

# ACHTERGRONDDALING IN HET STEDELIJK GEBIED VAN ALMERE

Oktober 2023

*Disentangling Shallow Subsidence Sources by Data Assimilation in a Reclaimed Urbanized Coastal Plain, South Flevoland Polder, the Netherlands*

Het onderzoeksprogramma LOSS werkt aan de kennisbasis van bodemdaling en ontwikkelt kennis over waarom en hoe de bodem daalt, hoe je bodemdaling kan voorspellen en welk beleid relevant is bij het omgaan ermee of voorkomen ervan. Manon Verberne is promovendus in het LOSS programma en focust op het ontrafelen van het totale signaal van bodemdaling. Het onderzoek wordt uitgevoerd bij TNO en de Universiteit Utrecht. Dit is de samenvatting van de bevindingen uit de paper 'Disentangling shallow subsidence sources by data assimilation in a reclaimed urbanized coastal plain, South Flevoland polder, the Netherlands', gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek in het stedelijk gebied van Almere.

Het artikel is te citeren als:

*Verberne, M., Koster, K., Lourens, A., Gunnink, J., Candela, T., & Fokker, P. A. (2023). Disentangling shallow subsidence sources by data assimilation in a reclaimed urbanized coastal plain, South Flevoland polder, the Netherlands. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 128(7), e2022JF007031.*

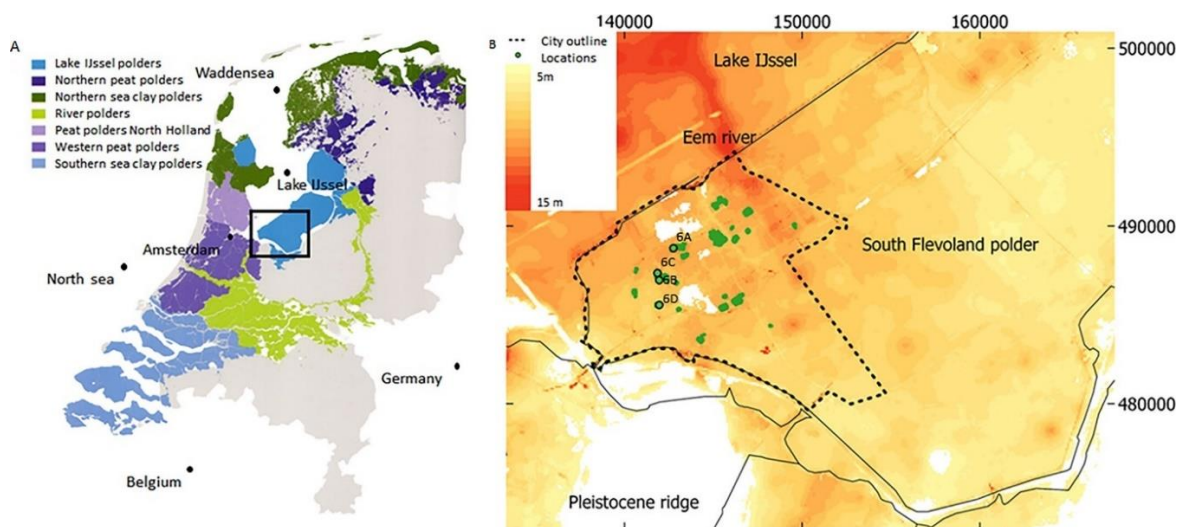
Het is online te vinden via:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2022JF007031>

*Dit onderzoek is onderdeel van het NWA project Living on Soft Soils: Subsidence and Society (grantr.: NWA.1160.18.259).*

## Samenvatting

Almere is de hoofdstad van de provincie Flevoland en maakt onderdeel uit van de Zuid-Flevopolder, drooggelegd in 1968. Nederland kent een lange geschiedenis van inpoldering, zie Figuur 1A voor alle polders in Nederland. Om het land droog te houden wordt het grondwater weggepompt, wat bodemdaling kan veroorzaken. In het stedelijk gebied van Almere zijn de gevolgen van bodemdaling zichtbaar in de vorm van schade aan huizen, riolering en infrastructuur. De mate van bodemdaling verschilt per locatie. Om het probleem van bodemdaling in de regio Almere beter te begrijpen, geven we eerst wat achtergrond over de geologische geschiedenis van het gebied. Daarna leggen we uit hoe we de bodemdaling hebben onderzocht.

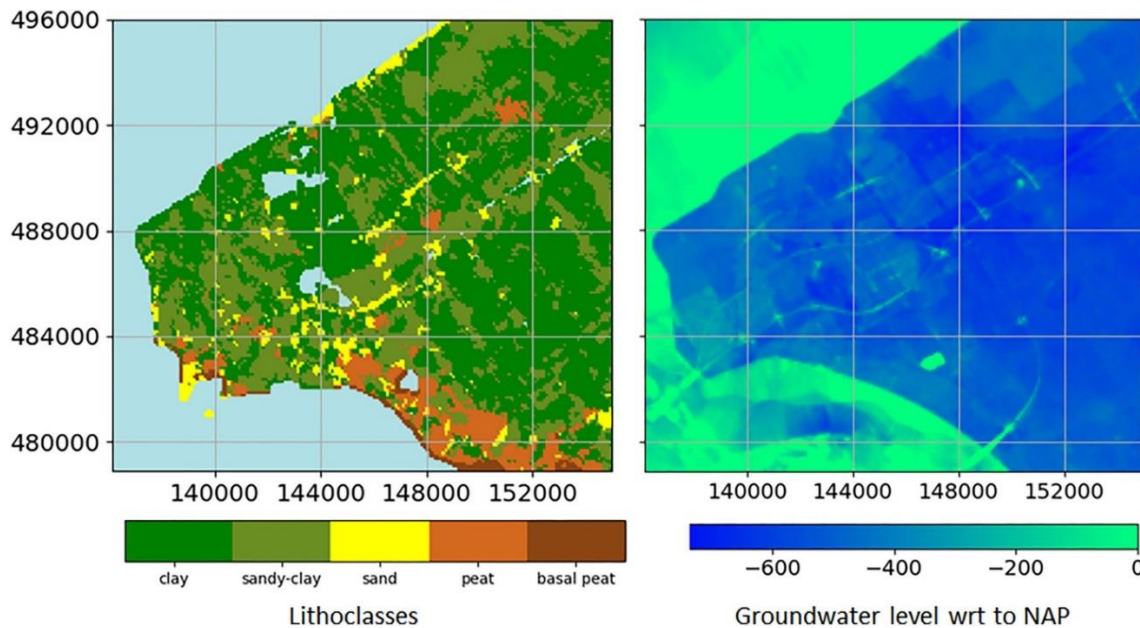


**Figuur 1: A) Kaart van Nederland met alle polders. B) Kaart van Almere met de dikte van het Holocene pakket. De dikte neemt toe naar het noordwesten en is groter over de oude loop van de Eem rivier. Groene puntjes geven de onderzoek locaties aan van de studie.**

## Modelleren

Van de huidige geologie is een 3D model gemaakt. Dit is een model van TNO, de geologische dienst van Nederland (Fig 2A). Het model gaat tot een diepte van 50 meter in de ondergrond en bestaat uit cellen (blokken) van 100x100 meter horizontaal en 0,5 meter verticaal. Voor elk van deze blokken is de kans van voorkomen bepaald van de verschillende lithologische eenheden; veen, klei, zandig klei, zand en antropogene ophoging. Daarnaast is er ook een grondwater model gemaakt door TNO (Fig 2B). Dit model bevat een schatting van de hoogte door de tijd van de grondwaterspiegel, eveneens voor gridcellen van 100x100 meter horizontaal.

Door deze twee modellen te combineren, bepalen we waar veen en klei in de bodem zit en wanneer deze zich boven of onder de grondwaterspiegel bevinden. We weten dat klei krimpt en organisch materiaal in veen oxideert wanneer het zich boven de grondwaterspiegel bevindt. Met al deze gegevens schatten we vervolgens hoe snel deze krimp en oxidatie processen gaan, hoeveel organisch materiaal er in veen zit en hoe sterk een klei laag kan krimpen. Nu kunnen we met een bepaalde onzekerheid de bodemdaling modelleren.



**Figure 2: Links (A): de lithologische opbouw van het onderzoeksgebied, op basis van het GEOTOP model van TNO. Rechts (B): de grondwater diepte ten opzichte van NAP in het onderzoeksgebied in voorjaar 2015. Zichtbaar zijn de stad en sommige wegen.**

De bodemdaling die we modelleren noemen we hier "achtergrond daling". Bodemdaling met een ondiepe oorzaak komt door processen in de Holocene ondergrond. Een veelvoorkomend probleem is het samendrukken van lagen door gewicht (zetting). Dit gewicht kan komen door de aanleg van een weg, gebouw, schuurtje enzovoort. Hier kijken wij expliciet niet naar in dit onderzoek, wij zijn geïnteresseerd in de processen krimp van klei en oxidatie van organisch materiaal, processen die ook plaatsvinden op braakliggende grond.

### Ruimtelijke verdeling

Het is belangrijk om de ruimtelijke verdeling van deze processen te onderzoeken, omdat het een goede indicatie is voor waar we meer en waar minder bodemdaling verwachten. En dus waar het verstandig is te bouwen of mitigerende maatregelen te nemen. Ons onderzoek doen we door ons bodemdalingsmodel te kalibreren aan gemeten data. De gemeten daling halen we uit satellietdata. Deze satellieten vliegen rondjes om de aarde en meten elke ca. 6 dagen de afstand tussen de satelliet en de ondergrond op duizenden verschillende plekken door de stad heen. Bodembeweging kan zo tot op de millimeter nauwkeurig worden gemeten. Dit doen ze sinds het voorjaar van 2015, dus vanaf dan hebben we data. Metingen op daken van gebouwen en wegen zijn niet relevant voor ons onderzoek, daarom filteren wij deze uit de dataset.

We kalibreren ons model aan alle data uit het stedelijk gebied tegelijkertijd. Hiermee kunnen we zien welke lagen waar dikker zijn en hoeveel boven de grondwaterspiegel ligt. Dit geeft dan weer waar meer daling plaatsvindt onder welk proces (oxidatie of krimp).

### Krimp van klei is dominant

Het onderzoek laat zien dat het dominante proces de krimp van klei is. Als een vuistregel; 1 meter grondwaterspiegel verlaging veroorzaakt 1 centimeter bodemdaling in 5 jaar in Almere. Het ruimtelijke patroon van de bodemdaling hangt sterk samen met de grondwaterspiegel en de totale dikte van het Holocene pakket. Dit betekent dat de daling sneller gaat over bijvoorbeeld de oude loop van de Eem (zie Figuur 1B voor dikte Holocene pakket), maar ook dat droogte bodemdaling versnelt.

### **Combineren van kennis voor toekomstbestendig bouwen**

Deze studie demonstreert het belang van het combineren van kennis over de ondergrond met metingen om bodemdaling te begrijpen. Het is, voor toekomstbestending bouwen, ontzettend belangrijk om genoeg metingen van de samenstelling van de ondergrond te doen, met bijvoorbeeld sonderingen, maar ook om het grondwaterpeil nauwlettend in de gaten te houden. Beide spelen een belangrijke rol in het bodemdalingsprobleem. Toch wordt er niet altijd en overal goed gemeten en de afwegingen meegenomen in peil besluiten. Daarnaast laat dit onderzoek zien dat klei krimp een belangrijke factor is voor bodemdaling in Nederland. Tot nu toe wordt er in het publieke debat en bij subsidies aan gemeente omtrent bodemdaling hoofdzakelijk aandacht aan veen besteed. Dit is belangrijk, maar klei speelt ook een grote rol, en deze wordt versterkt met vaker voorkomende en hevigere droogtes in Nederland.