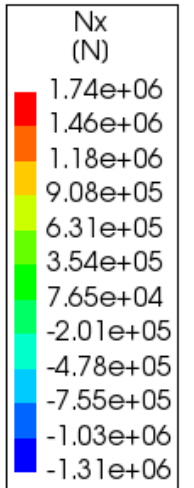
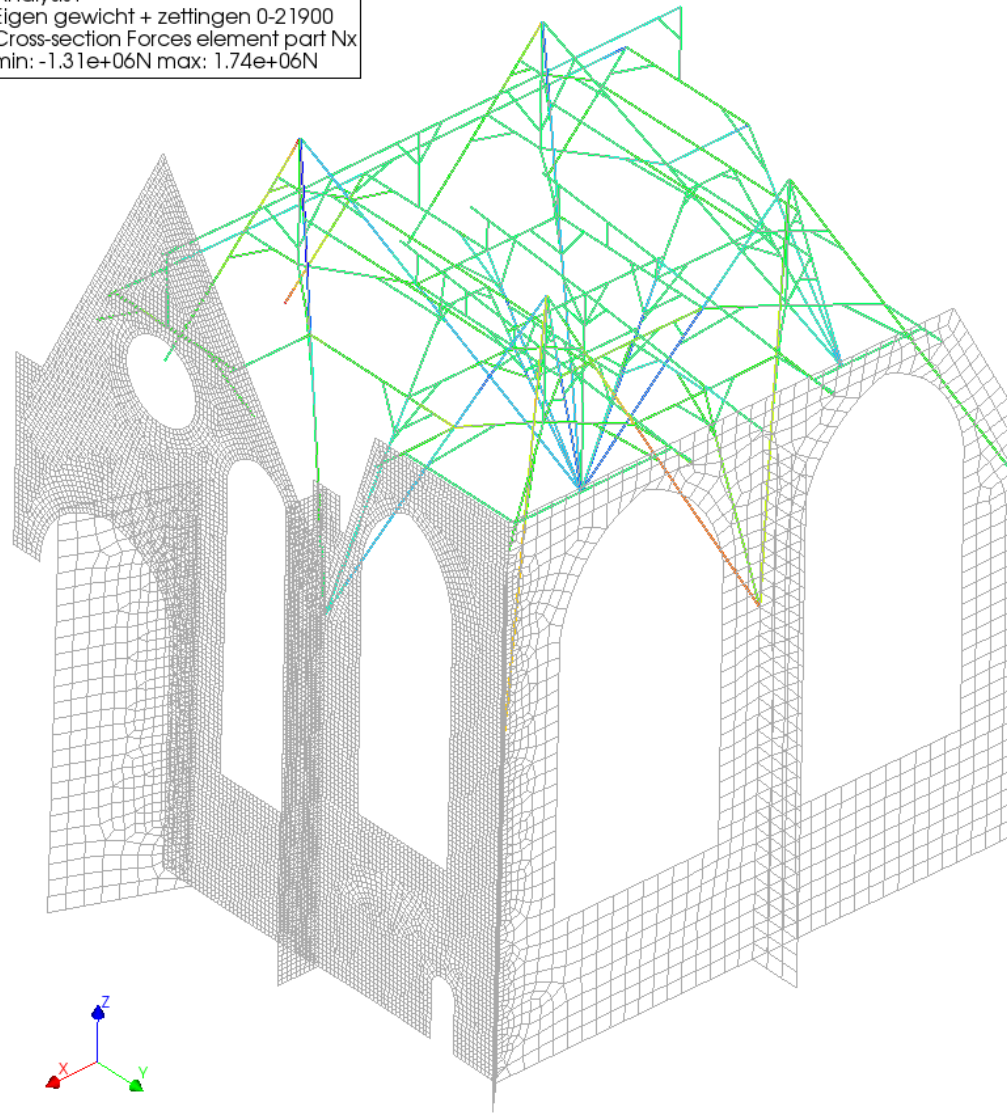
Aanzicht



Model #3

Als gevolg van de zettingen zijn grote trekkrachten aanwezig. Deze zijn tot een factor 75 groter dan ten gevolge van het eigen gewicht. Hier zal de constructie **niet** voor zijn ontworpen.

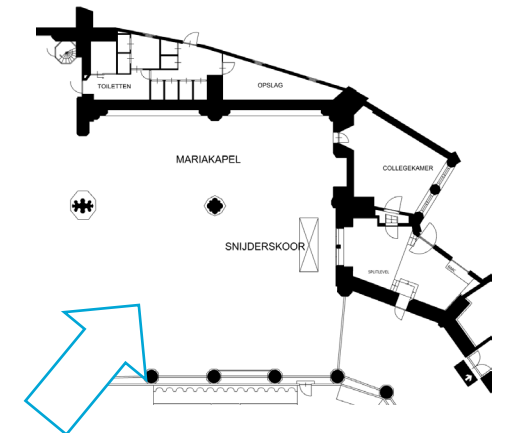
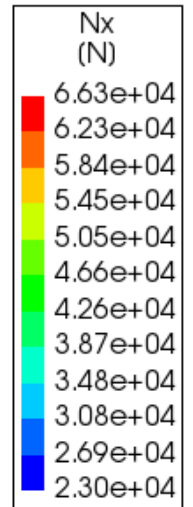
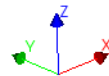
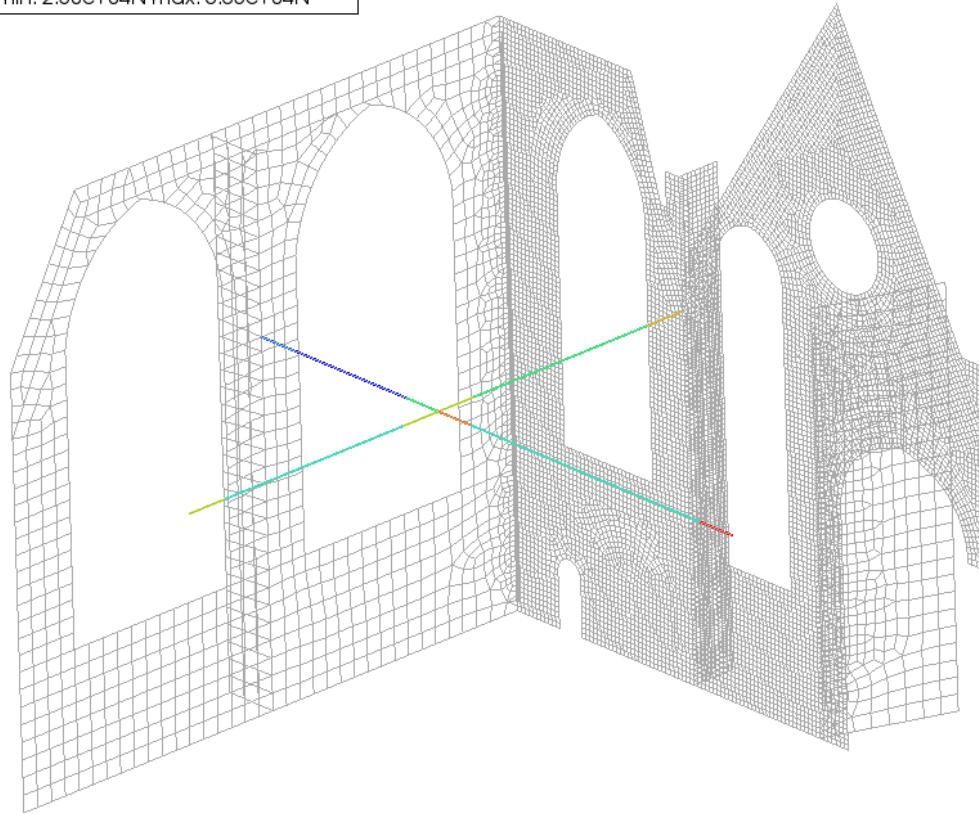
Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Cross-section Forces element part Nx
min: -1.31e+06N max: 1.74e+06N



Model #3

Als gevolg van het eigen gewicht zijn er trekkrachten aanwezig. Hier zal de constructie voor zijn ontworpen.

Analysis1
Eigen gewicht
Cross-section Forces element part Nx
min: 2.30e+04N max: 6.63e+04N

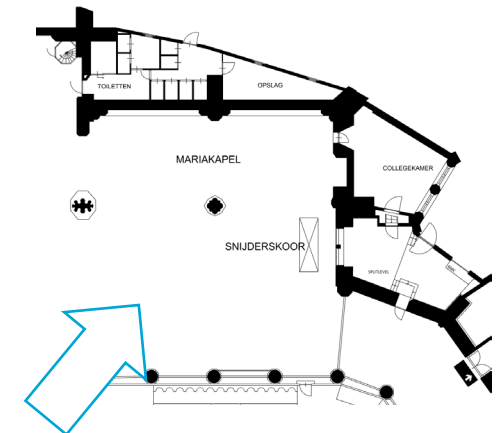
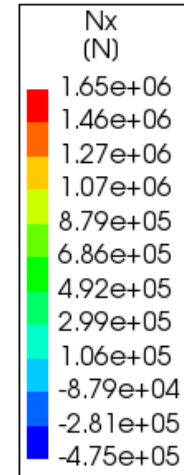
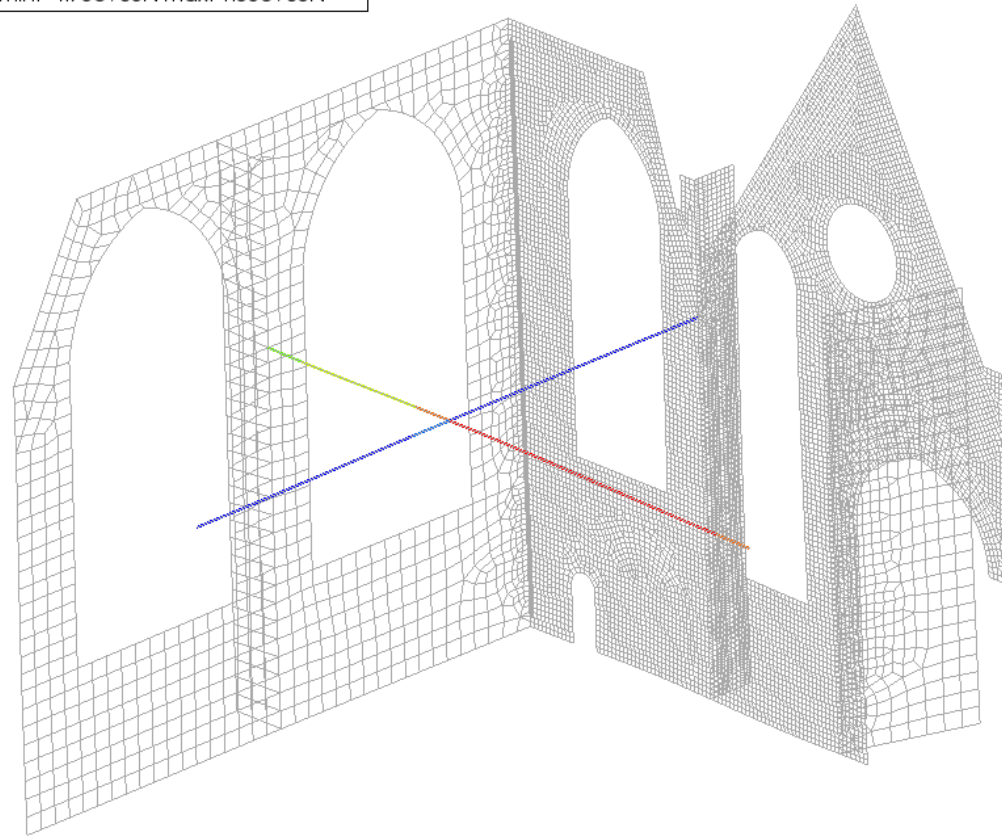


Model #3

Als gevolg van de zettingen zijn grote trekkrachten aanwezig. Deze zijn tot een factor 40-45 groter dan ten gevolge van het eigen gewicht. Hier zal de constructie **niet** voor zijn ontworpen.

De druk in de richting oost-west is waarschijnlijk niet aanwezig. Het is onduidelijk wat hier gebeurt. Zie ook vervorming van steunbeer 41.

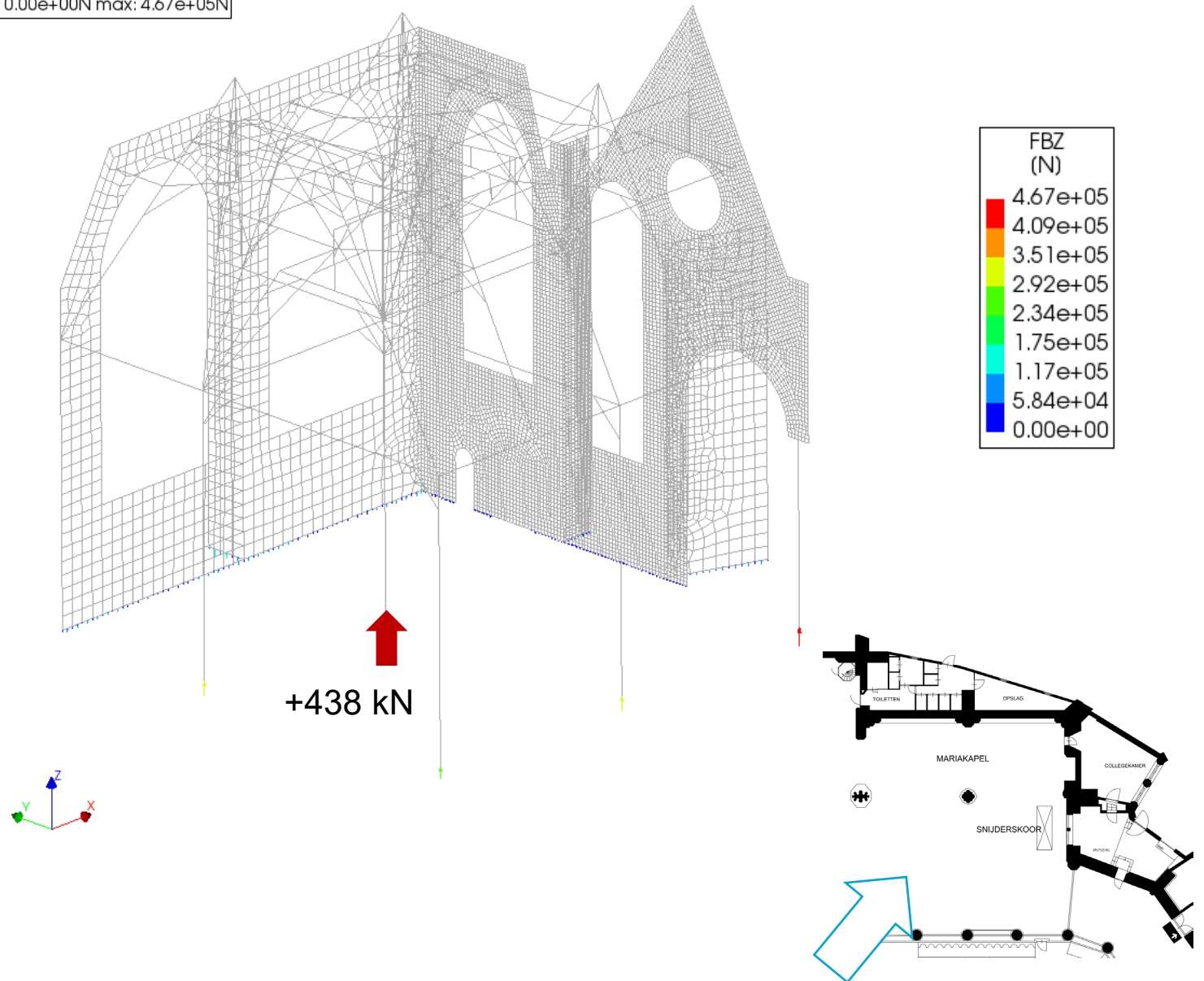
Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Cross-section Forces element part Nx
min: -4.75e+05N max: 1.65e+06N



Model #3

Als gevolg van de zettingen is de oplegreactie onder de midden kolom toegenomen. Hier zal de constructie voor zijn ontworpen.

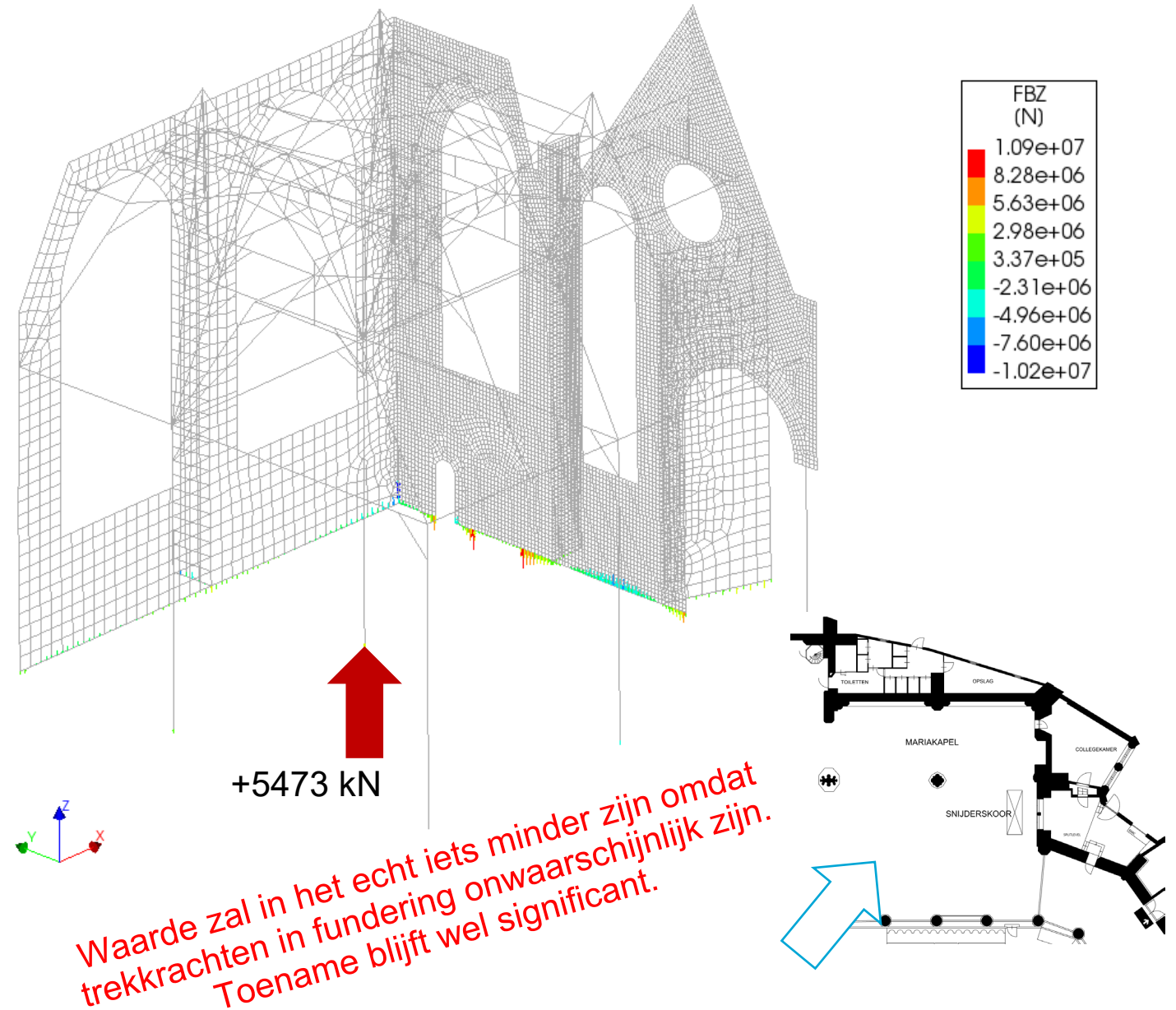
Analysis1
Eigen gewicht
Reaction Forces FBZ
min: 0.00e+00N max: 4.67e+05N



Model #3

Als gevolg van de zettingen is de oplegreactie onder de midden kolom en metselwerk toegenomen. Hier zal de constructie **niet** voor zijn ontworpen.

Analysis1
Eigen gewicht + zettingen 0-21900
Reaction Forces FBZ
min: -1.02e+07N max: 1.09e+07N



Deelconclusie:

Kap en onderbouw worden belast door horizontale vervormingen en waardoor verbindingen bezwijken

De kap en onderbouw houden het metselwerk bij elkaar maar, door bezwijken, blijven er steeds minder verbindingen over die het kunnen overnemen

Onderzoeksvraag 2:

2a Wat is het constructieve gedrag tot nu toe t.g.v. de mogelijke oorzaken van schade ten aanzien van evenwicht, krachtdoorstroming, spanningen en vervormingen?

2b Voor welke van deze mogelijke oorzaken is het waarschijnlijk tot de huidige schade te hebben geleid?

Conclusies:

De verticale zettingen leiden tot: (1) trekspanningen en scheuren, (2) zowel verticale als horizontale verplaatsingen welke gezamenlijk, (3) leiden herverdeling van krachten en zware belasting van de onderbouw en kapconstructie, (4) oplegreacties zijn significant toegenomen

Vervormingen gaan door zolang de zetting door gaat

Onderzoeksvragen

Onderzoeksvragen:

1. Wat is de conditie en context van de draagconstructie en de daarin geconstateerde schade?
- 2.a Wat is het constructieve gedrag tot nu van de mogelijke oorzaken van schade ten aanzien van evenwicht, krachtdoorstroming, spanningen en vervormingen?
- 2.b Voor welke van deze mogelijke oorzaken is het waarschijnlijk tot de huidige schade te hebben geleid?
- ~~3.a Hoe zal de constructie vanaf nu vervormen in de tijd?~~
- ~~3.b Wat is het tijdspad waarin verwachte voortschrijdende vervormingen zullen leiden tot bezwijken?~~
- 3.a Wat is de trend van vervormingen in de tijd?*
 - *Metselwerk*
 - *Kap constructie*
- 3.b Hoe verhouden computer modellen zich met de realiteit?*

Onderzoeksvraag 3:

3.a Wat is de trend van vervormingen in de tijd?

- Metselwerk*
- Kap constructie*

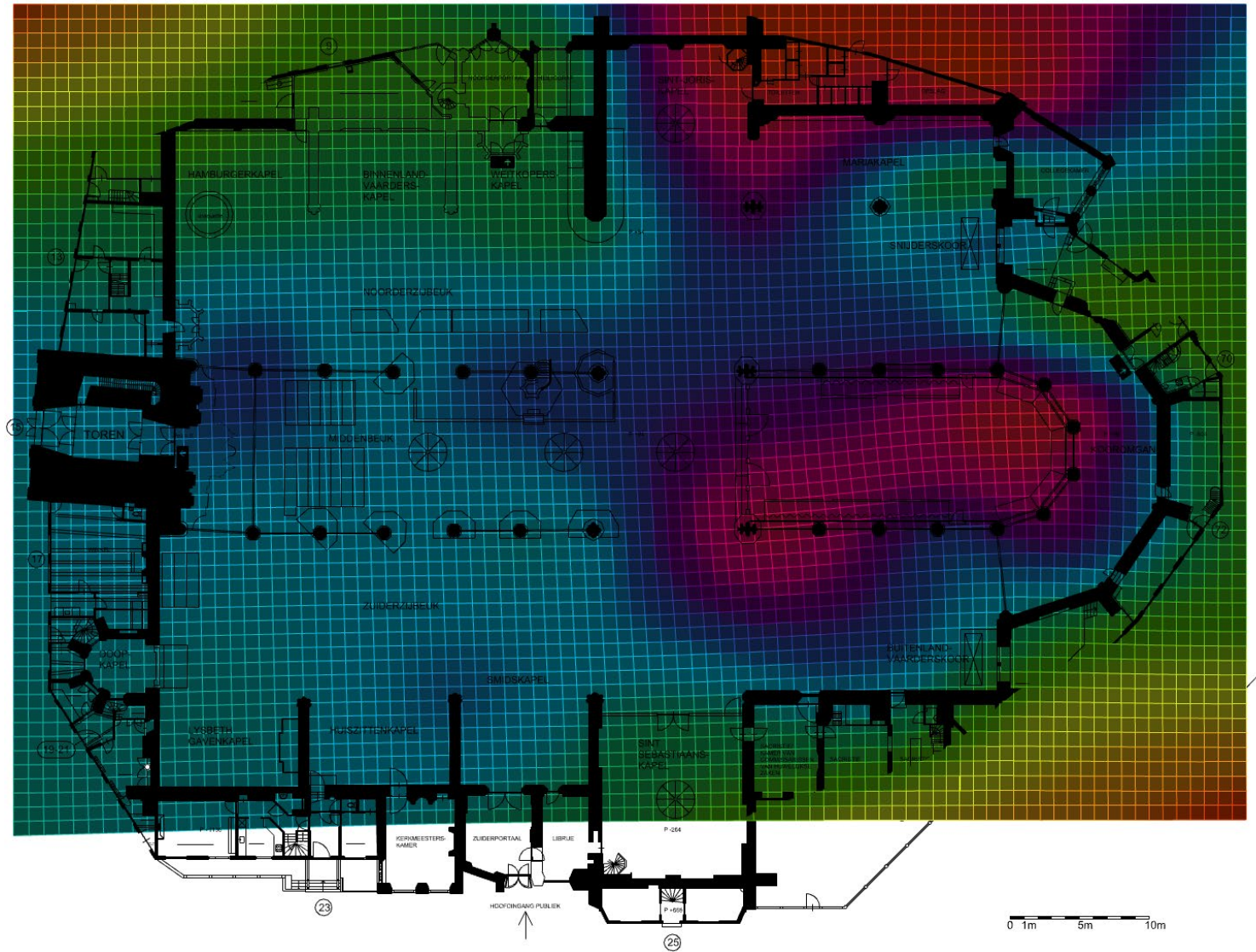
3.b Hoe verhouden computer modellen zich met de realiteit?

Trend

Zettingen voor de gehele kerk

Gemeten:

0 - 3 mm/jaar

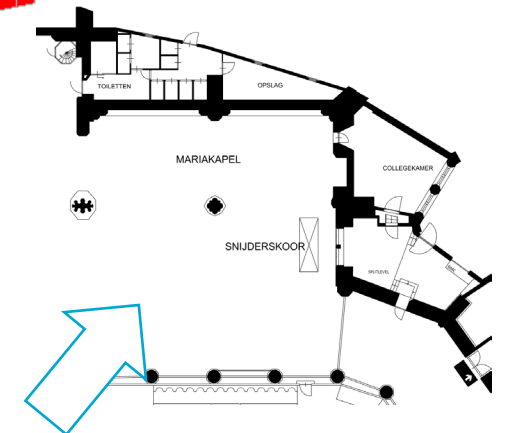
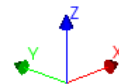
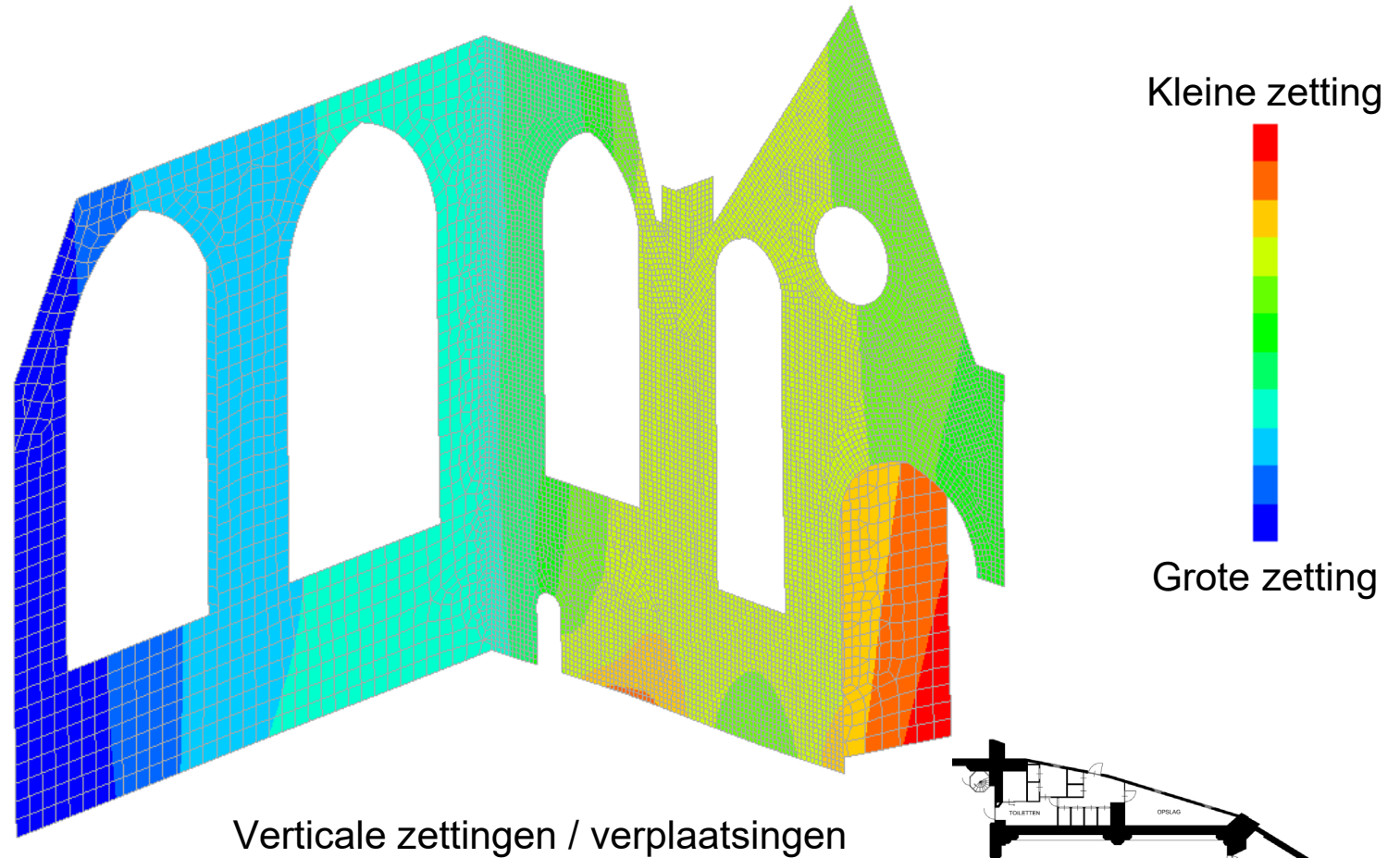


Zettingen

Trend

Vervormingen in verticale richting.

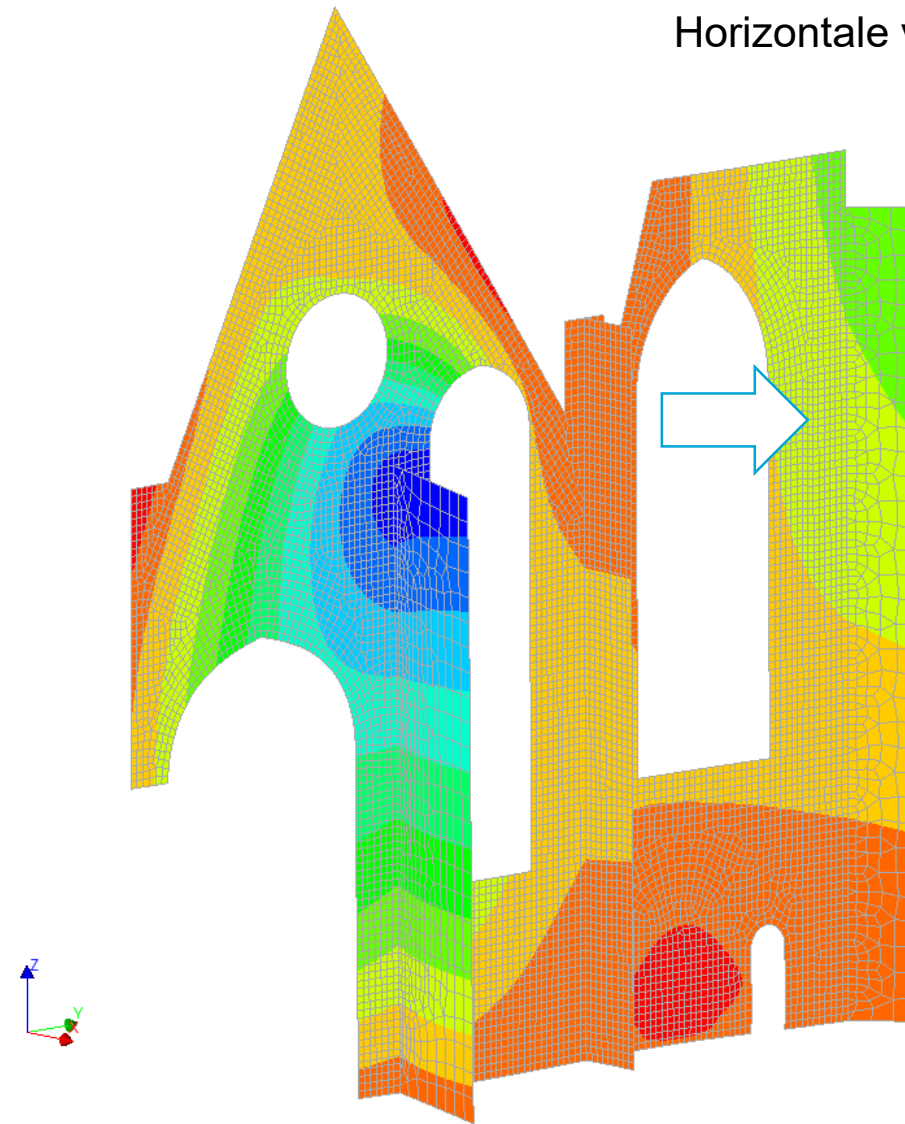
Voor de Maria kapel:
0 - 2 mm/jaar gemeten



Trend

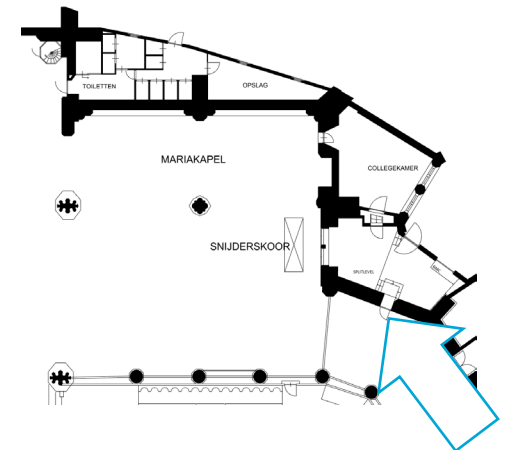
Vervormingen loodrecht op het vlak. Richting sterk afhankelijk van stijfheid van kapconstructie.

Grote wordt beperkt door weerstand van onderbouw en kap.



Horizontale verplaatsingen

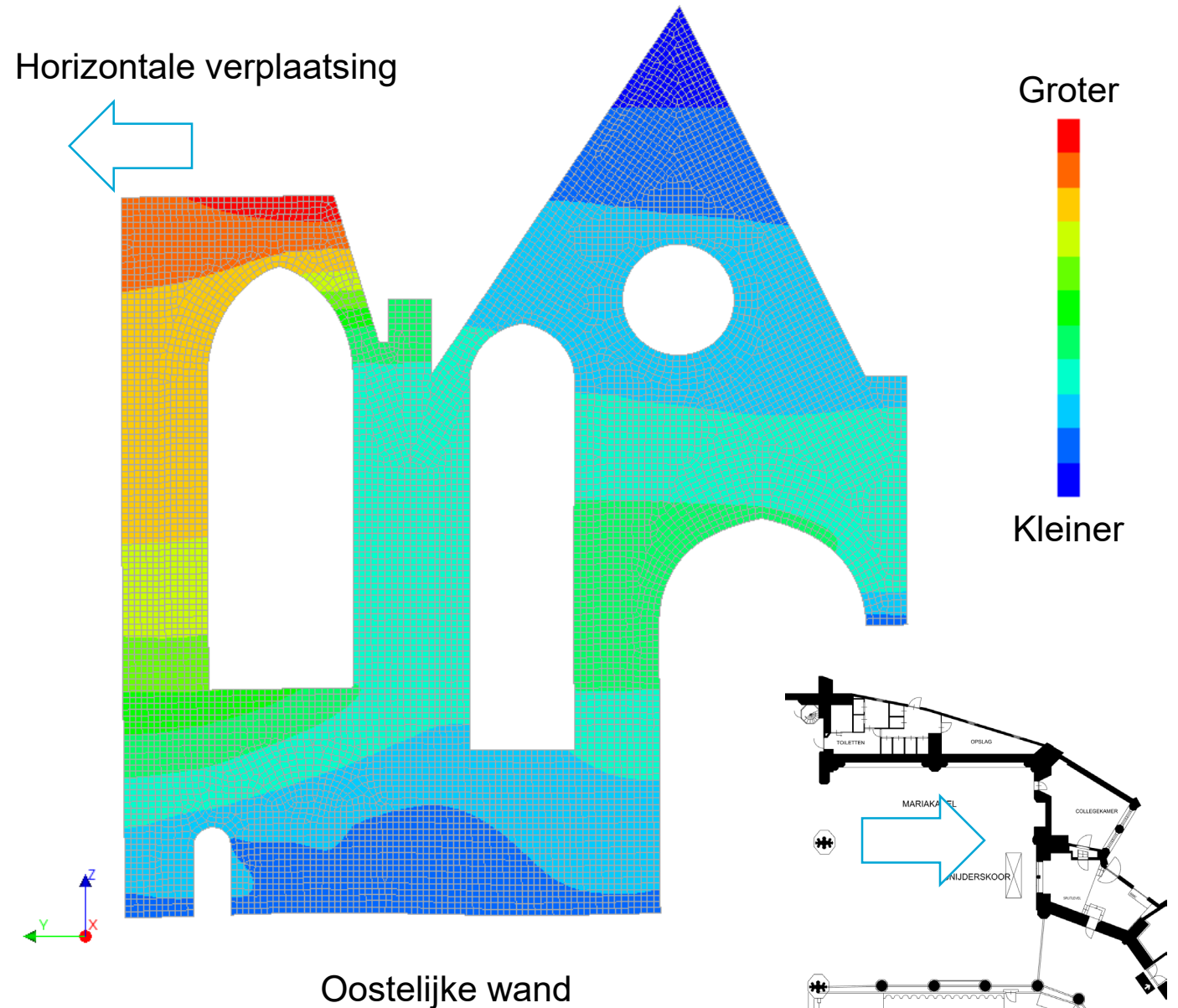
Oostelijke wand



Trend

Vervormingen in het vlak. Grote afhankelijk van stijfheid van kapconstructie.

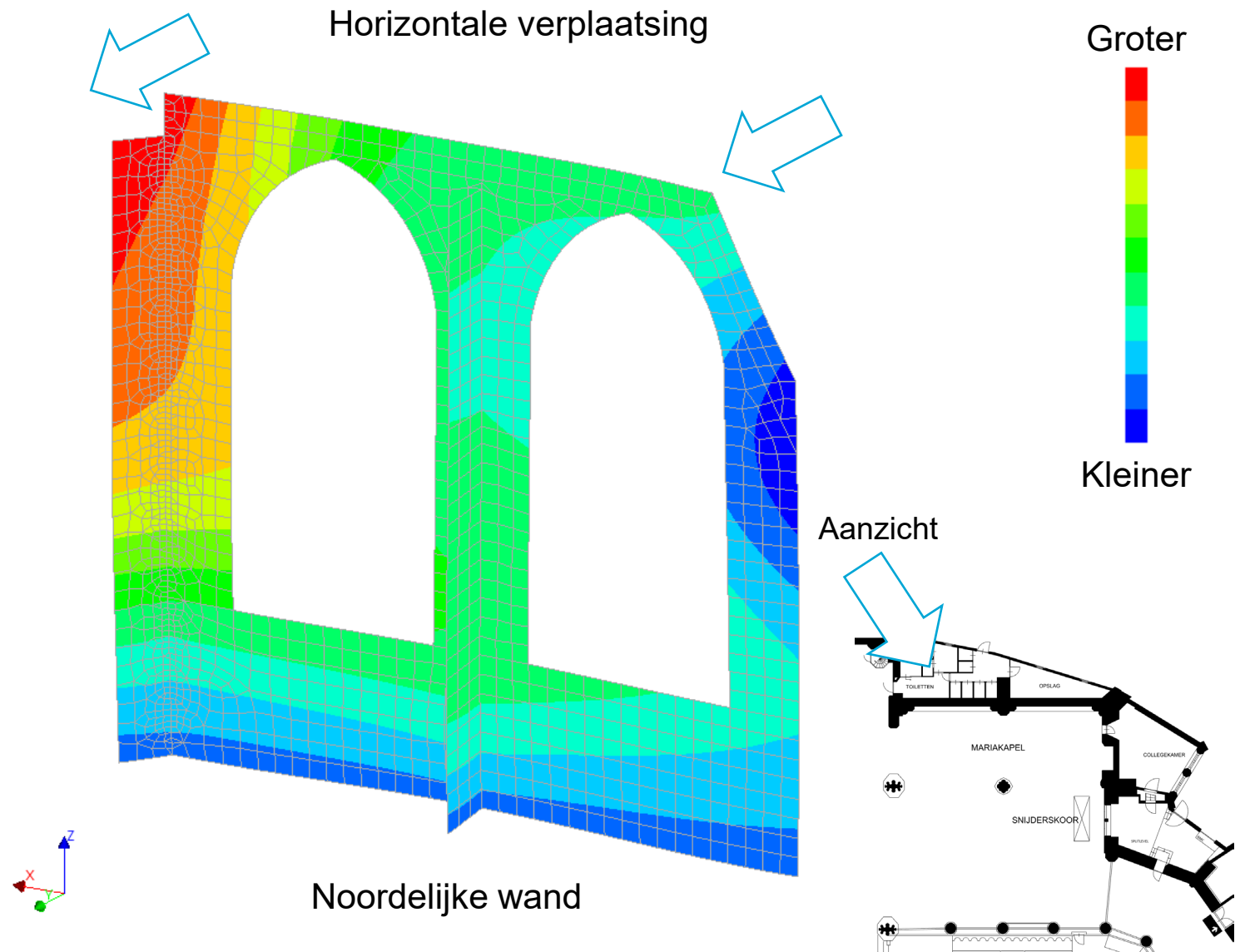
Bij toenemende schade aan de kap neemt de stijfheid af en de snelheid van de vervorming toe.



Trend

Vervormingen loodrecht op het vlak. Richting sterk afhankelijk van stijfheid van kapconstructie.

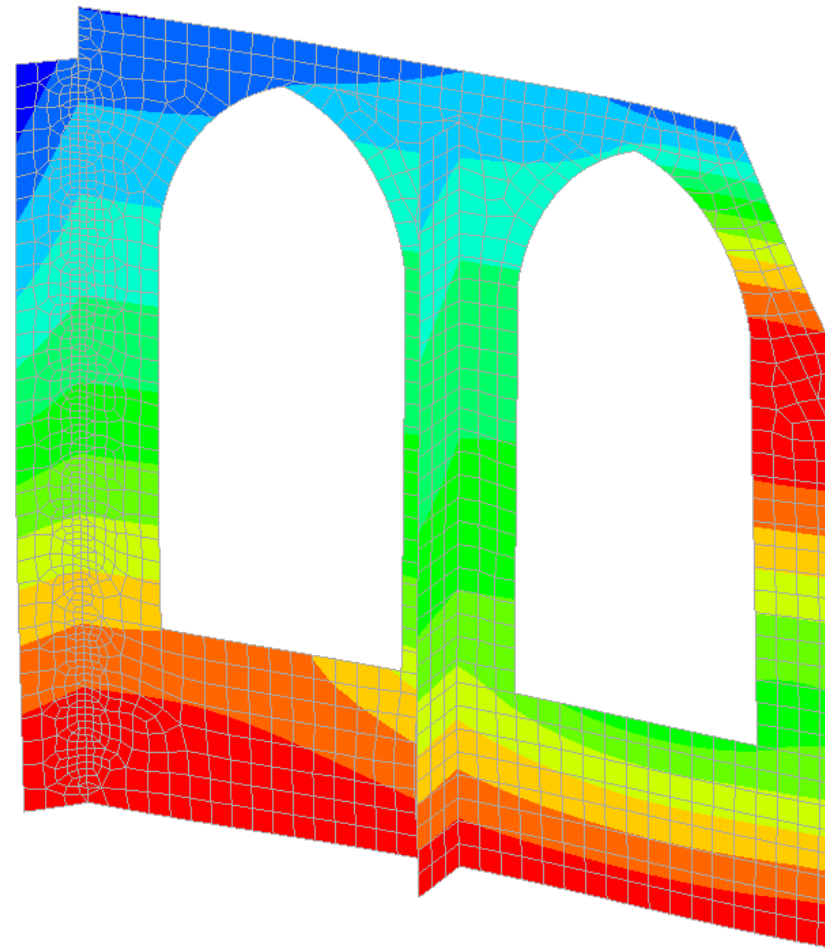
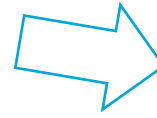
Grote wordt beperkt door weerstand van onderbouw en kap.



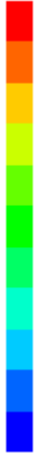
Trend

Vervormingen loodrecht op het vlak. Richting sterk afhankelijk van stijfheid van kapconstructie.

Horizontale verplaatsing

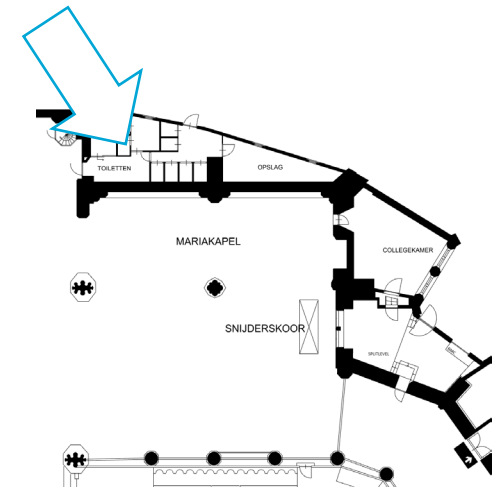


Kleiner



Groter

Aanzicht



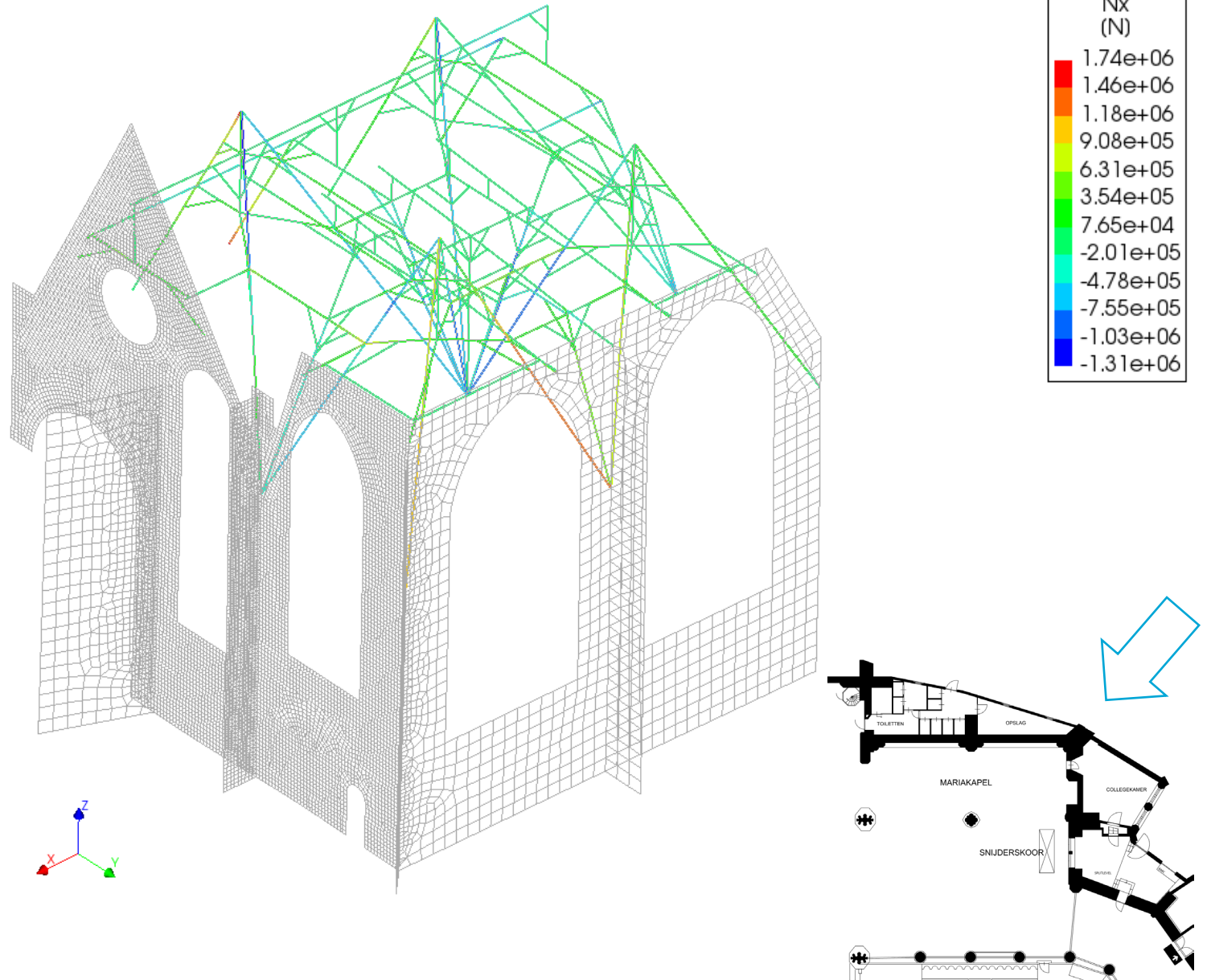
Noordelijke wand

Trend

Significante toename van trekkrachten in kap constructie en onderbouw.

Wisselwerking tussen metselwerk en kap:

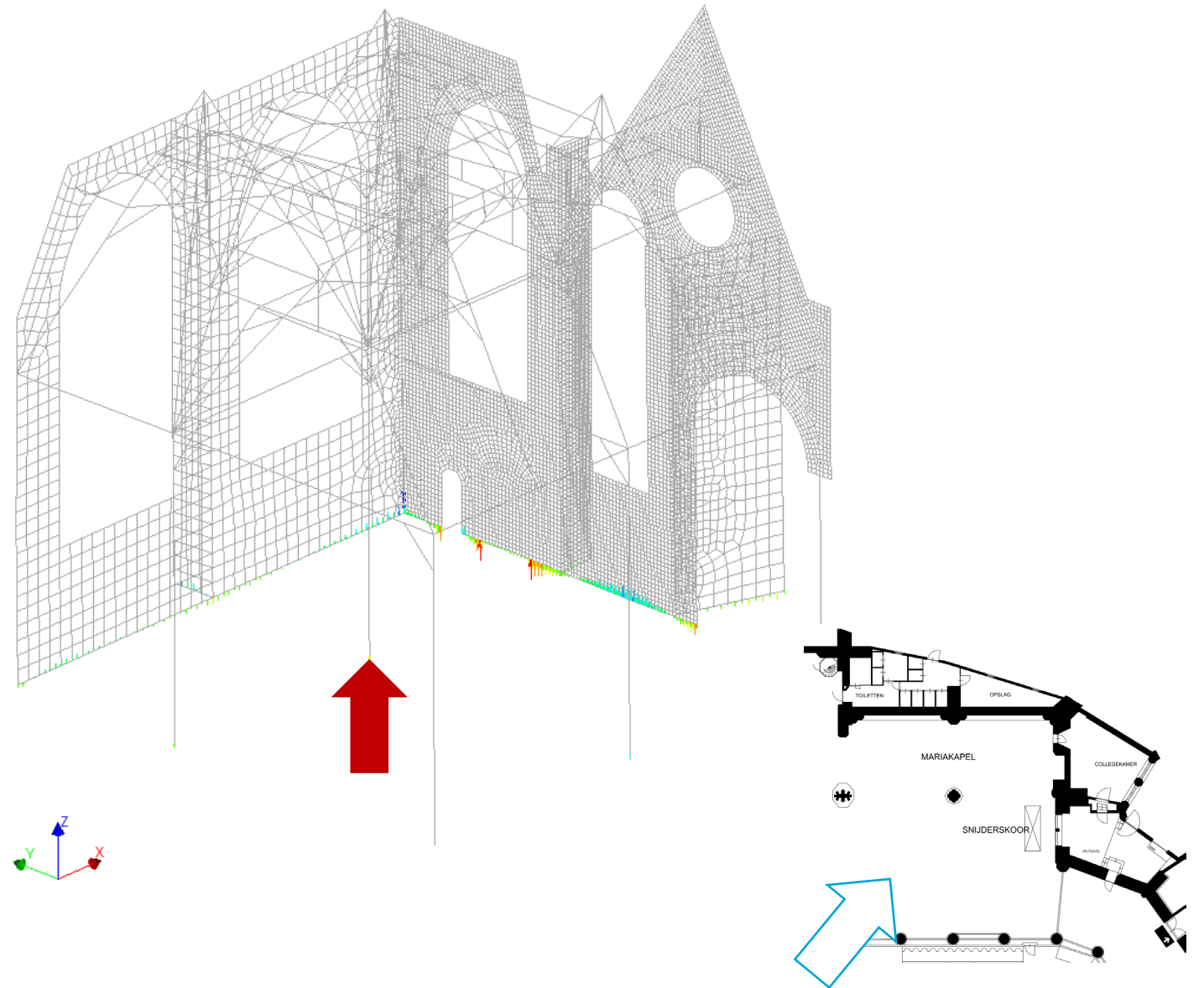
- (1) Zetting veroorzaakt vervorming van metselwerk
- (2) Vervorming belast kap
- (3) Kap houdt metselwerk bij elkaar en maar kan deze functie steeds minder goed vervullen bij toenemende schade
- (4) Vervorming metselwerk zal daardoor sneller toenemen



Trend

Significante toename van oplegreacties. In bijzonder de midden kolom.

Belangrijke constatering maar gevolgen niet onderzocht.



Gemeten vervormingen



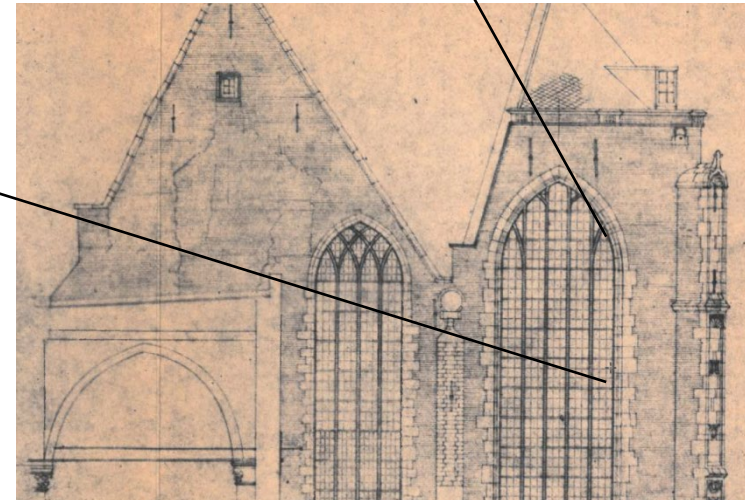
Meting vervorming +/- 4 cm

Periode 1997 tot 2021

1,7 mm/jaar



Lijst scheurt soms los van metselwerk



Onderzochte vervormingen

Model is factor +/- 2 kleiner dan meting
(omgerekend naar mm/jaar)

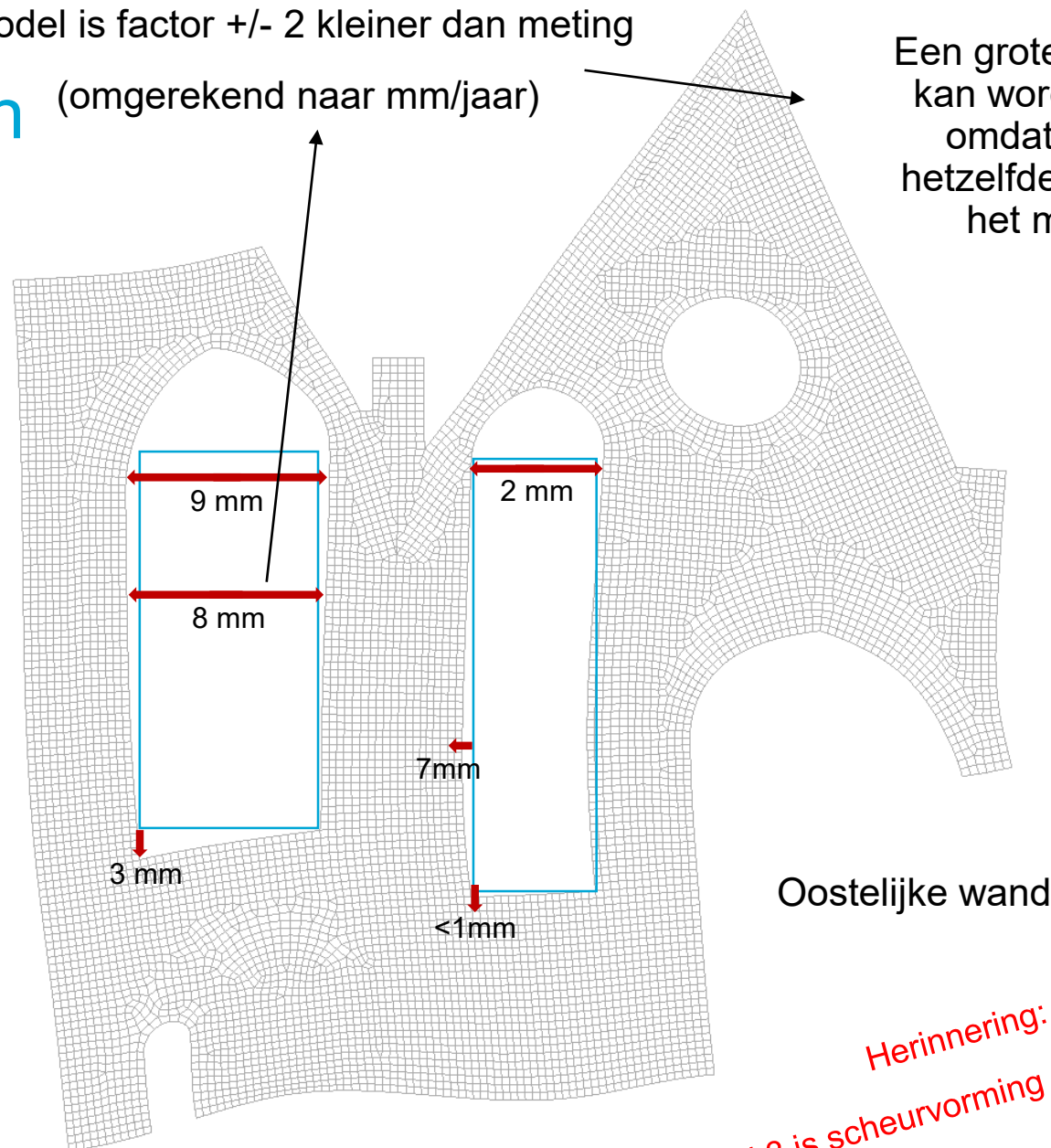
Een grotere vervorming
kan worden verwacht
omdat de lijst niet
hetzelfde vervormd als
het metselwerk

Model 3:

Relatieve vervorming tussen 2010-2021

Dit is **niet** de huidige vervormde stand

Niet op schaal



Oostelijke wand

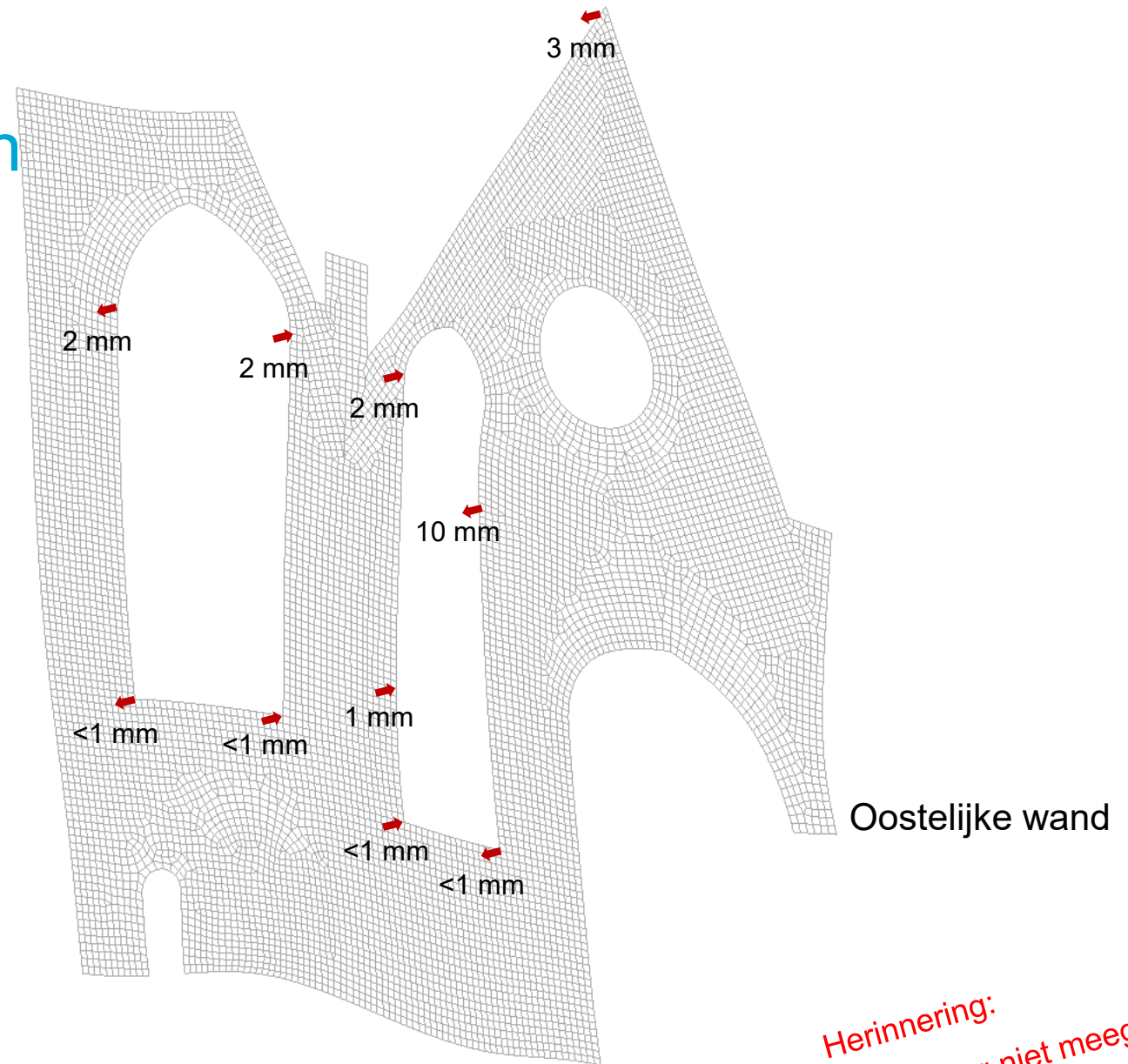
Onderzochte vervormingen

Model 3:

Relatieve vervorming tussen 2010-2021

Dit is **niet** de huidige vervormde stand

Niet op schaal



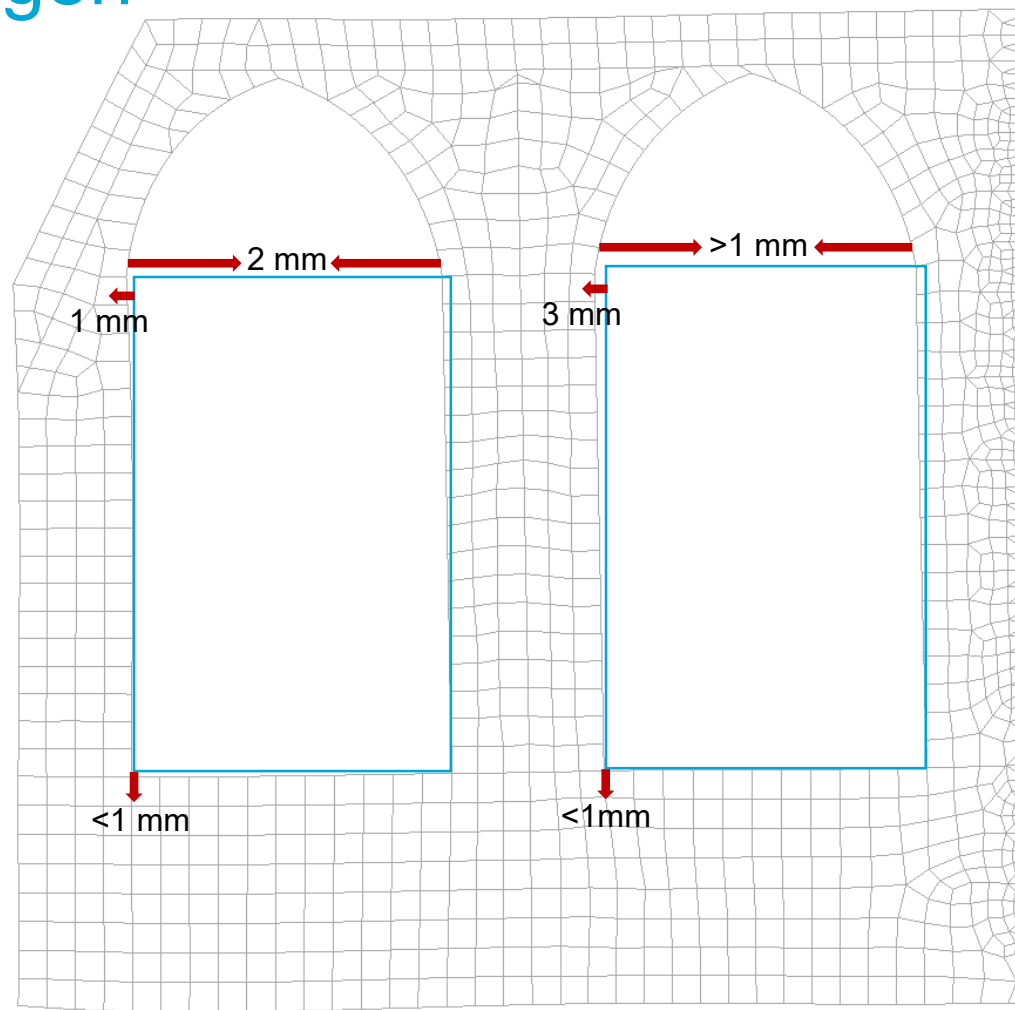
Onderzochte vervormingen

Model 3:

Relatieve vervorming tussen 2010-2021

Dit is **niet** de huidige vervormde stand

Niet op schaal



Noordelijke wand

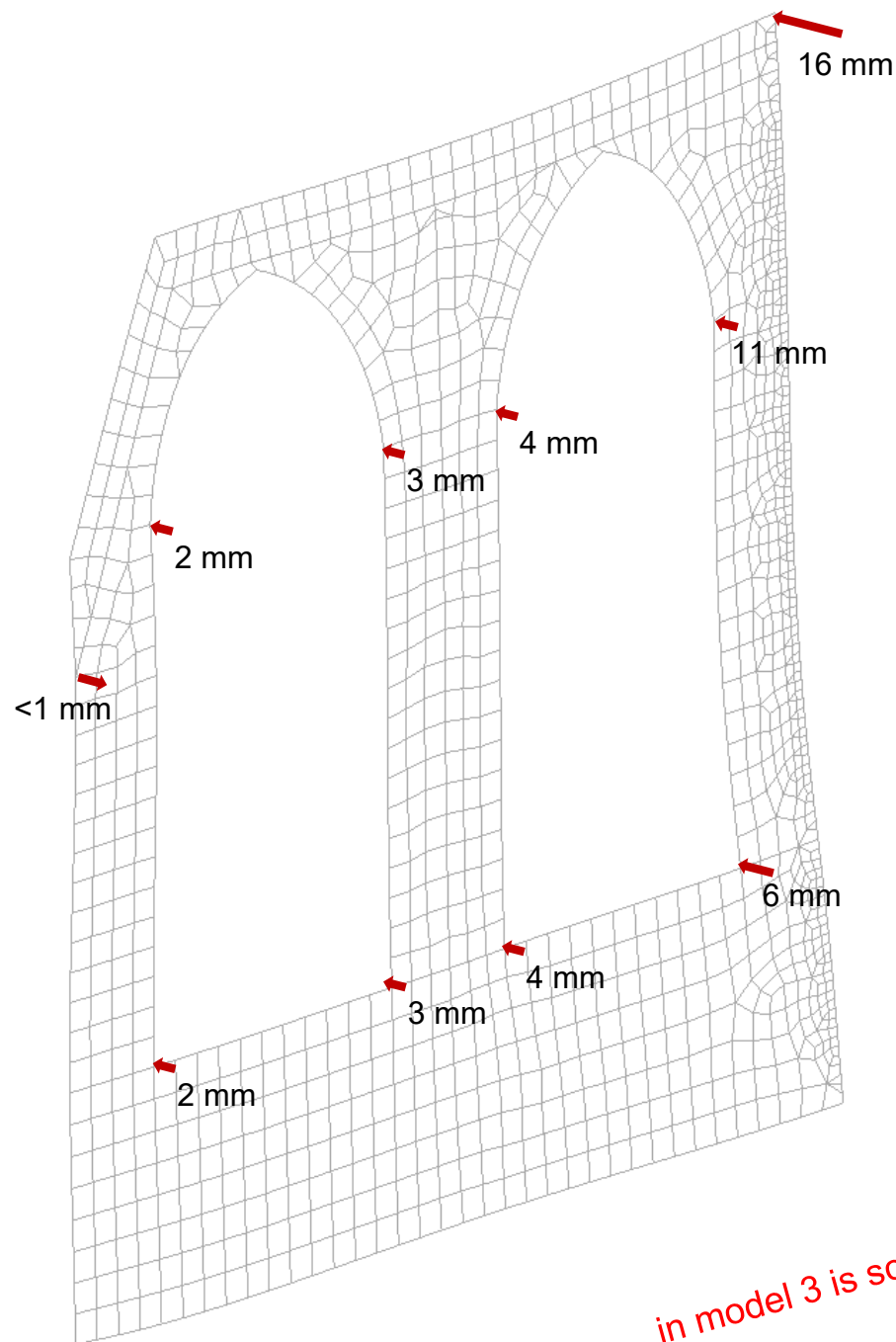
Onderzochte vervormingen

Model 3:

Relatieve vervorming tussen 2010-2021

Dit is **niet** de huidige vervormde stand

Niet op schaal



Noordelijke wand

Herinnering:
in model 3 is scheurvorming niet meegenomen

Onderzoeksvraag 3:

3.a Wat is de trend van vervormingen in de tijd?

- Metselwerk

- Kap constructie

3.b Hoe verhouden computer modellen zich met de realiteit?

Conclusies:

Een combinatie van plaatsingen is het gevolg van de zetting:

(1) Horizontaal en verticaal, (2) in het vlak en uit het vlak

Bij toenemende zetting zal de kap nog meer belast worden en kan verwacht worden dat meer schade op treed

Model 3 vertoont kleinere vervorming dan gemeten met een factor kleiner dan 2 (echte vervormingen zijn meer dan 2 keer zo groot)

Samenvatting onderzoek krachtswerking Mariakapel Oude Kerk Amsterdam

Dit is een samenvatting van het onderzoek gedaan door de TU Delft naar de krachtswerking van de Mariakapel van de Oude Kerk in Amsterdam. Deze is gedaan naar aanleiding van schade o.a. in de vorm van vervormingen en scheuren in de oosterlijke wand met als gevolg hiervan het verwijderen van het Crabeth raam en het Burgemeestersraam. Het doel van het onderzoek was om te achterhalen wat de reden van de schade is en hoe deze zich in de loop van de tijd zal ontwikkelen.

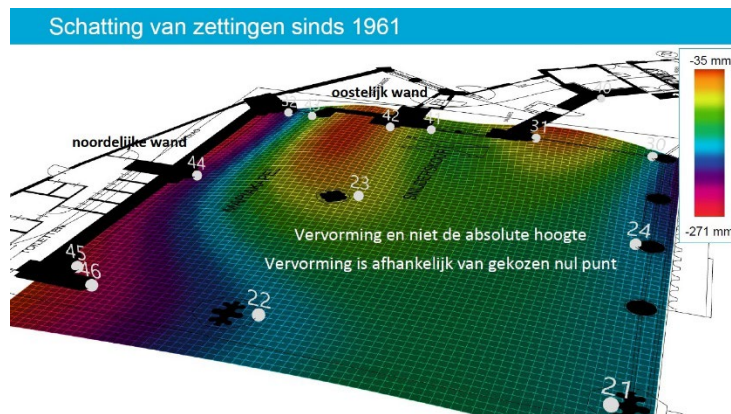
De volgende initiele onderzoeksvragen lagen ter grondslag van het onderzoek:

1. Wat is de conditie en context van de draagconstructie en de daarin geconstateerde schade?
- 2.a Wat is het constructieve gedrag tot nu van de mogelijke oorzaken van schade ten aanzien van evenwicht, krachtdoorstroming, spanningen en vervormingen?
- 2.b Voor welke van deze mogelijke oorzaken is het waarschijnlijk tot de huidige schade te hebben geleid?
- 3.a Hoe zal de constructie vanaf nu vervormen in de tijd?
- 3.b Wat is het tijdspad waarin verwachte voortschrijdende vervormingen zullen lijden tot bezwijken?

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden zijn er verschillende computermodellen en berekeningen gedaan met het EEM programma Diana. Zettingsmetingen van afgelopen jaren zijn gebruikt voor de computersimulaties van de interactie fundering / draagconstructie van de kapel.

Voor het verkrijgen van het juiste inzicht in het complexe drie dimensionale krachtenspel is de kapconstructie ook meegenomen in de computersimulaties. De kapconstructie beïnvloed samen met de gevels en de fundering het vervormingsgedrag van de Mariakapel. De computer resultaten zijn vergeleken met observatie's ter plekke van de schade in de Mariakapel, zowel in de gevels als in de kapconstructie. Deze bevestigen het beeld en de trends van de computersimulaties.

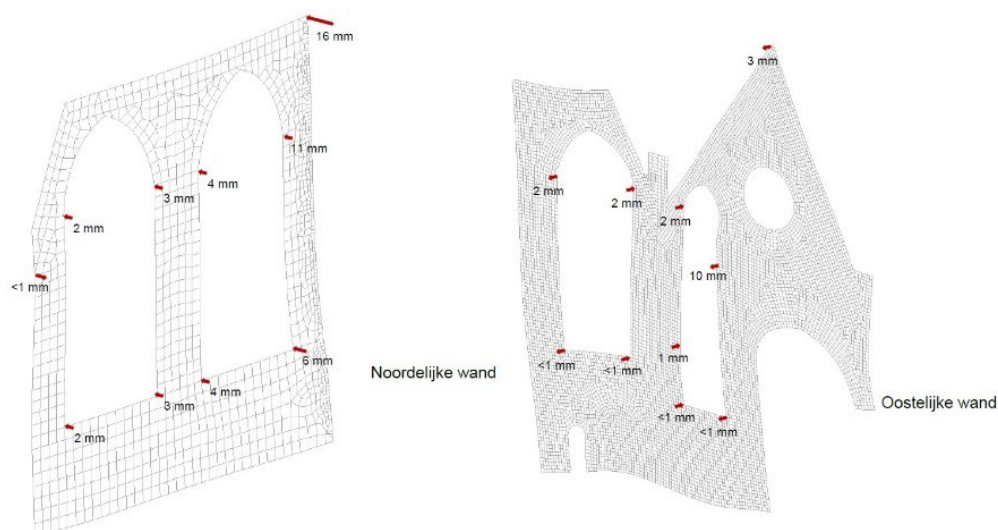
De voornaamste oorzaak van schade zijn de zettingsverschillen tussen de oostelijke en noordelijke en wand en de rest van de kapel (fig. 1). Dit verschil heeft als gevolg een herverdeling van krachten in de oostelijke en noordelijke wand en de daar bovenliggend kapconstructie, deze heeft op zijn beurt een effect op de schade.



figuur 1

Het zettingspatroon van de oostelijke wand vertoont een patroon van afschuiving, de hoek met de noordelijke wand zakt weg ten opzichte van het gedeelte richting het koor. Het zettingspatroon van de oostelijke wand is ook onderling afhankelijk van die van de noordelijke wand.

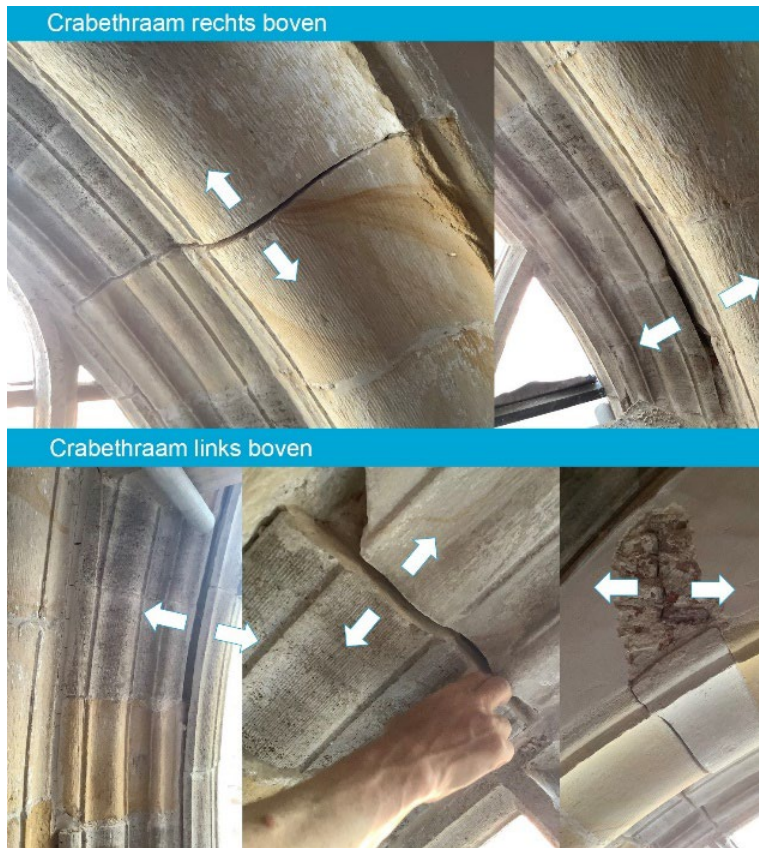
Doordat de noordelijke wand zakt maar vast zit aan de oostelijke wand gaat de zakking gepaard met een rotatie onderaan de wand, de noordelijke wand valt als het ware voorover richting de Oudekerksplein. De hoek met de oostelijke wand volgt deze vervorming met als gevolg het Crabeth raam scheluw getrokken wordt (fig. 2). Het gedeelte met het Crabeth raam wordt dus in twee richtingen in het vlak scheluw getrokken. Verder treedt er ook een torie op, een ongelijke verplaatsingen uit het vlak van de oostelijke wand (fig. 2).



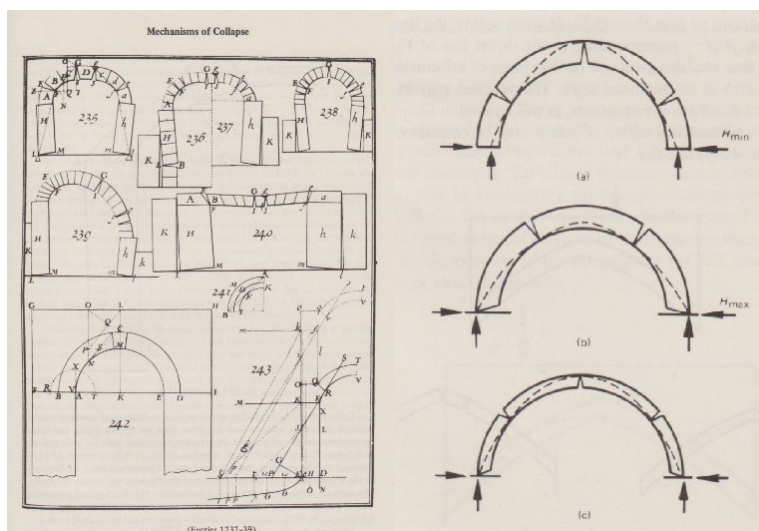
figuur 2

De vervorming van de oostelijk wand heeft als gevolg dat in de boog van het Crabeth raam dermate veel gapingen optreden dat de druklijn (de lijn waarin elk punt in evenwicht is met alle krachten die op dat punt werken) niet meer door het centrum van de doorsnede van de boog loopt (fig 3).

De boog met de gapingen vertoont overeenkomsten met die van bezwaken bogen, waarbij de druklijn langs de randen van de gapingen loopt en een mechanisme wordt (fig. 4). Hierbij betreft het vrijstaande bogen, in het geval van de boog van het Crabeth raam is deze ingebed in het metselwerk van de oostelijke wand welke bezwijken van de boog verhindert.



figuur 3

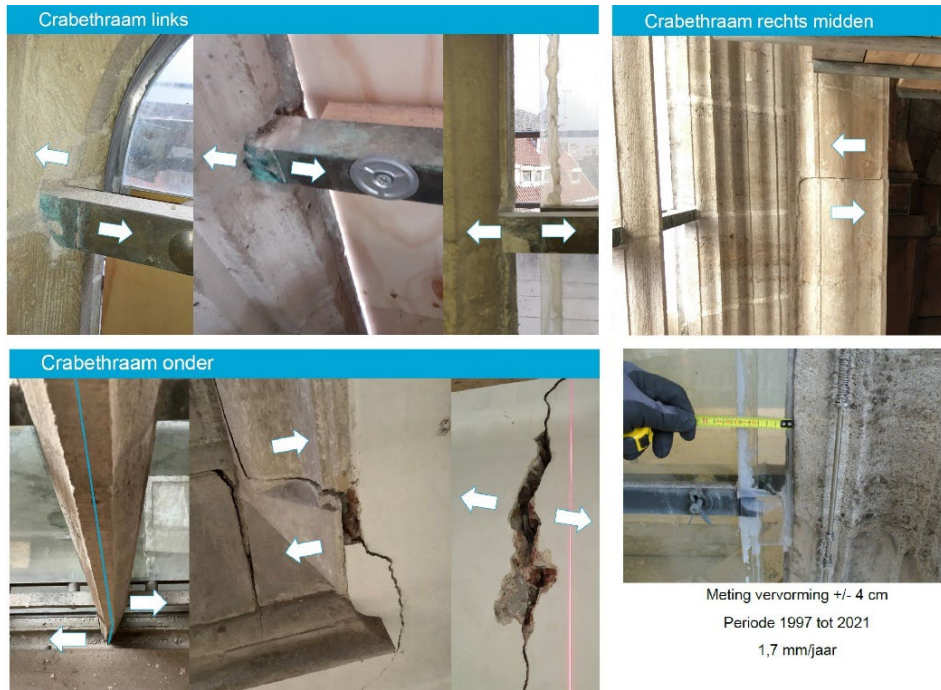


figuur 4

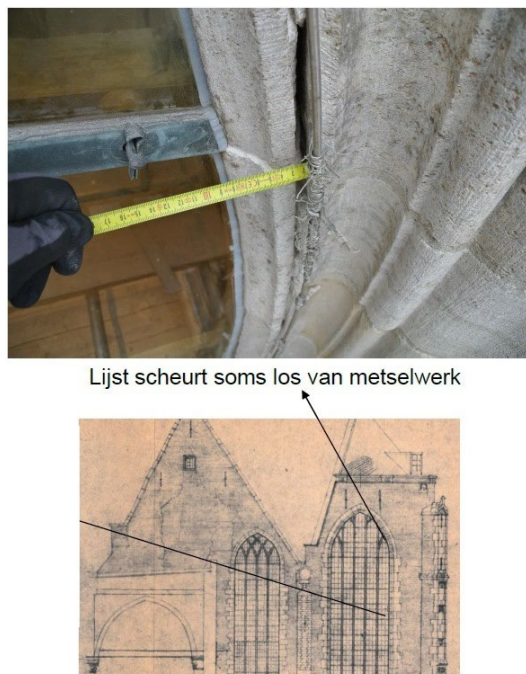
De oostelijke wand vervormd ook uit zijn vlak waardoor de boog van het Crabeth raam ook een torsie ondergaat welke leidt tot de daarbij behorende scheuren (fig. 5).

Het scheluw trekken in het vlak van het Crabeth raam resulteert ook in vervormingen van de tracering, o.a. de brugstaven die uit de boog getrokken worden (fig. 5). De cohesie tussen de tracering en de boog en het omringende metselwerk is onder druk komen staan (fig. 6).

Als een mogelijk gevolg van het doorgaande proces van vervormingen in de oostelijke wand is de standzekerheid / integriteit van het Crabeth raam over langere tijd niet te garanderen.



figuur 5



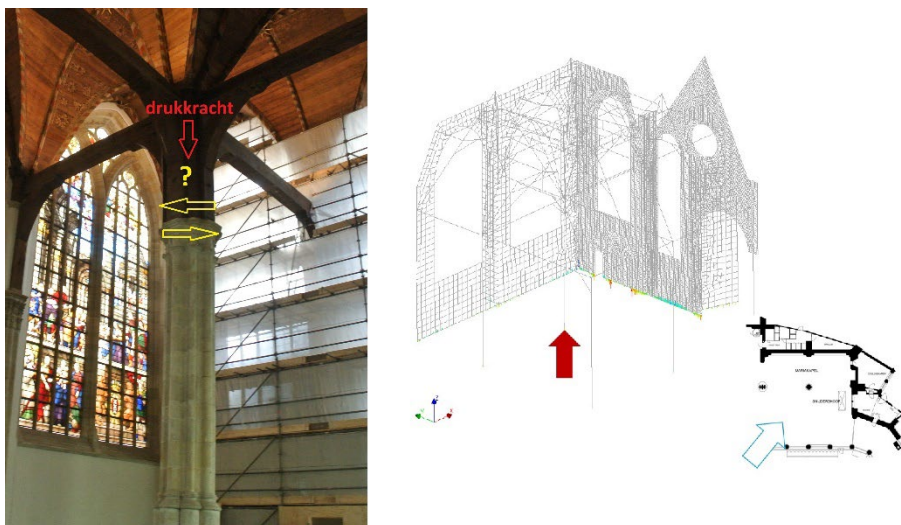
figuur 6

Doordat de noordelijke wand voorover valt, is deze gaan hangen aan de kapconstructie. Deze heeft gezorgd voor schade in de kapconstructie, met name in de verbindingen tussen de verschillende houten delen. Op verschillende plaatsen in de kap is waar te nemen dat

sommige verbindingen zijn bezweken. Dit is een langzaam maar onomkeerbaar proces van schade ontwikkeling.

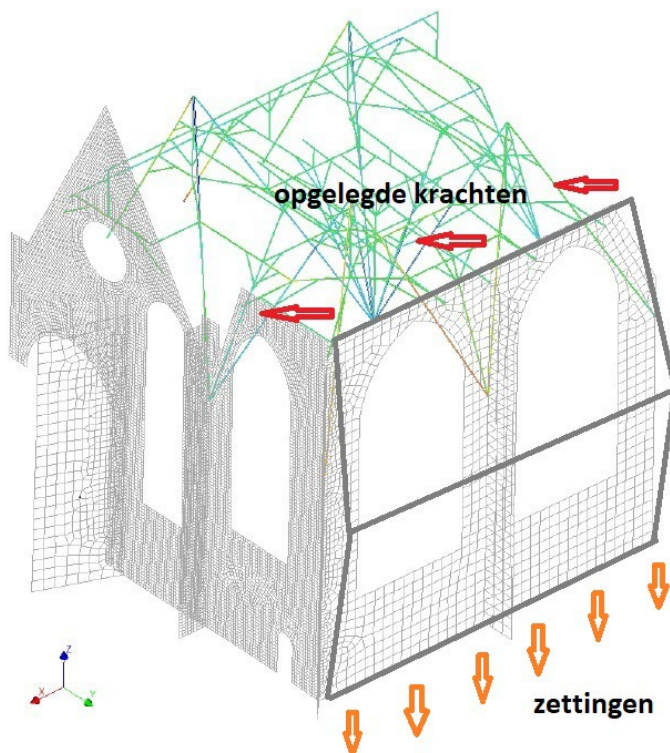
Een ander gevolg van het gaan hangen van de noordelijke wand aan de kapconstructie is dat de neerwaarts gerichte krachten gecompenseerd worden door een verhoogd drukkracht in de vrijstaande kolom in de hoek van de kapel (fig. 7). Deze kolom heeft een scheefstand, en zal in combinatie met de grote drukkracht een tweede orde effect vertonen, er ontstaat een drijvend mechanisme die het koppel, als gevolg van de scheefstand op de kolom werkt, zal doen toenemen over tijd. Dit betekent dat de scheefstand verder zal toenemen, welke op zijn beurt het wegdrijvende koppel weer zal vergroten.

De kolom bestaat uit gestapeld blokken steen met een houtenklos erop die verbonden is met de horizontale balken die de koningsspanen bij elkaar houden. De verbinding tussen de stenen kolom en de houtenklos is niet moment- en schuifvast, waardoor het niet waarschijnlijk is dat er voldoende schuifkracht opgewekt kan worden zodat een kracht in de horizontale balken samen met een horizontale reactie kracht in de vloer een voldoende tegengestelde koppel kan leveren om het tweede orde effect geheel teniet te doen. Het is trouwens onwenselijk om de omliggende constructie van de kerk een horizontale kracht te laten leveren via de horizontale balken, dat zal over tijd leiden tot vervormingen en mogelijk tot schade. De stenen kolom kan als het ware tussen de houtenklos en de vloer / fundering gedrukt kunnen worden bij een in de tijd toenemend tweede orde effect.



figuur 7

Het eventueel versterken van de kapconstructie kan een ongewenst negatief effect hebben op de spanningen van de noordelijke wand. Omdat de zetting en de rotatie van de noordelijke gevel zal doorgaan legt een versterkte kapconstructie krachten op aan de bovenkant van de noordelijke gevel. Hierdoor kan de gevel gaan vervormen uit zijn vlak welke kan leiden tot scheurvorming en mogelijk schade aan de twee ramen in de noordelijke gevel (fig. 8).



figuur 8

Zie bijlage voor de resultaten van het onderzoek.