

Krimpzwel klei en gevolgen voor de fundering

Onderzoek
Praktijk

Otto Levelt (Deltares)

Cock Blom

Kees van der Werf

28 november 2019

Programma

- Korte introductie Krimp/zwel van klei en schades (5 min)
- Onderzoek van Deltares naar Krimp en zwel (5 min)
- Praktijkonderzoek Rekken (25 min)
- Landelijke kaart krimp-zwelgevoeligheid Nederland (15 min)

Introductie krimp/zwel van klei en schades



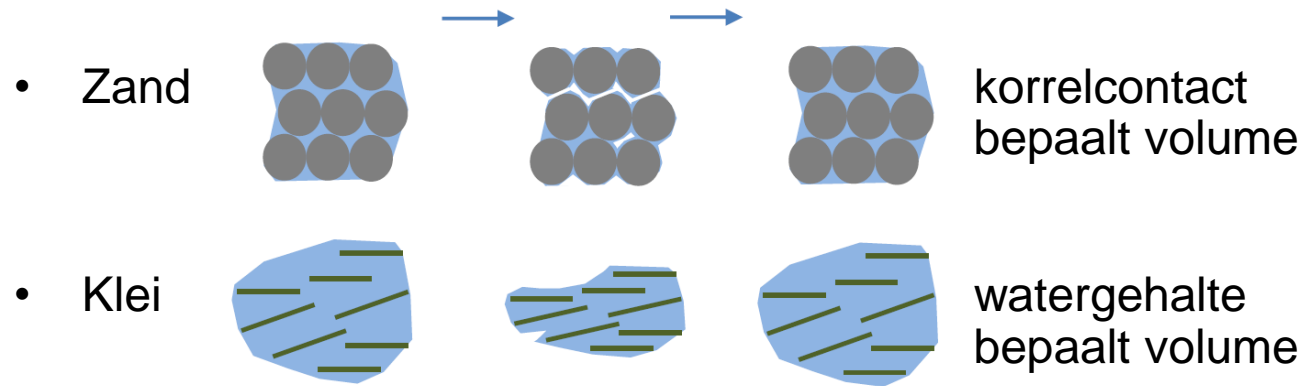
Schade door krimp-zwel gedrag

- Schade door verschilvorming over korte afstand
 - Gebouwen
 - Weginfra
 - Leidingen en huisaansluitingen
-
- **Differentiële krimp**
 - relevant voor nattere streken waar verdroging van vochtige kleilagen schade veroorzaakt (VK, NL).
- Differentiële zwel (expansion/heave/lifting)
 - vooral in droge (aride) gebieden waar vernatting van droge klei schade veroorzaakt (VS, Israël, ZA).
- Typerend zijn scheuren die open en dicht gaan over seizoenen > cyclisch



Oorzaken van krimp en zwel van klei

- (ongelijkmatige) deformatie door droogte en vernatting



Bij zand wordt het volume dus bepaald door de pakking van de korrels, terwijl dit bij klei wordt bepaald door het watergehalte.

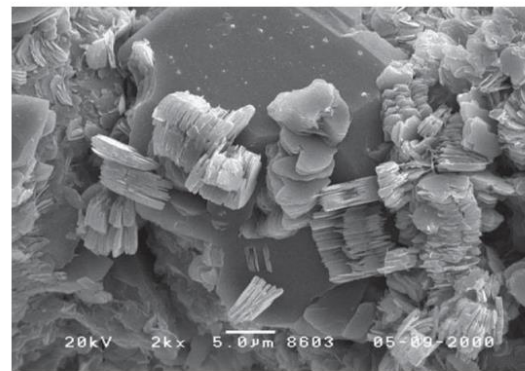
Oorzaken van krimp-zwel klei

Zwelgevoeligheid afhankelijk van:

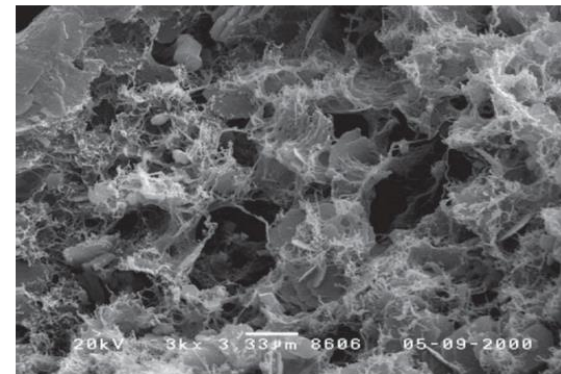
- Kleitype,
- Kleigehalte,
- Plaatjesgrootte,
- Specifiek oppervlak,
- Metaalionen,
- Lading kationen,
- Kalkgehalte

Bepaalde stoffen (zoals kalk) zorgen ervoor dat de klei minder zal opzwellen

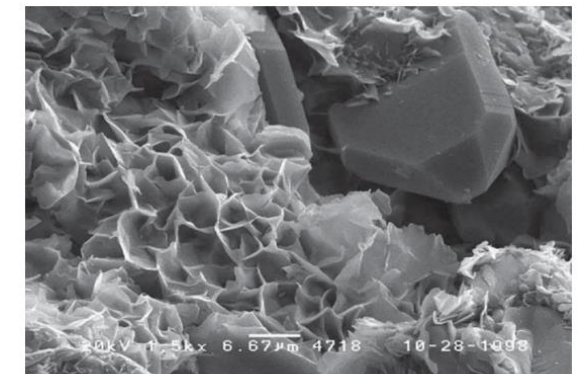
Verschillende soorten kleimineralen



(a)



(b)



(c)

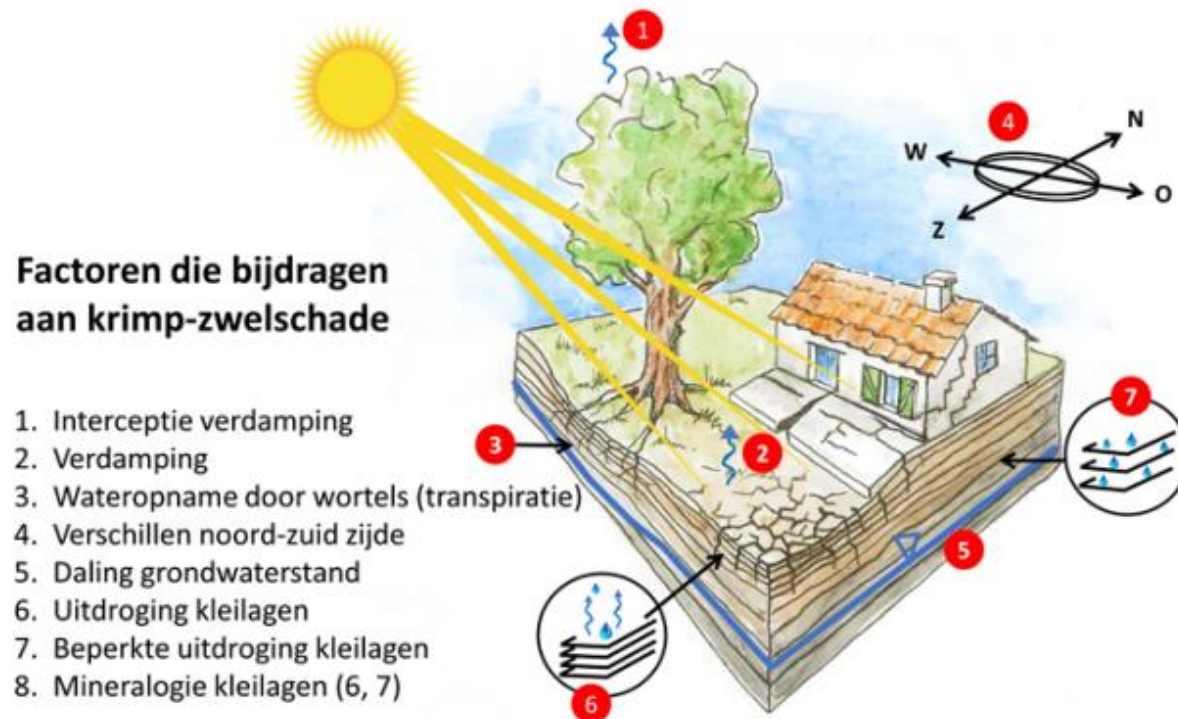
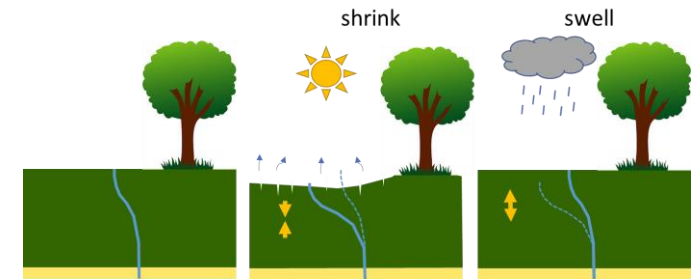
FIGURE 2.3. Scanning electron micrographs: (a) kaolinite; (b) illite; (c) montmorillonite (reproduced by permission of OMNI/Weatherford Laboratories).



Bij bovenstaande zouden ook vermiculiet moeten staan als sterk krimp/zwel gevoelig. Hoe groter het percentage zwelgevoelige minderalen hoe groter de kans dat klei ook expansief is

Krimp-zwel van klei factoren

- Internationaal bekend fenomeen (VK, VS, F)
- Vervorming van kleilagen door droogte en vernatting
- Samenhang met variërende grondwaterstand en bodemvochtprofiel



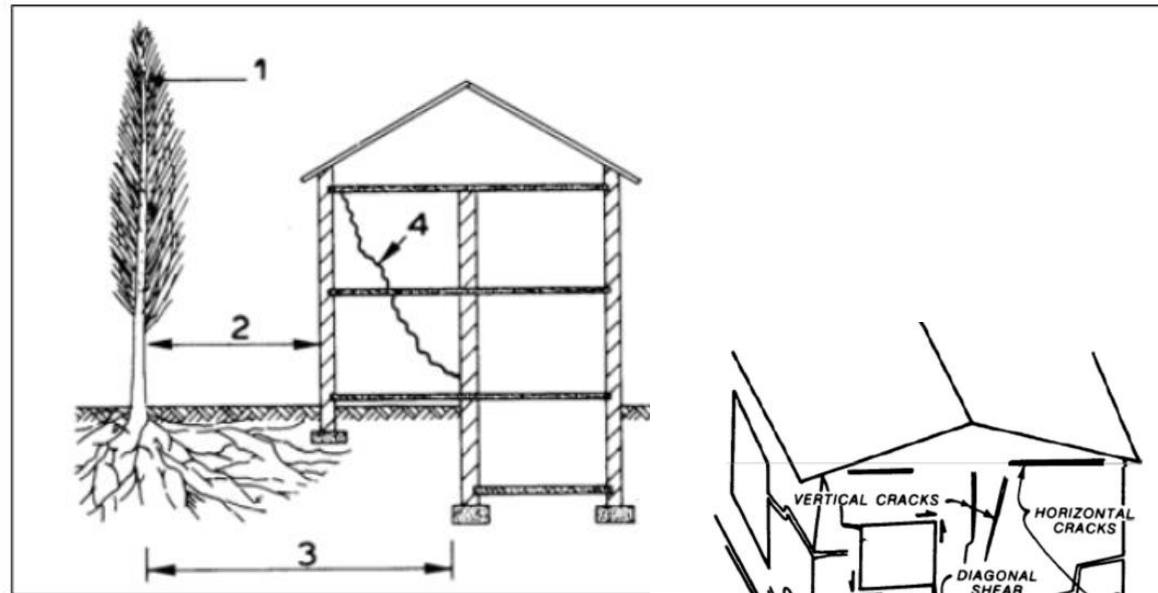
Het zijn dus factoren die te maken hebben met:

- *De vochtbalans*
- *De ondergrond*
- *De ligging*

Schadepatronen door krimp-zwel

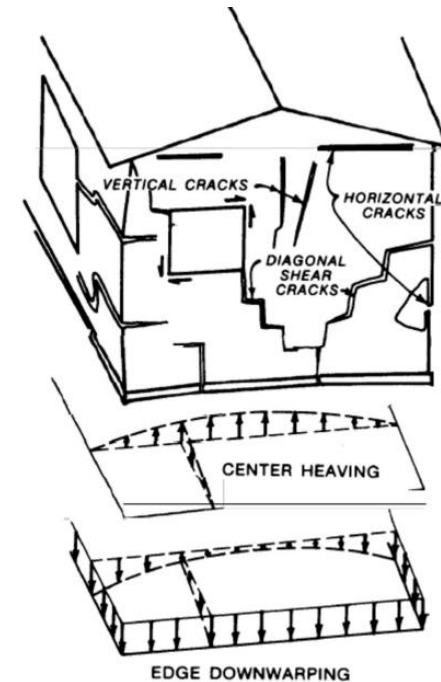
Vervorming en schade afhankelijk van:

- Verdeling bodemvocht
- Verandering bodemvocht
- Bodemopbouw
- Bodemheterogeniteit
- Funderingswijze
- Funderingsdiepte
- Constructiewijze
- Horizontaal verband
- Verticaal verband



Factoren die bijdragen of een gebouw al of niet gevoelig is:

- Vochthuishouding onder gebouw (verschilt die ruimtelijk) a.g.v. bijv. bomen/struiken.
- Type fundering (ondiep)
- Diepte funderingen (als ongelijk dan gevoeliger)
- Constructie gebouw



Figuur 5.1 Voorbeelden van scheurvorming bij zakking van de fundering aan de buitenzijde van een gebouw [US Army Corps, 1983]

Onderzoek Deltares naar krimp en zwel



Onderzoek naar krimp-zwel

Onderzoek Deltares naar krimp-zwel i.h.k.v. bodemdaling sinds 2020

- Krimp en zwel in kleilagen rond GLG
- Afhankelijkheid bodemvocht en grondwaterstand (Seizoenseffect en vegetatie)

Onderzoeksvragen:

- Is dit verschijnsel bij condities in NL mogelijk?
- Veroorzaakt krimp-zwel gebouwschade in NL?
- Hoe bepalen we een correct test protocol?



Geotechniek juni 2022

Onderzoek krimp-zwel bij Deltares

- Literatuuronderzoek
 - Nederlandse situatie
 - Buitenland
- Laboratoriumonderzoek
 - Meetlocaties
 - Andere locaties
- Meetsites
 - Uitgebreide
 - Low-cost
- InSar analyses
 - Naar locaties waar we weten dat schades optreden

Laboratoriumonderzoek

Voorbeeld locatie Driel

- 32 wt% Smectiet
- Spec.opp = 41,57 m²/g
- CEC = 10,3 meq/100 gram
- Plasticity Index = 47,77
- Liquid Limit = 71,4
- **Sterk zweelgevoelig**

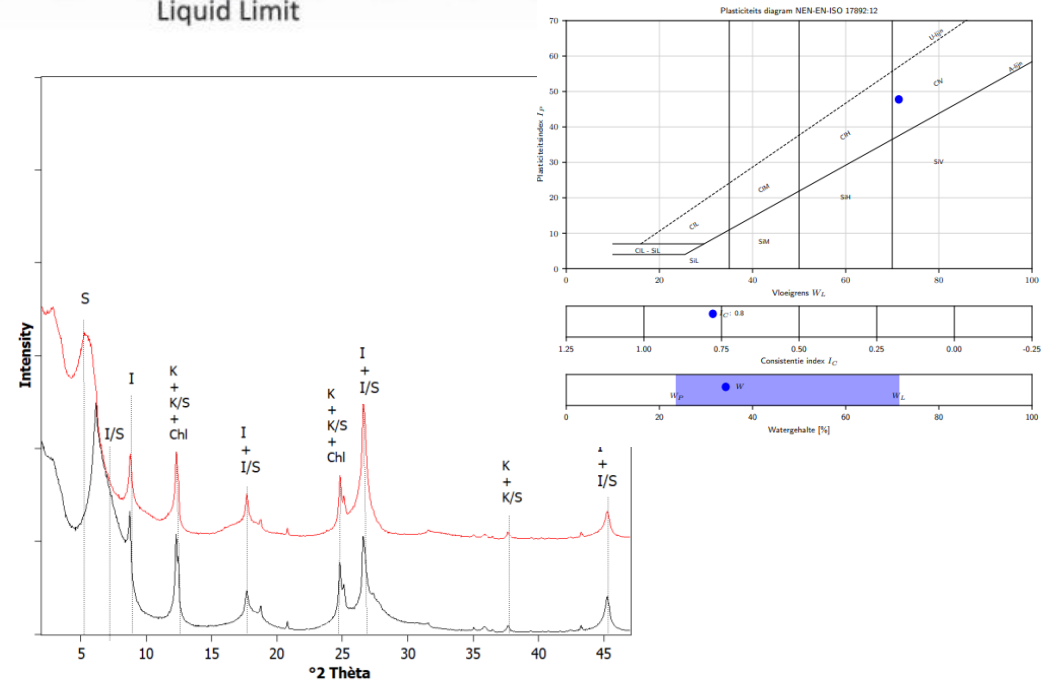
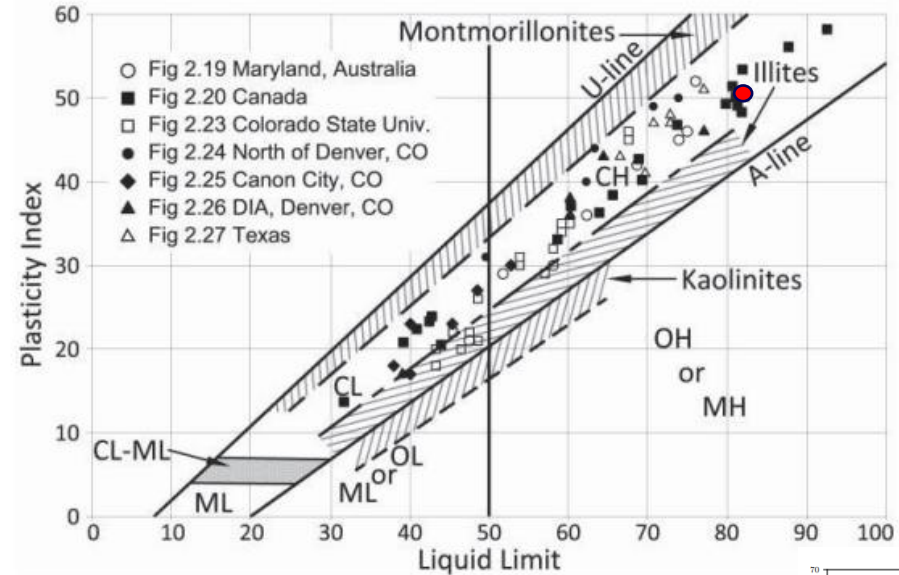
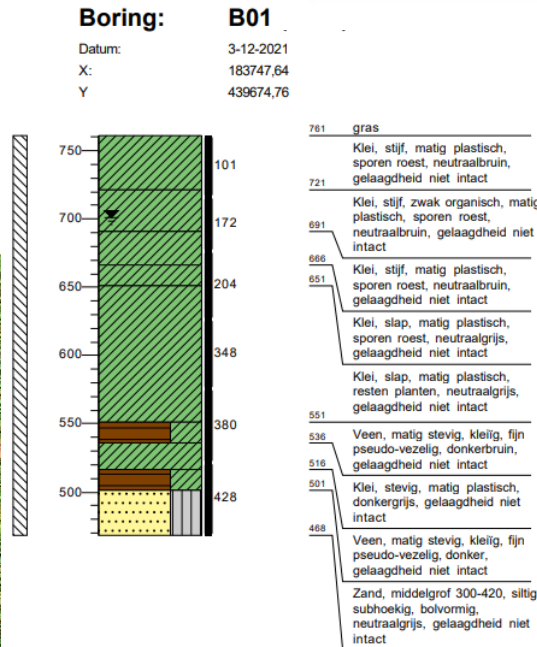


Figure 1: Diffraction patterns of the air dried (black pattern) and ethylene glycolated (red pattern) oriented clay fractions of the sample *112068740 | Driel | HBDI | 0.3-0.5. The most important reflections are labeled: K: Kaolinite, K/S: interstratified Kaolinite/Smectite; I: Illite, I/S: Interstratified Illite/Smectite; S: Smectite; Chl: Chlorite.

Krimp-zwel beproevingsprotocol

Combineer classificatie, mineralogische & geotechnische proeven:

- Monstername met boringen (Ongeroerd, steekbussen)
- Classificatie, specifiek gewicht, lutum en o.s., kalkgehalte
- Watergehalte (w) en vochtspanning (θ)
- Plasticiteitindex (PI) en vloeibaarheidsindex (LI)
- $\text{Klei-activiteit} = \text{PI}/(\text{gew}\% \text{lutum})$
- Kleimineralogie (XRD)
- Specifiek oppervlak en Kation-uitwisseling (CEC)
- **Zweltest (vrije zwel)**
 - **Coeff. Of Linear Extensibility COLE ??**
 - **Samendrukkingsproef (invloed watergehalte en suctie)**
- **Zweldrukbeplating (verhinderde zwel)**
 - **Samendrukkingsproef (invloed watergehalte en suctie)**
- Monitoring on site
 - Grondwater, bodemvocht, hoogte (INSAR?), scheurwijdte

Je kijkt dus los naar een verandering in volume bij zwel als ook naar de druk die uitgeoefend kan worden door zwel



Meetsites

Locatie Utrecht

- Uitstekende hoeken in metselwerk op staalfundering boven holocene leem/klei
- GWS in de klei
- Effect van bomen?



Del

Locatie Rekken

- Metselwerk
- Staalfundering
- Tertiaire klei
- GWS in de klei
- Afbrekende hoek

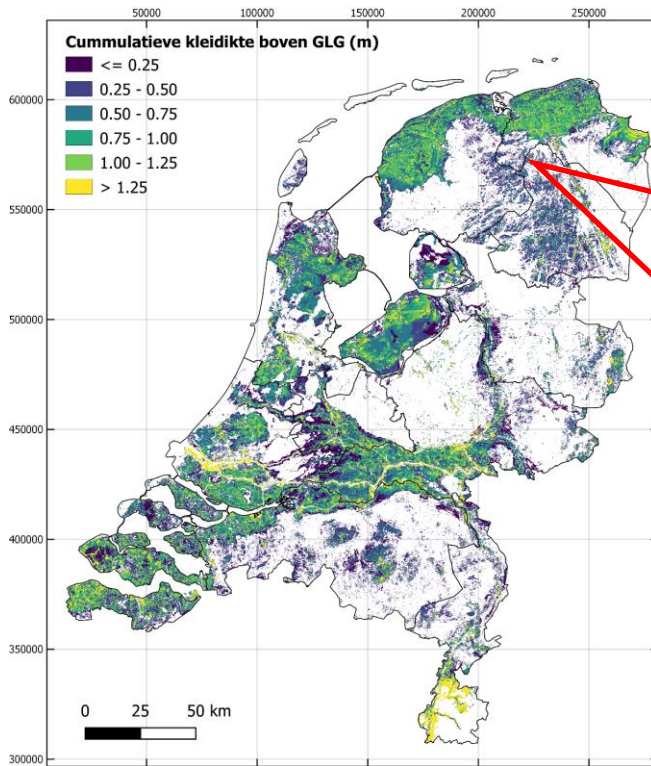


Onderzoek Rossum (i.s.m. RVO/RCE/KCAF/TNO)

- Bemeten pand
 - Beweging scheuren
 - Bewegingen pand
- Bemeten ondergrond
 - Grondwaterbewegingen
 - Vochthuishouding
 - Deformaties
- Bemonsteren ondergrond
 - Kleimineralogie
 - Kleigehalte
 - Krimp/zwel proeven

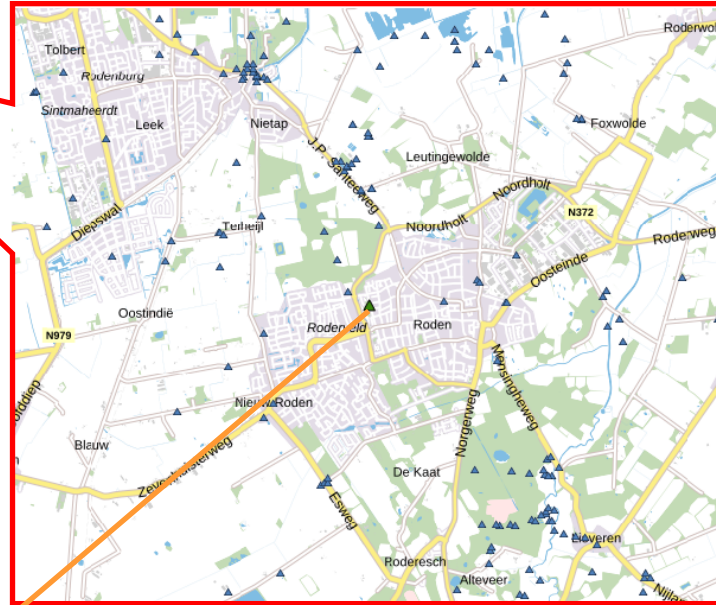


InSar onderzoek

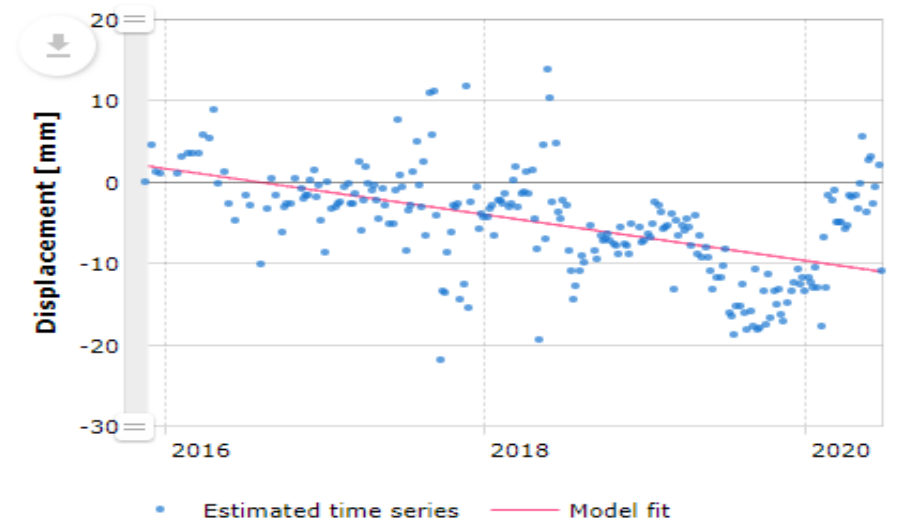
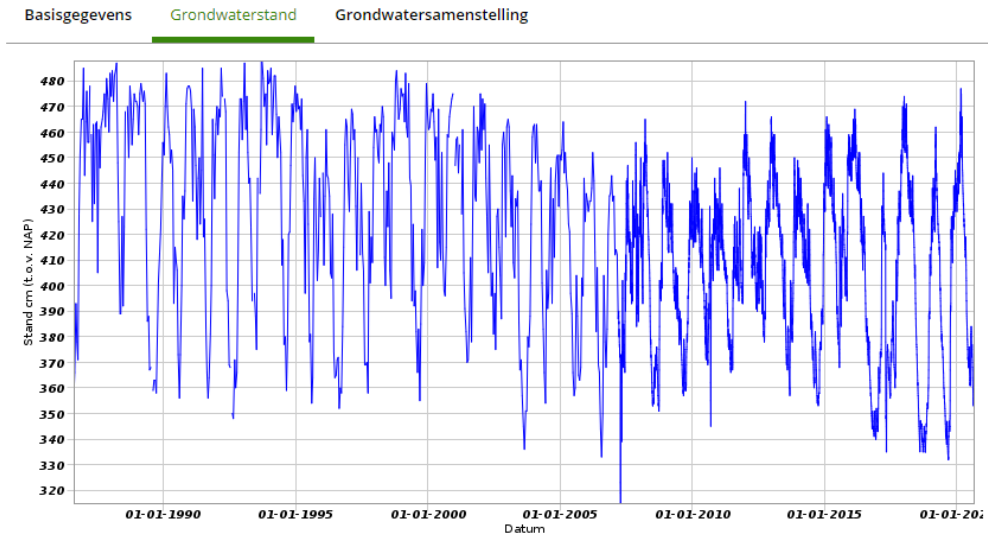


Put met onderzoeksgegevens DINO

Identificatie B12A0132



*InSar levert nog niet de resultaten
(=beelden met bewegingen) die we er van
verachten.
Is work in progress*

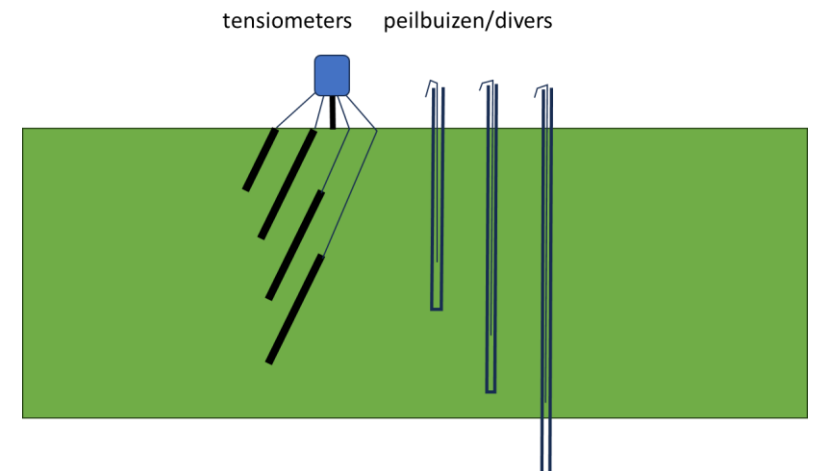


Eenvoudige, low-cost monitoring van krimp-zwel bewegingen en risicofactoren

Twee onderzoeksdoelen

1. Leveren peilbuis-gemeten grondwaterstandsbewegingen in (en onder) klei een goede afspiegeling van het dieptebereik waarin zich zuigspanningsveranderingen voordoen die zorgen voor krimp-zwel bewegingen? (het bereik van pb-gemeten grondwaterstanden verschilt sterk; b.v. Rekken > 3 m – Reahus ~ 0,5 m)

Indien dat het geval is, dan kan eenvoudige monitoring met peilbuizen – eventueel ook door burgers op hun terrein - belangrijke informatie leveren over mogelijke blootstelling van gebouwen aan krimp-zwel vervormingen van klei.

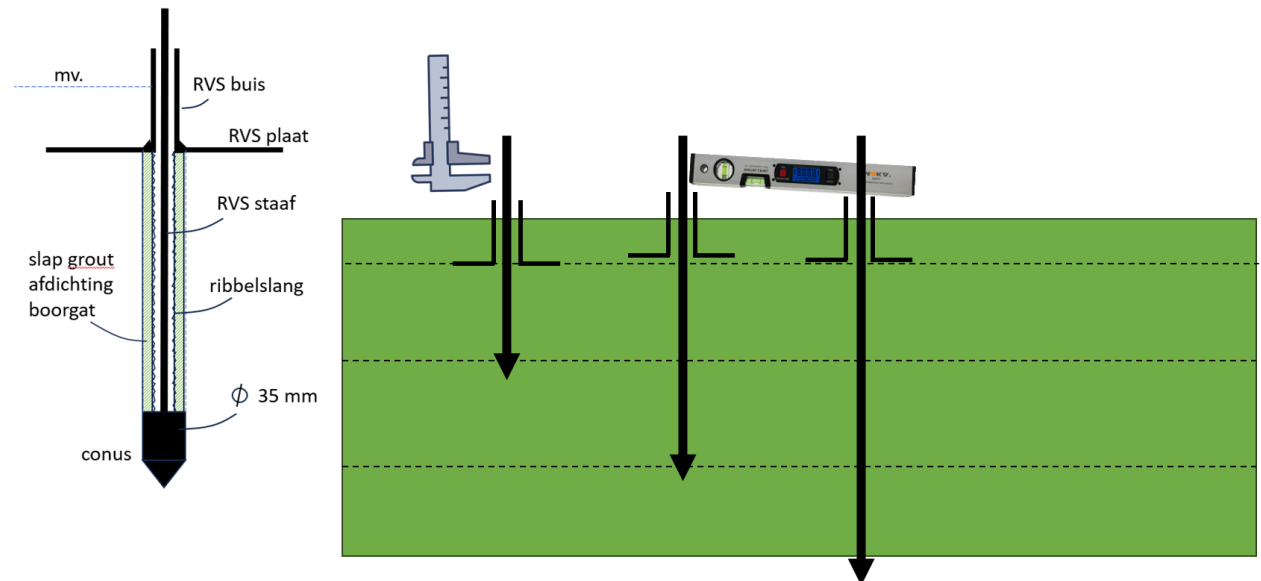


Eenvoudige, low-cost monitoring van krimp-zwel bewegingen en risicofactoren

Twee onderzoeksdoelen

2. Kunnen krimp-zwel vervormingen op een eenvoudige wijze handmatig worden gemeten?

Indien dat kan, dan kan met citizen-science (betrokken burgers), de monitoring van krimp-zwel sterk worden opgeschaald zodat sneller meer duidelijkheid kan worden verschaft over risicofactoren en effectiviteit van maatregelen.



Praktijkvoorbeeld Rekken



Landelijke kaart



KCAF kaart is alle schades
aan panden op
staalfunderingen

Voorbeelden kaarten uit andere landen - Vlaanderen

- Samenstelling ondergrond eerste 5 m
- Plasticiteitsindex
- Aanwezigheid smectiet
- Tenminste 3 monsters per afzetting

Deze kaart is gebaseerd op de samenstelling van de ondergrond in de eerste 5 m

Binnen de typen wordt gekeken naar de plasticiteitsindex (= verschil in watergehalte tussen vloeigrens en een plastische toestand (uitrolbaar)) Atterbergse grenzen. Hoe groter hoe meer risico

Alleen als veel smectiet aanwezig is kan een gebied las zeer hoog risico aangemerkt worden

Bepalingen zijn gedaan op basis van (tenminste) 3 monsters

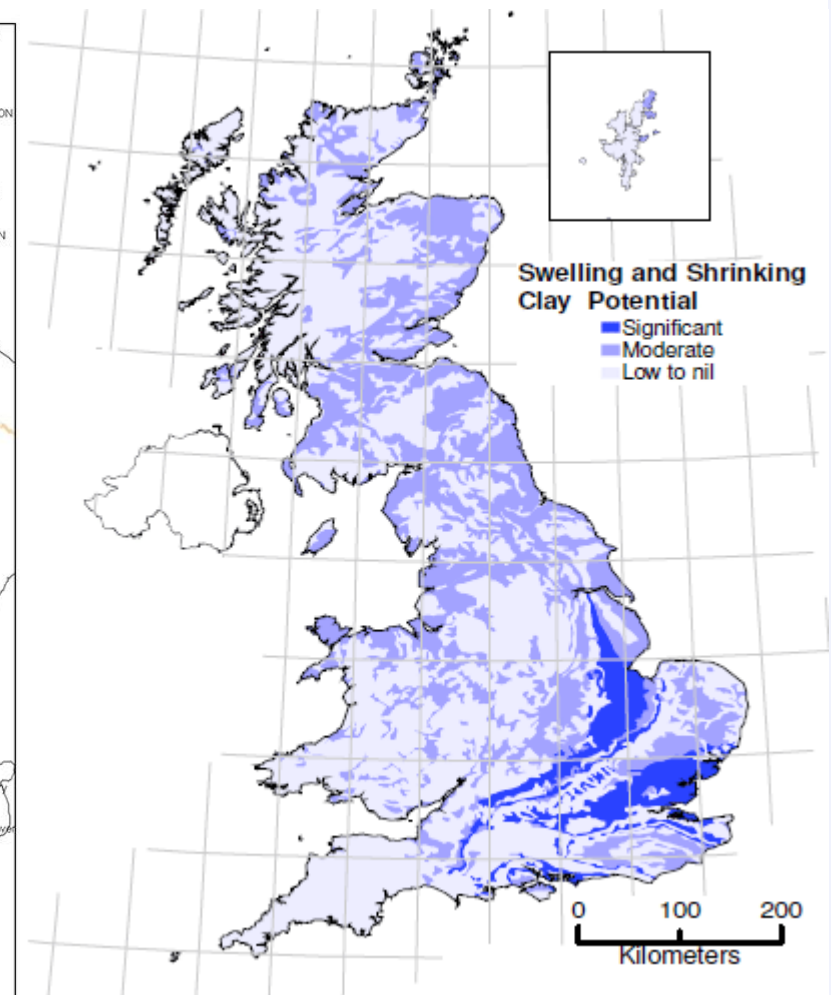
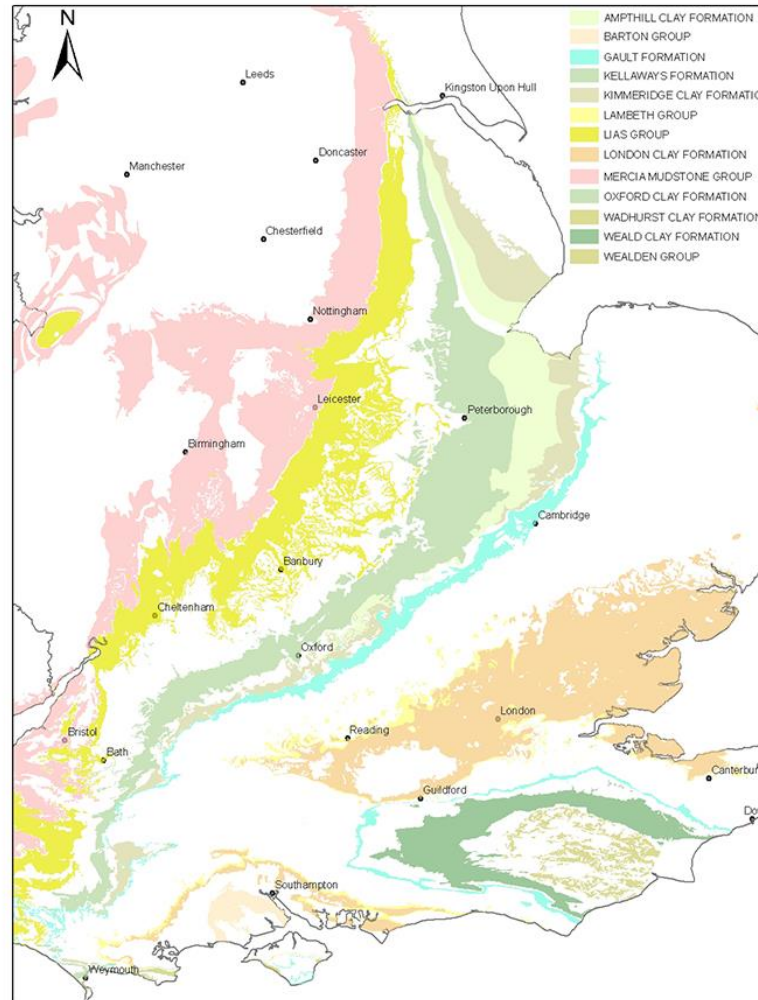
 Risicokaart

Voorbeelden kaarten uit andere landen – Groot Brittannië

- Watergehalte nabij oppervlakte
- Type klei in de ondergrond
- Neiging van de klei om van volume te veranderen

Deze kaart geeft beeld op basis van verschillende formaties die in de ondergrond aanwezig zijn. Het is gebaseerd op de eigenschappen van de harde gesteentes als van de afzettingen. O.a. London clay heeft hoog krimp/zwel potentieel

 Potentiekaart



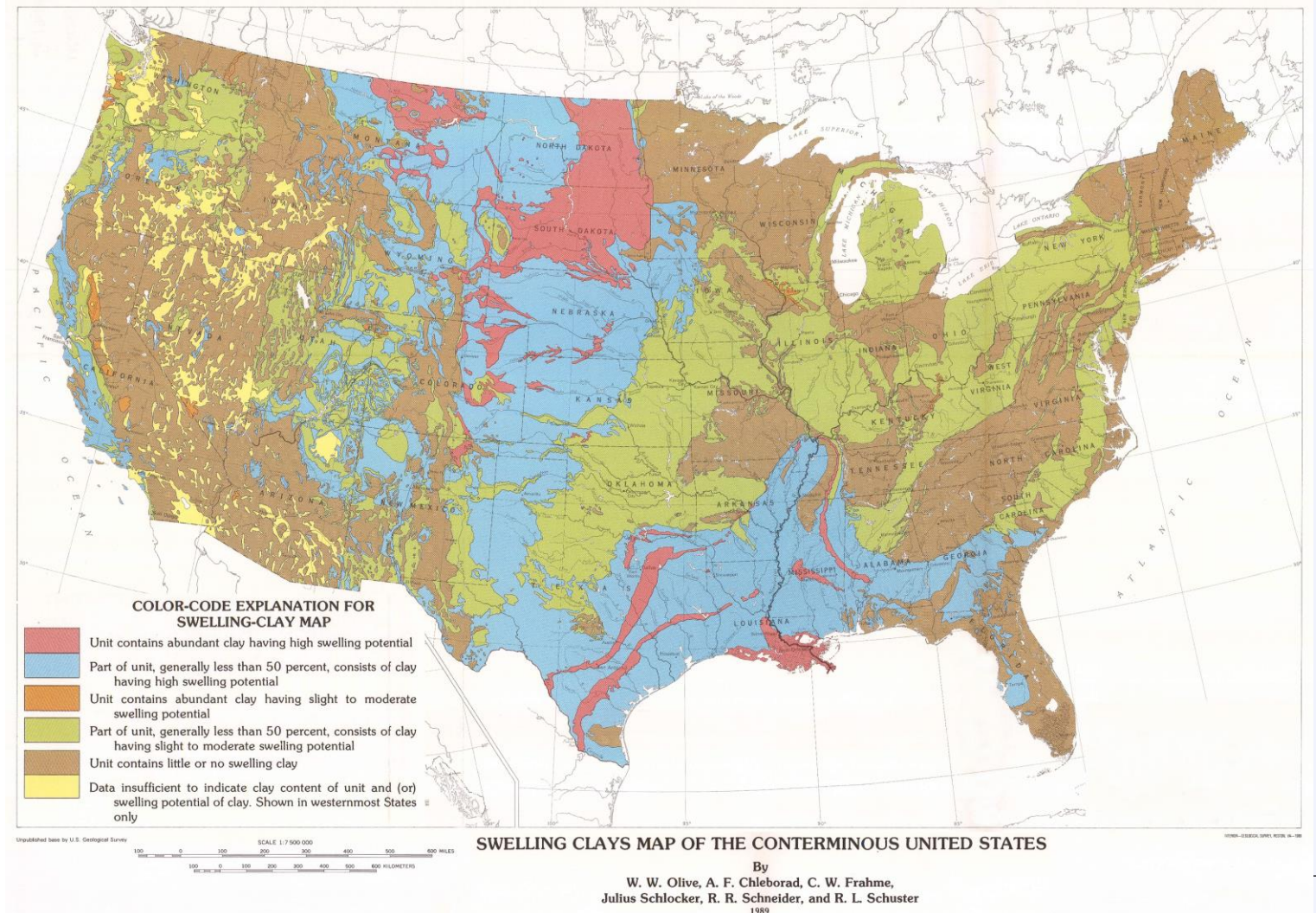
Bron: The British Geological Survey (BGS)

Voorbeelden kaarten uit andere landen – Verenigde Staten

- Geologie
- Mate van aanwezigheid zweelgevoelige kleien
- In situ, dus geen (getransporteerde) afzettingen

Deze kaart geeft een beeld van de mate waarin bodems zweelgevoelige kleien bevatten en de mate van gevoeligheid van de kleien. Dit is gebaseerd op de geologische kaart (bedrock in situ). Kaart toont niet de bodems die op door wind, water of ijs afgezette sedimenten gevormd zijn en mogelijk ook gevoelig zijn!

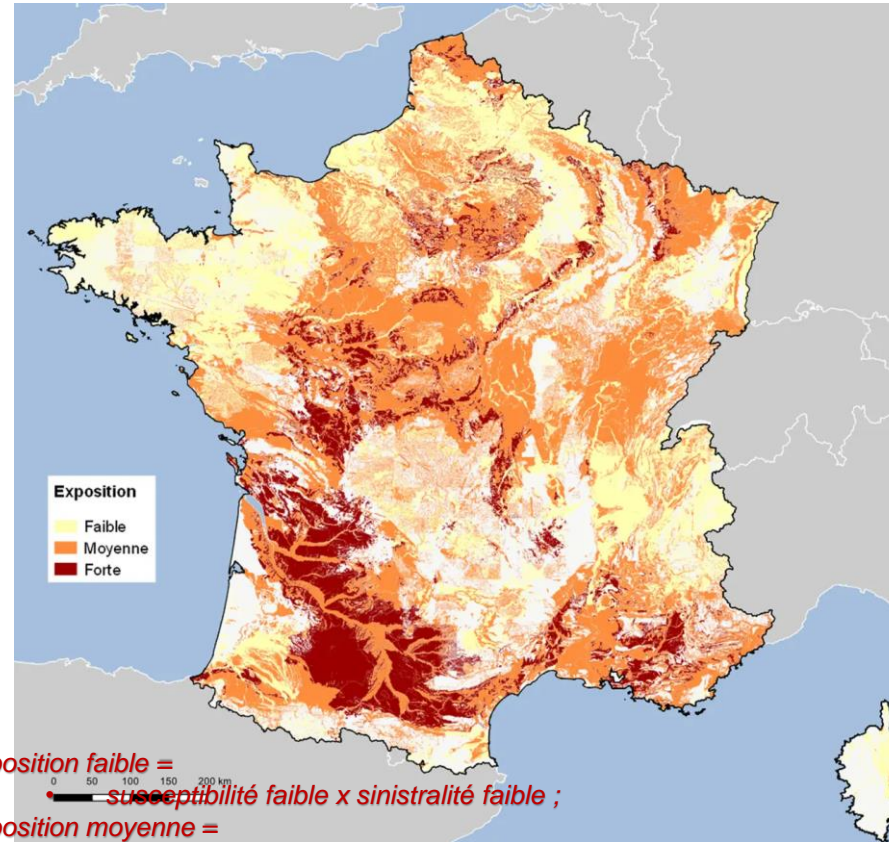
 Kansenskaart



Voorbeelden kaarten uit andere landen - Frankrijk

Kaart links toont de mate waarin kleiformaties blootgesteld worden aan differentieel krimp van de ondergrond als gevolg van droogte en de daaropvolgende (natuurlijke) vernatting. Het is gebaseerd op de geologische kaart en waargenomen schades

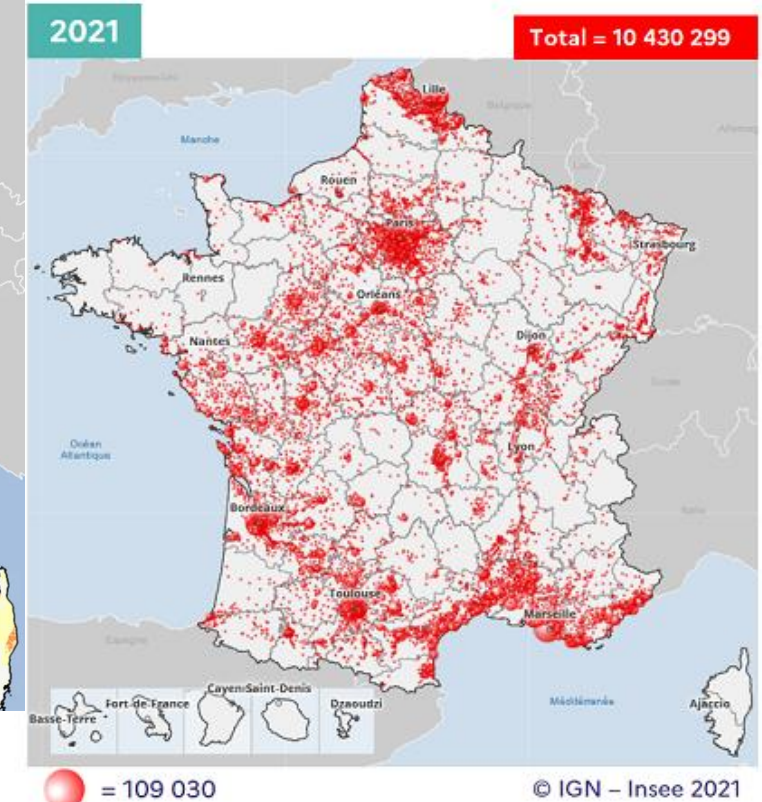
- Mate van blootstelling gebieden aan ongelijkmate krimp/zwel van klei:
- Geologie
- Schades
- Klimatologische omstandigheden



- exposition faible =
 - susceptibilité faible x sinistralité faible ;
- exposition moyenne =
 - susceptibilité faible x sinistralité moyenne ou forte ;
 - susceptibilité moyenne x sinistralité faible ou moyenne ;
- exposition forte =
 - susceptibilité moyenne x sinistralité forte ;
 - susceptibilité forte x sinistralité faible ou moyenne ou forte.

 Blootstellingskaart

Deltares



Data source : SDES 2021

Bron: BRGM

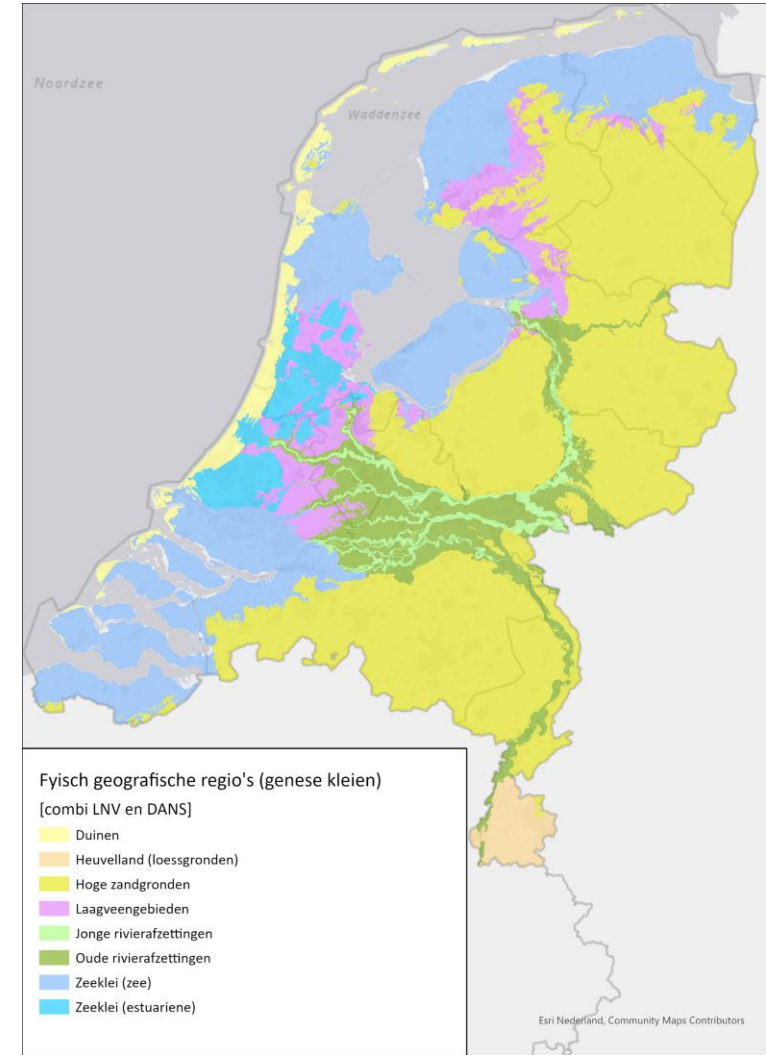
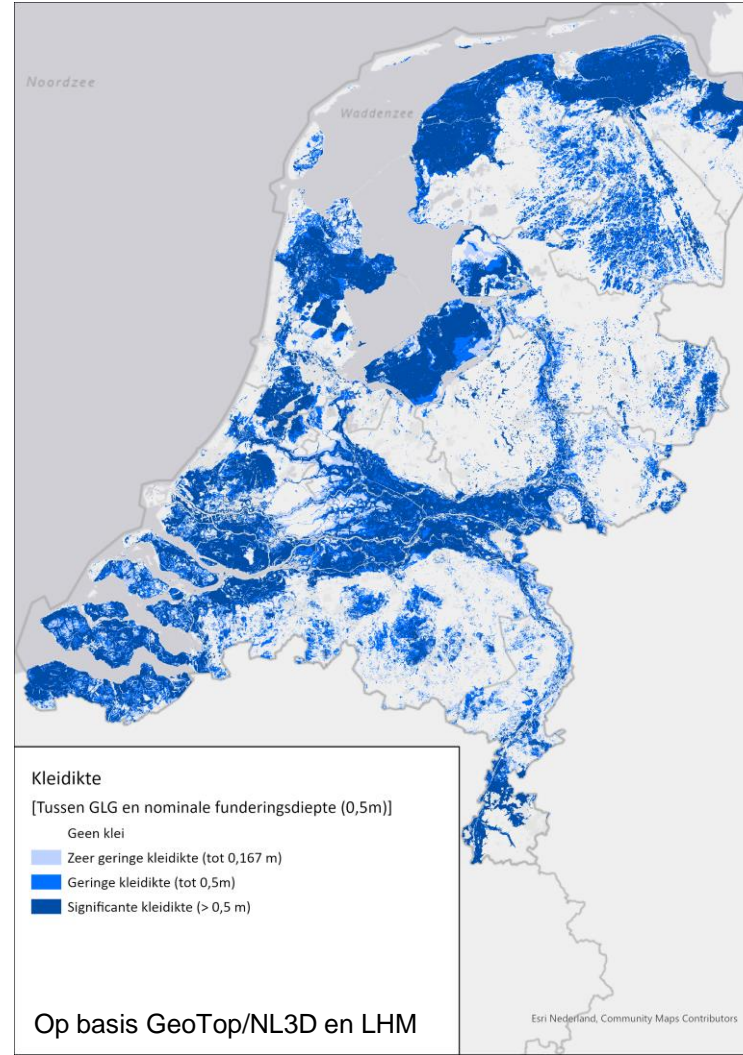
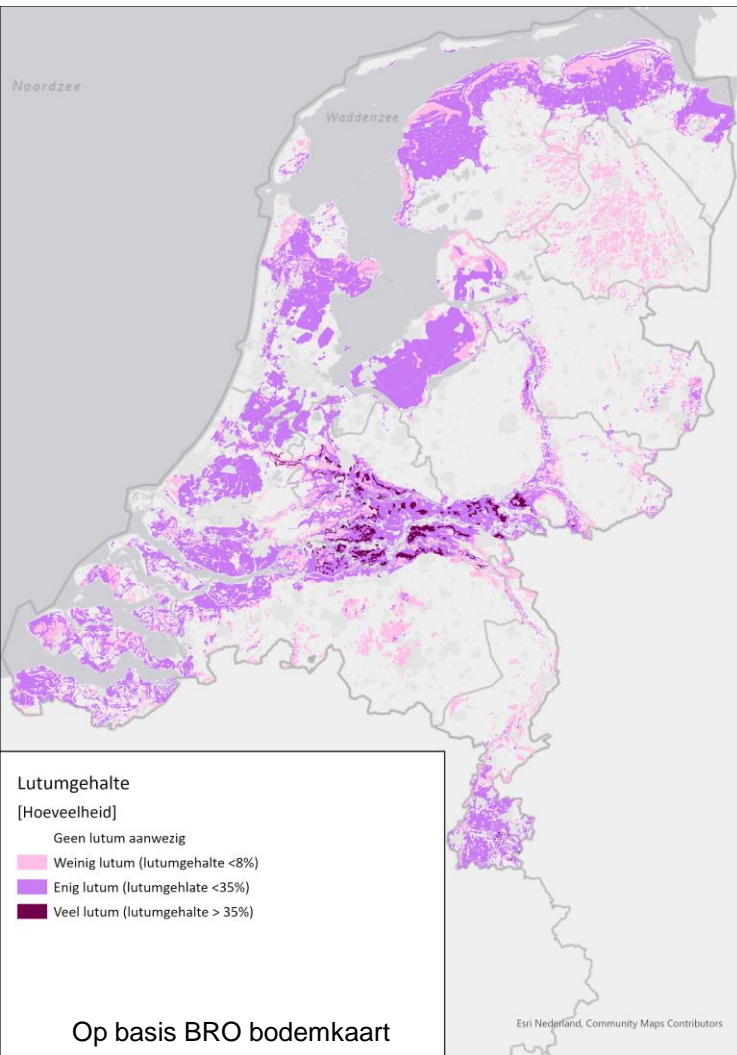
Voorbeelden kaarten uit andere landen - conclusie

- Ieder land eigen insteek (risico, potentie, kans, blootstelling, etc..)
- Belangrijke factoren:
 - Geologie/lithologie
 - Aanwezigheid klei
 - Meetgegevens
 - Schadegevallen

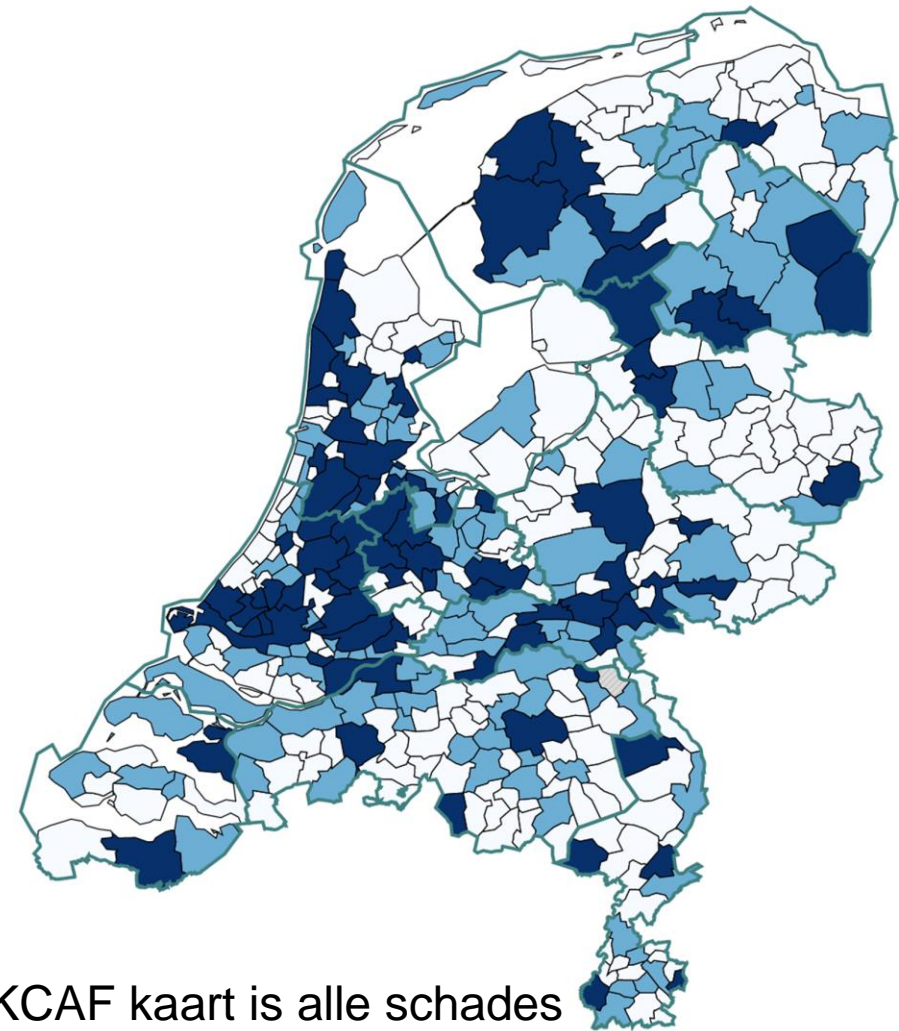
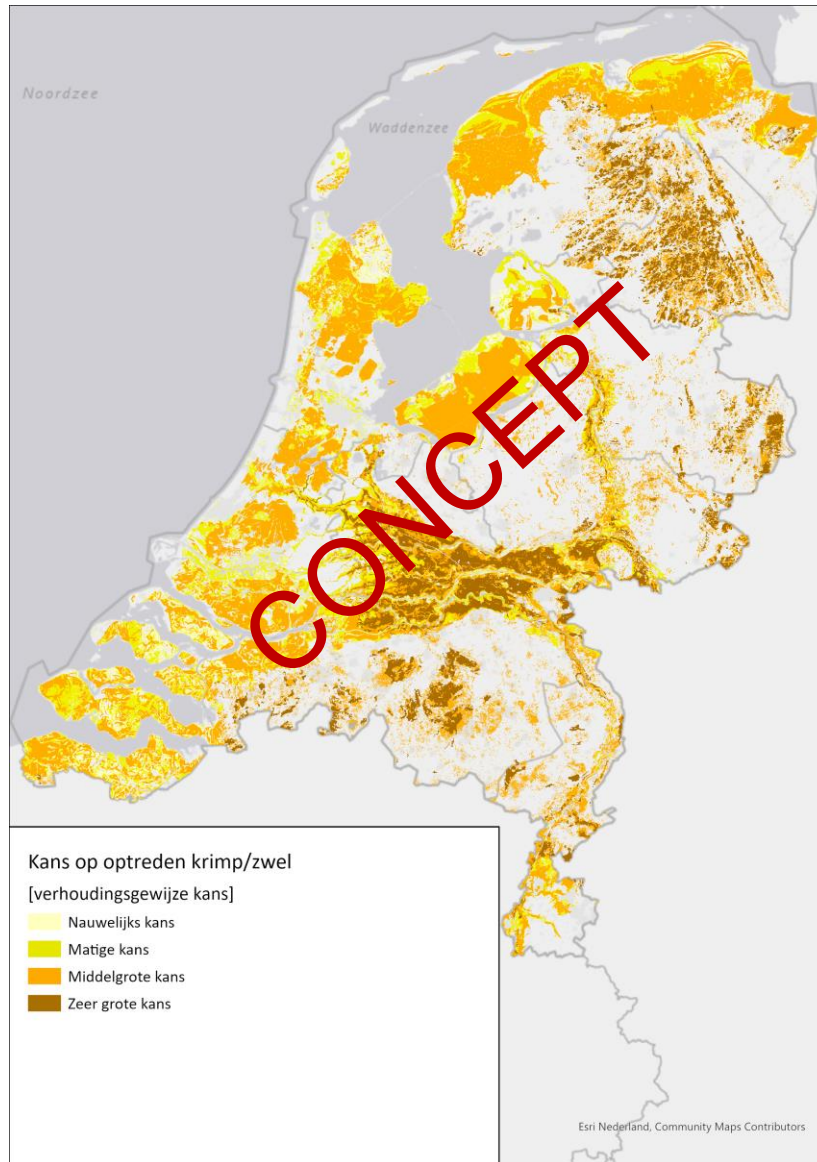
Situatie Nederland – gewenste gegevens

Type informatie	Wat is beschikbaar	Bruikbaar
Dikte van de klei in gevoelige zone	<ul style="list-style-type: none"> GeoTop/NL3D 	<ul style="list-style-type: none"> Ja, resolutie is 0,5 m (diep) en 100x100
Kleigehalte	<ul style="list-style-type: none"> Alleen van eerste 1,2 m 	<ul style="list-style-type: none"> Matig, je zou het over het gehele diepteprofiel willen weten
Afzetting/formatie	<ul style="list-style-type: none"> Bodemkaart NL (1,2 m) GeoTop/Regis 	<ul style="list-style-type: none"> Matig, want alleen van eerste 1,2 m, maar in holocene deel waarschijnlijk voor gehele bereik geldend Matig want niet alle afzettingen landsdekkend (oa Boomse klei)
Mineralogie Afzetting/formatie	<ul style="list-style-type: none"> Aantal slecht gedocumenteerde waarnemingen (Breeuwsma) Eigen onderzoek (beperkt) 	<ul style="list-style-type: none"> Matig, want exacte locatie onbekend en metingen alleen samengevat Beter, maar zeer beperkt aantal waarnemingen
Krimp/zwel gevoeligheid formatie	<ul style="list-style-type: none"> Bronswijklocaties Eigen onderzoek 	<ul style="list-style-type: none"> Matig, beperkt in aantal (alleen Holoceen) en geen goed beeld van alle parameters Goed maar beperkt in aantal
Calciumgehalte/PH	<ul style="list-style-type: none"> Weinig tot niets 	<ul style="list-style-type: none"> Nog niet
Hydrologische eigenschappen	<ul style="list-style-type: none"> Mogelijk uit bodemkaart te halen 	<ul style="list-style-type: none"> Matig
Schadegevallen	<ul style="list-style-type: none"> KCAF data 	<ul style="list-style-type: none"> Ter calibratie

Situatie Nederland – wat is beschikbaar



Situatie Nederland – Eerste kaart



KCAF kaart is alle schades
aan panden op
staalfunderingen

Contact

🏠 www.deltares.nl

🐦 [@deltares](https://twitter.com/deltares)

🌐 [linkedin.com/company/deltares](https://www.linkedin.com/company/deltares)

✉️ info@deltares.nl

📷 [@deltares](https://www.instagram.com/deltares)

📘 [facebook.com/deltaresNL](https://www.facebook.com/deltaresNL)

