

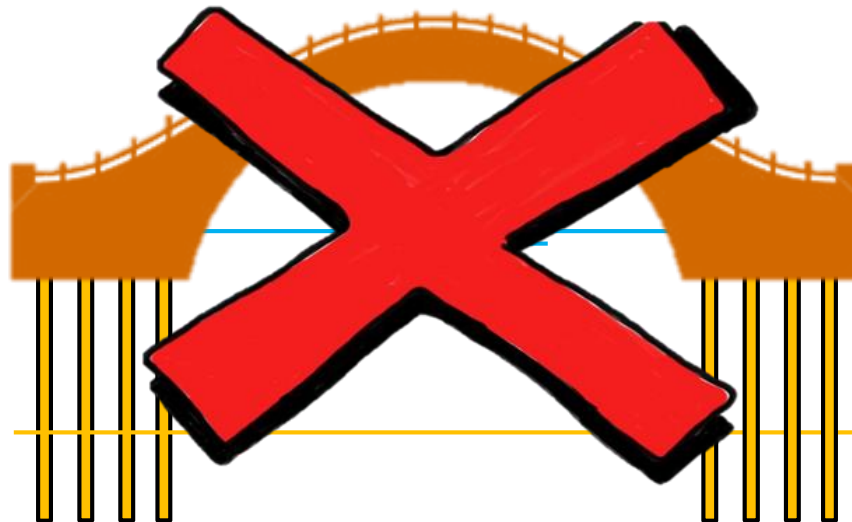
Amsterdams palenonderzoek Bruggen en Kademuren



✖✖✖ Amsterdams palenonderzoek

Programma Bruggen & Kademuren gestart om de constructieve veiligheid van de Amsterdamse bruggen en kademuren te bepalen.

Bepaling is niet eenvoudig vanwege beperkte inspectiegegevens, onvoldoende kennis over belangrijke parameters en te weinig houvast in de huidige normen en richtlijnen.



✖✖✖ Amsterdams palenonderzoek

Onderzoeksprogramma opgestart met kennisinstituten met als doel:

Het ontwikkelen van een berekeningsmethodiek om zo een betrouwbare én realistische uitspraak te kunnen doen over de constructieve veiligheid van de houten paalfunderingen.



✖✖✖ Amsterdams palenonderzoek

- *Onderzoek werkelijke constructieve draagkracht*
 - *Onderzoek bacteriële aantasting over de gehele paal*
 - *Onderzoek houtsterkte (in de tijd)*
- *Onderzoek alternatieve meetinstrumenten*
- *Onderzoek werkelijke geotechnische draagkracht – **De proeftuin***
- *Onderzoek draagkracht paalpopulatie – **Het statistisch rekenmodel***



Gemeente
Amsterdam

Statistisch rekenmodel paalsterkte

Wetenschappelijk onderzoek houten
paalfundering

XXX Inleiding



Vraagstelling

'Hoe kunnen we een **betrouwbare uitspraak** doen over de sterkte van de houten paalfundering op basis van **bepaalde inspectiegegevens**, terwijl we te maken hebben met veel **variabelen en onzekerheden**?'

Huidige oplossing

- Toetsing volgens de norm
- Op basis van veilige en dus conservatieve aannames

Resultaat

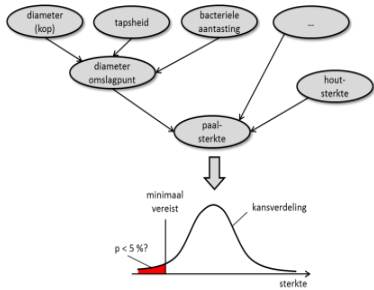
- Mogelijk onterecht afkeuren houten paalfundering

XXX Inleiding



Vraagstelling

'Hoe kunnen we een **betrouwbare uitspraak** doen over de sterkte van de houten paalfundering op basis van **bepaalde inspectiegegevens**, terwijl we te maken hebben met veel **variabelen en onzekerheden**?'



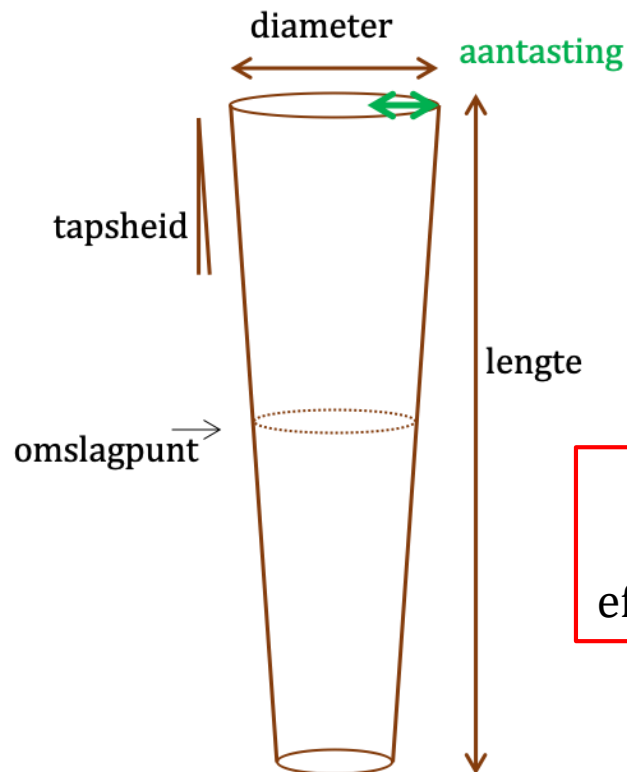
Oplossing

- Ontwikkel een statistisch rekenmodel (dat praktisch toepasbaar is!)
- Voorzie het model van input

Resultaat

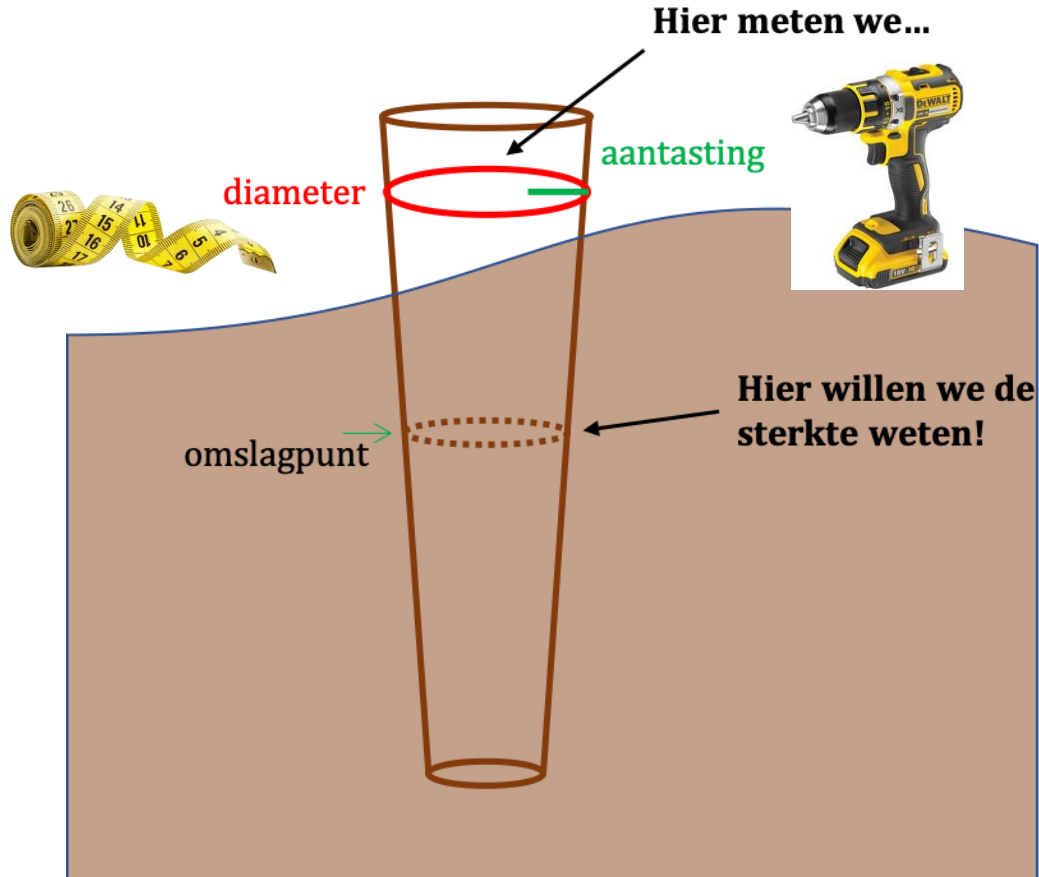
- Betrouwbare én realistische uitspraak doen. Bruggen en kademuren niet onterecht afkeuren.

XXX De situatie - schematisch

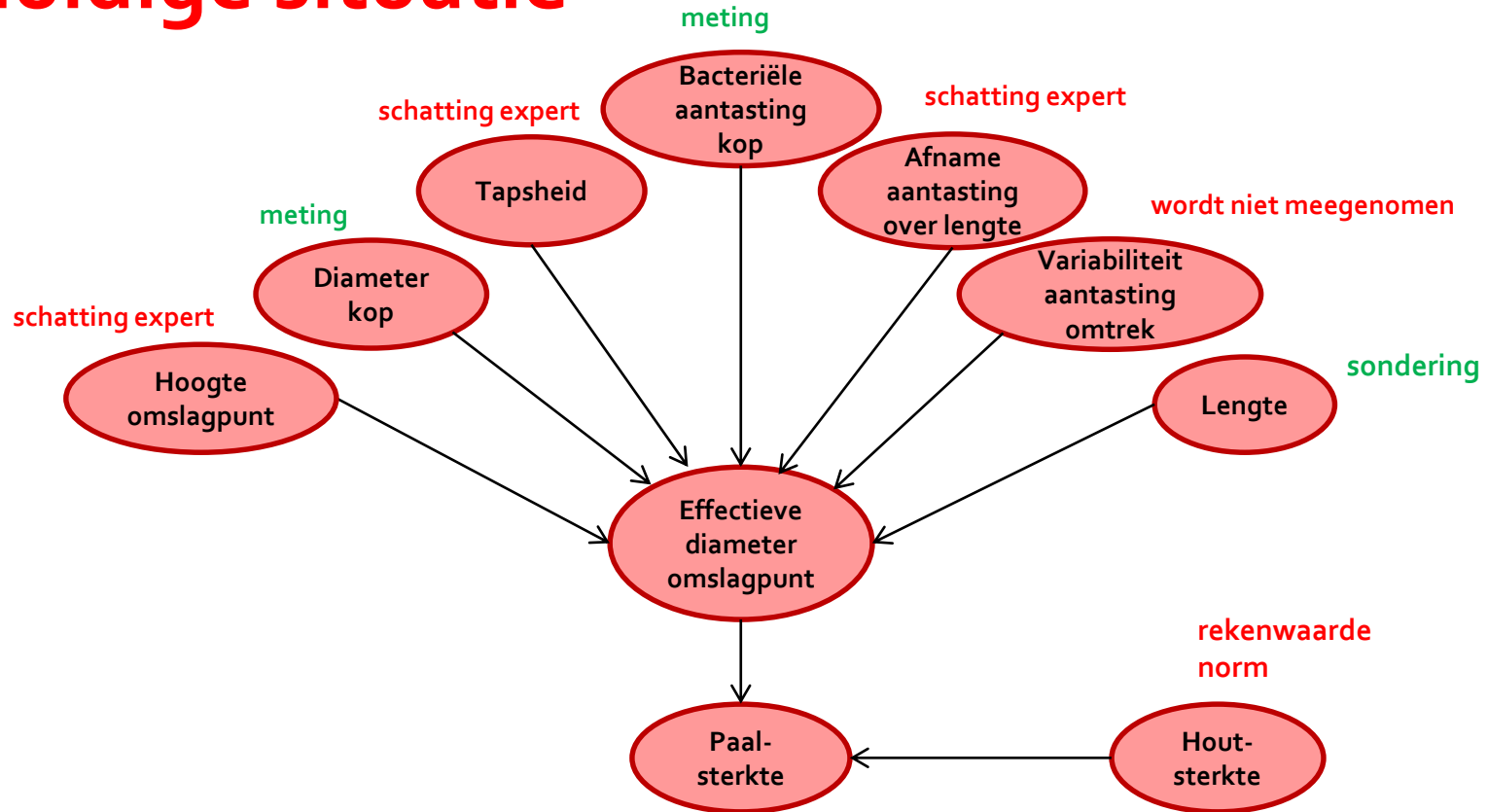


$$\begin{aligned} &\text{paalsterkte} \\ &= \\ &\text{effectieve diameter op omslagpunt} \times \text{houtsterkte} \end{aligned}$$

XXX De situatie - schematisch

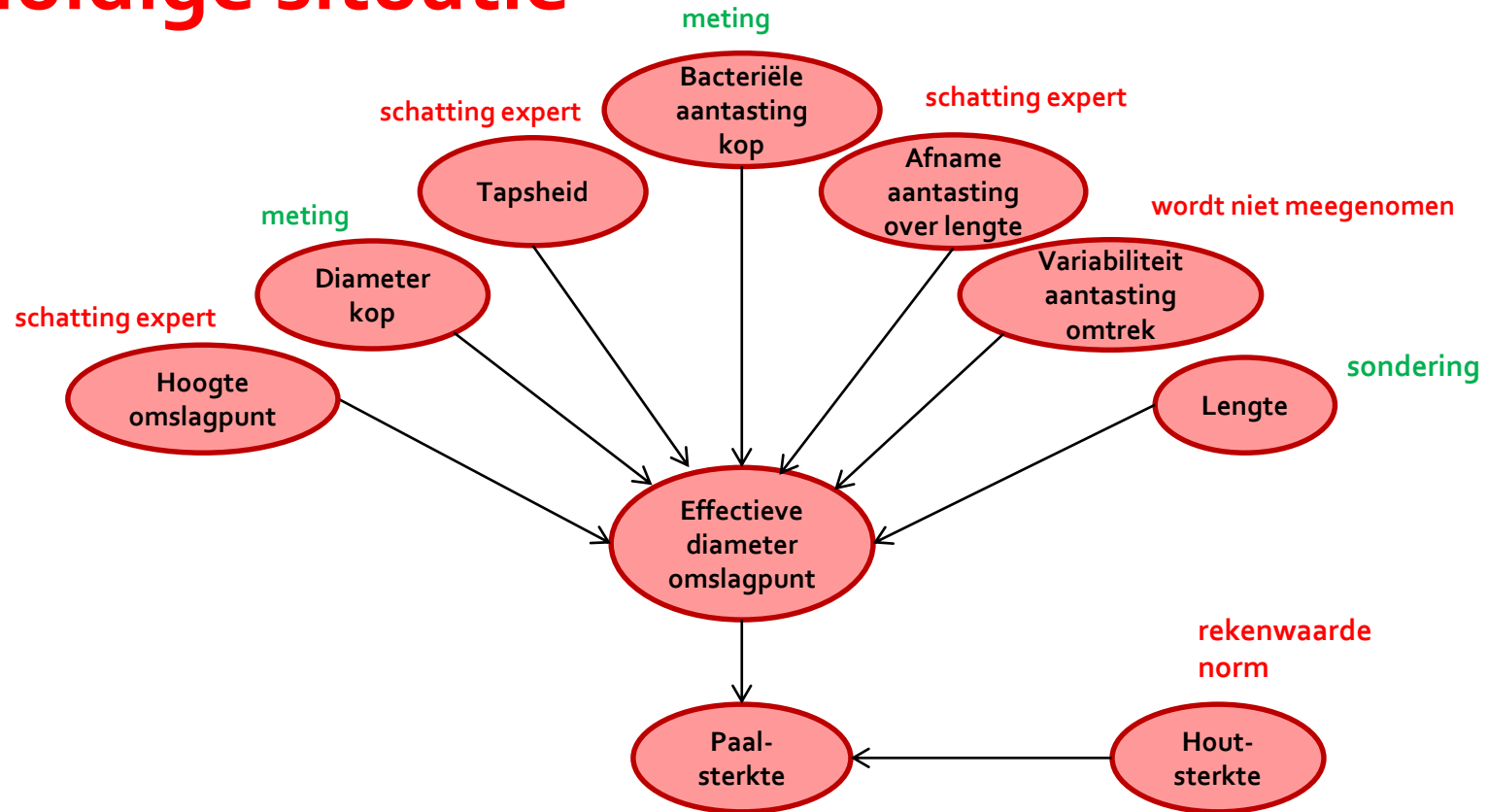


Inputgegevens bepaling paalsterkte huidige situatie



Dit is hoe volgens het huidige toetsingskader de sterkte van de houten palen onder bruggen wordt bepaald.

Inputgegevens bepaling paalsterkte huidige situatie



Verfijning:

1. Onzekerheden meenemen (anders dan conservatieve waarden gebruiken)
2. Gebruikmaken van historische data (van reeds getoetste bruggen)

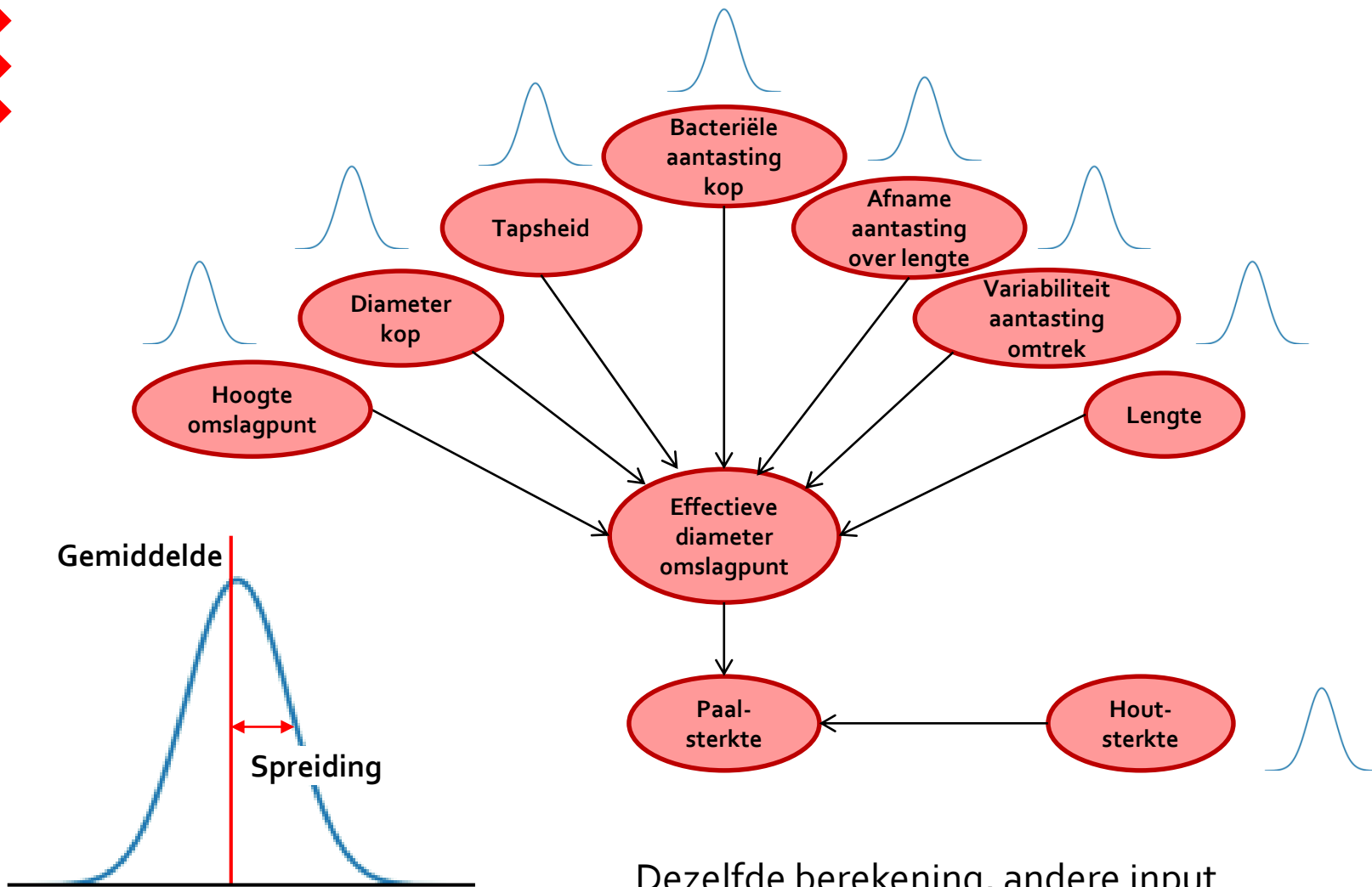
Inputgegevens - database

Object	Nummer	Straatnaam	Gracht/water	Houtmonster	Bouwjaar/leeftijd	Bouwjaargroep *	Materiaal	Doorsnede bovenzijde paal (mm)	Doorsnede bovenzijde paal tientallen	Tapsheid palen in mm/m1	Bacteriele aantasting (ernstig) volgens leidraad (mm)	Sterkte paal op basis van leidraad (kN)
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	1	1885	D	grenen	250	250		0	530
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	2	1885	D	grenen	230	230		0	449
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	3	1885	D	grenen	250	250		4	497
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	7	1922	E	vuren	240	240		9	418
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	8	1922	E	vuren	270	270		11	522
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	9	1922	E	vuren	240	240		8	426
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	10	1727	A	vuren	230	230		26	269
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	11	1727	A	dennen	230	230		25	275
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	12	1727	A	vuren	280	280		0	665
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	13	1922	E	vuren	250	250		0	530
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	14	1922	E	dennen	210	210		16	269
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	15	1922	E	vuren	230	230		0	449
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	16	1727	A	dennen	200	200		42	114
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	17	1727	A	vuren	210	210		21	239
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	18	1727	A	vuren	250	250		21	367
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	19	1922	E	vuren	250	250		10	449
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	20	1922	E	vuren	230	230		0	449
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	21	1922	E	vuren	230	230		0	449
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	22	1885	D	vuren	260	260		12	472
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	23	1727	A	dennen	200	200		22	206
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	24	1727	A	dennen	210	210		22	234
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	25	1727	A	vuren	260	260		20	411
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	26	1922	E	vuren	230	230		0	449
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	27	1922	E	vuren	230	230		0	449
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	28	1922	E	vuren	250	250		0	530
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	29	1922	E	vuren	230	230		0	449
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	30	1727	A	dennen	280	280		12	556
Brug	30	vijzelstraat	Herengracht	31	1727	A	vuren	220	220		25	245

Inputgegevens van reeds getoetste bruggen:

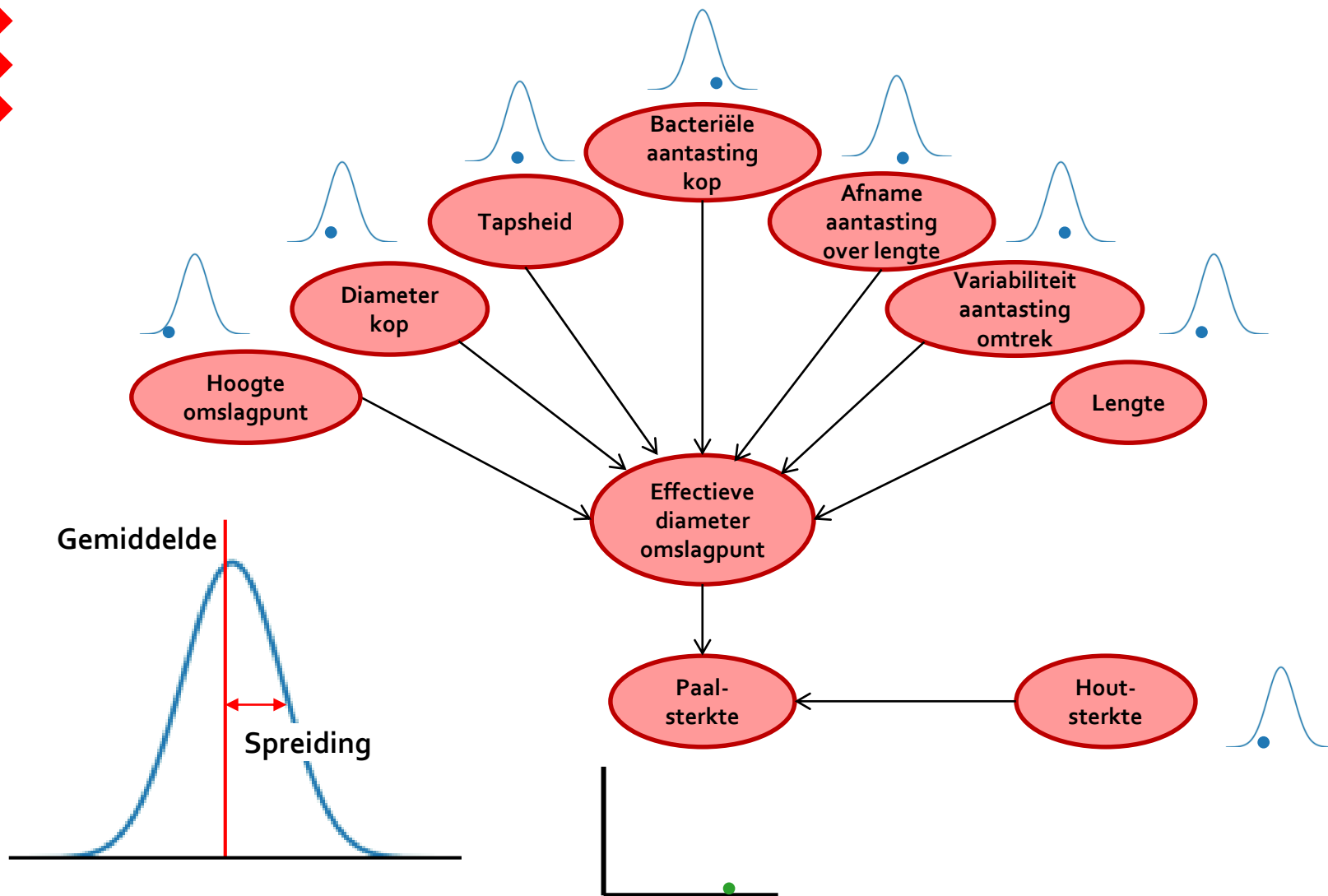
- 27 bruggen
- 582 metingen van de diameter en aantasting

XXX Het model - kansverdelingen



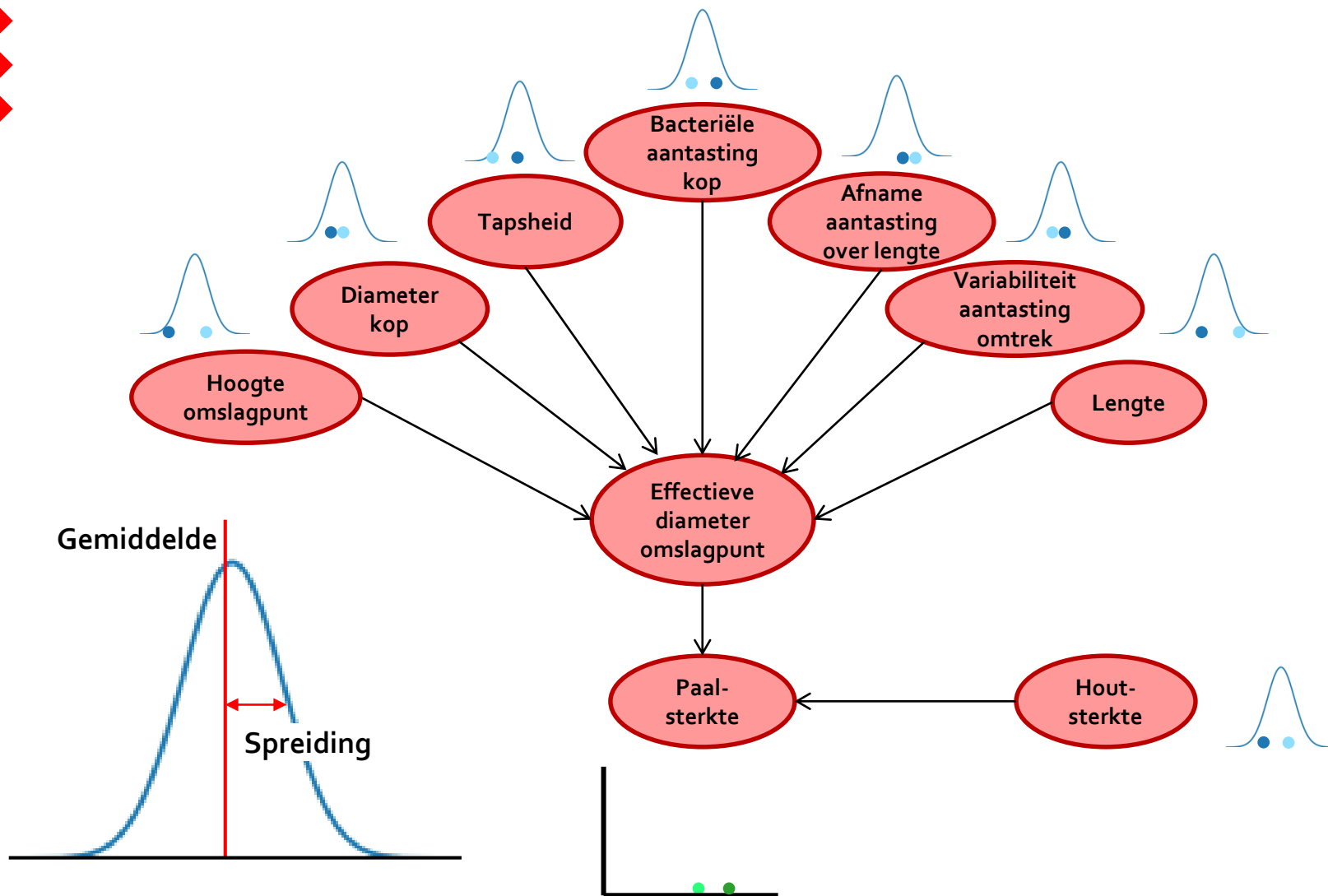


Het model – monte carlo, 1 trekking



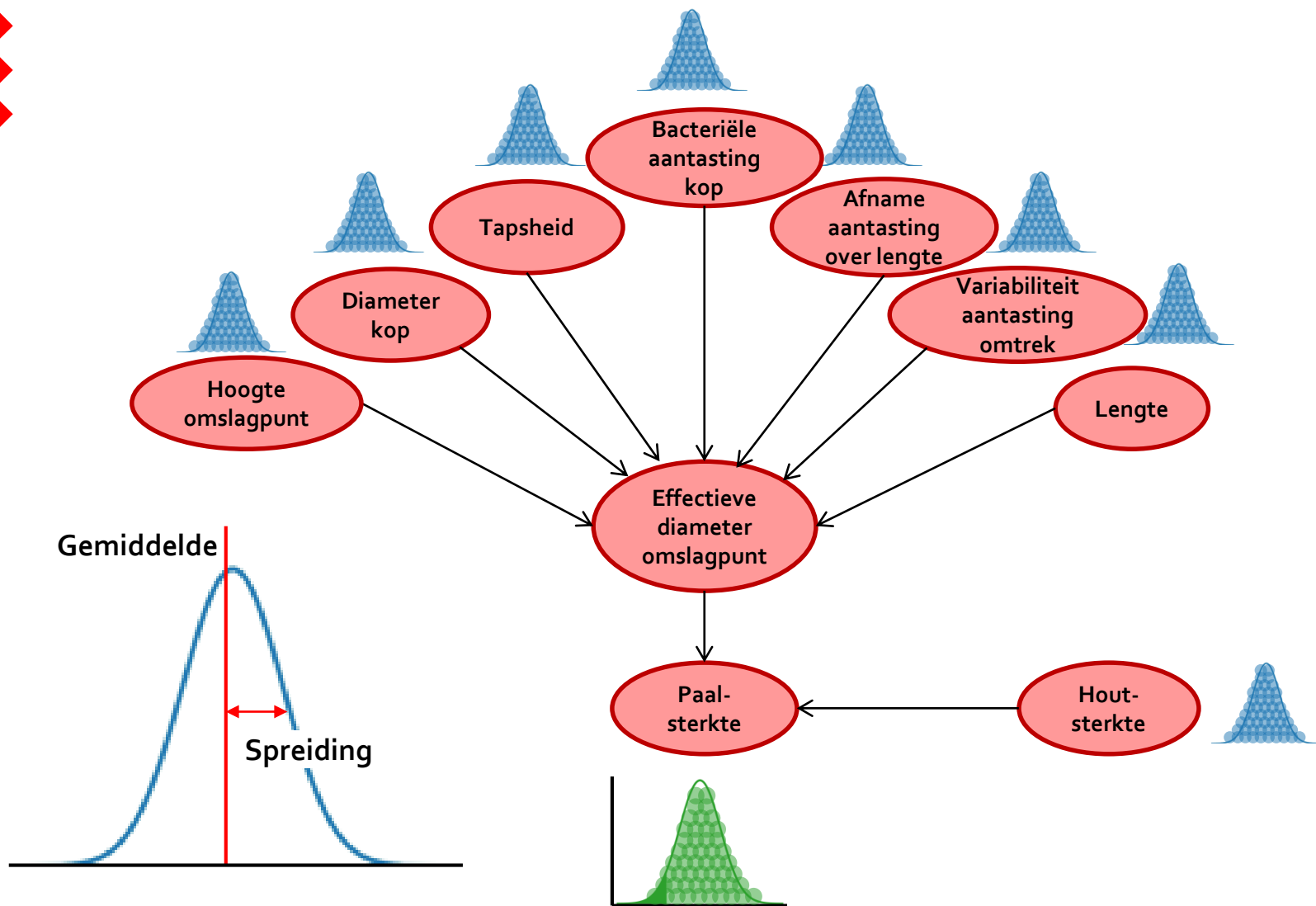


Het model – monte carlo, 2 trekkingen



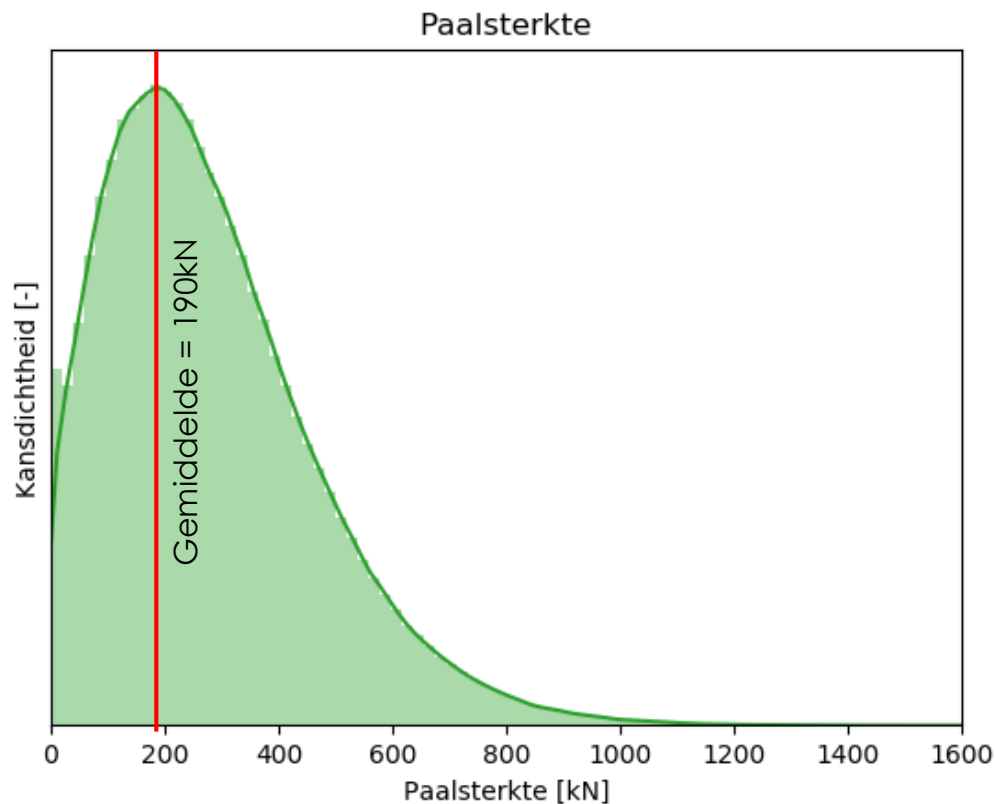


Het model – monte carlo, 10^6 trekkingen





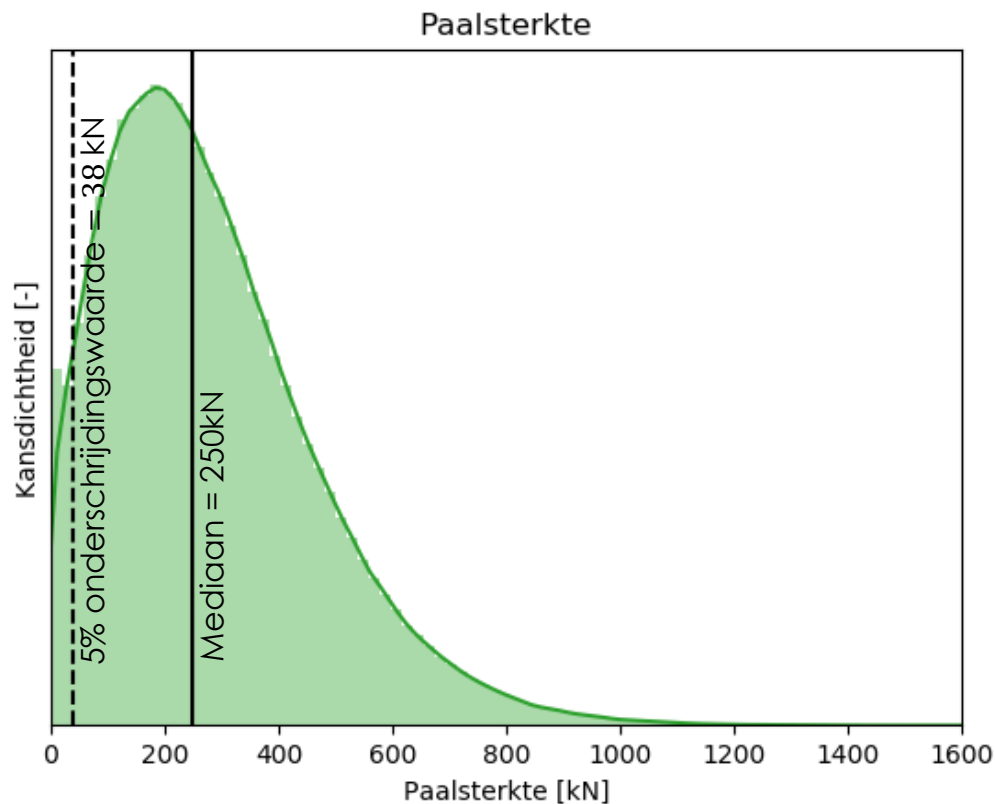
Het model – paalsterkte verdeling



Een willekeurige paal onder een Amsterdamse brug heeft een gemiddelde sterkte van 190 kN.

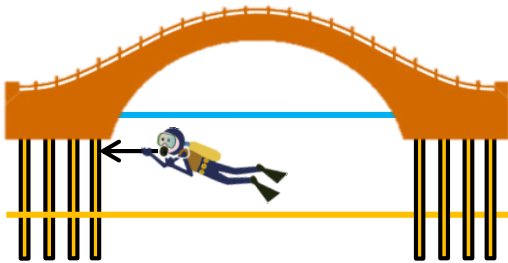
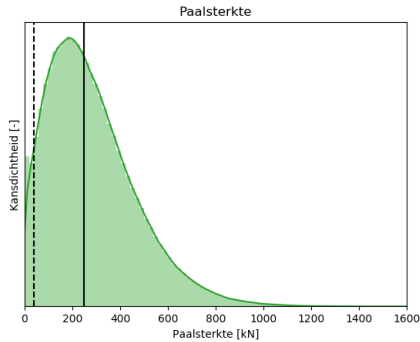


Het model – paalsterkte distributie



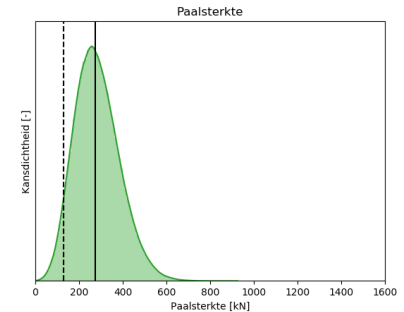
Als we geen enkele meting zouden doen voor een brug, is de 5% onderschrijdingswaarde van de paalsterkte van een willekeurige paal 38 kN.

Bayesian inference: statistiek



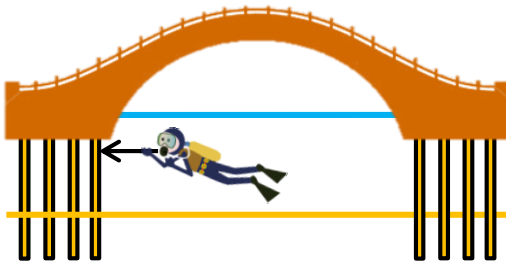
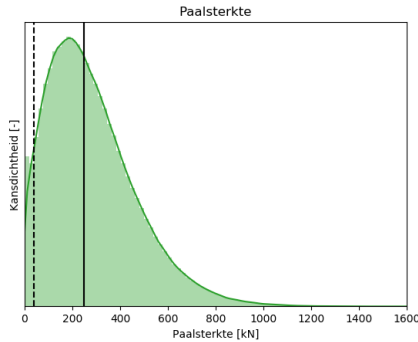
$$\mu_{12} = \frac{\mu_{\mu 1} \cdot \sigma_2^2 / n_2 + \mu_2 \cdot \sigma_{\mu 1}^2}{\sigma_{\mu 1}^2 + \sigma_2^2 / n_2}$$

$$\sigma_{12}^2 = \frac{1}{n_2} \cdot \frac{\sigma_{\mu 1}^2 \cdot \sigma_2^2}{\sigma_{\mu 1}^2 + \sigma_2^2 / n_2}$$



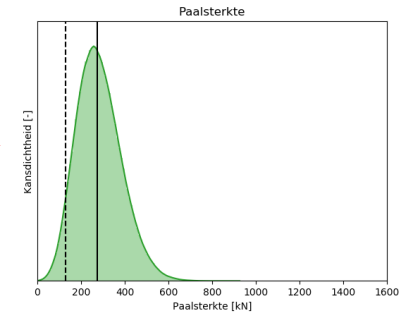
Resultaat:
verdeling van de paalsterkte,
specifiek voor de getoetste brug

Bayesian inference: statistiek



$$\mu_{12} = \frac{\mu_{\mu 1} \cdot \sigma_2^2 / n_2 + \mu_2 \cdot \sigma_{\mu 1}^2}{\sigma_{\mu 1}^2 + \sigma_2^2 / n_2}$$

$$\sigma_{12}^2 = \frac{1}{n_2} \cdot \frac{\sigma_{\mu 1}^2 \cdot \sigma_2^2}{\sigma_{\mu 1}^2 + \sigma_2^2 / n_2}$$



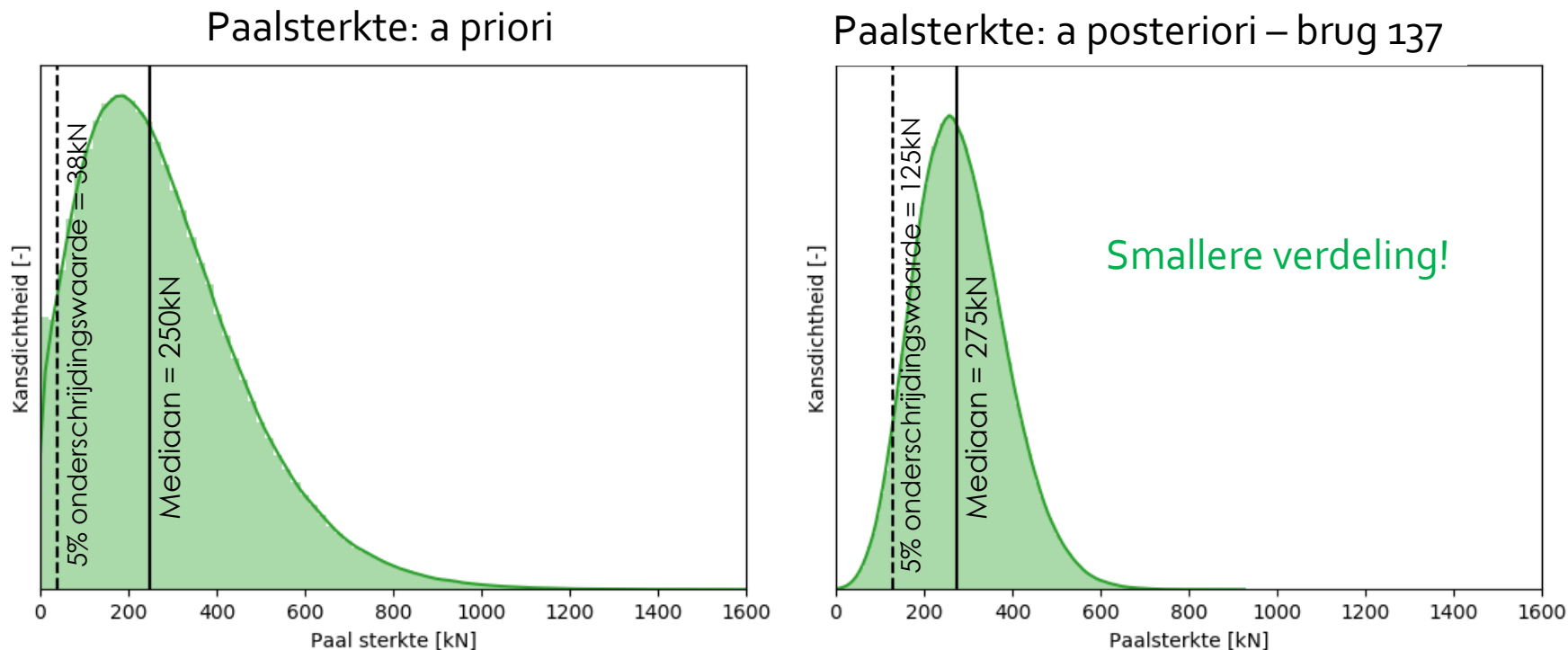
Resultaat:
verdeling van de paalsterkte,
specifiek voor de getoetste brug

Voorbeeld voor brug 137:

- Vier metingen van diameter en aantasting;
- Wat voor effect heeft dit op de onderschrijdingswaarde van de paalsterkte voor deze brug?



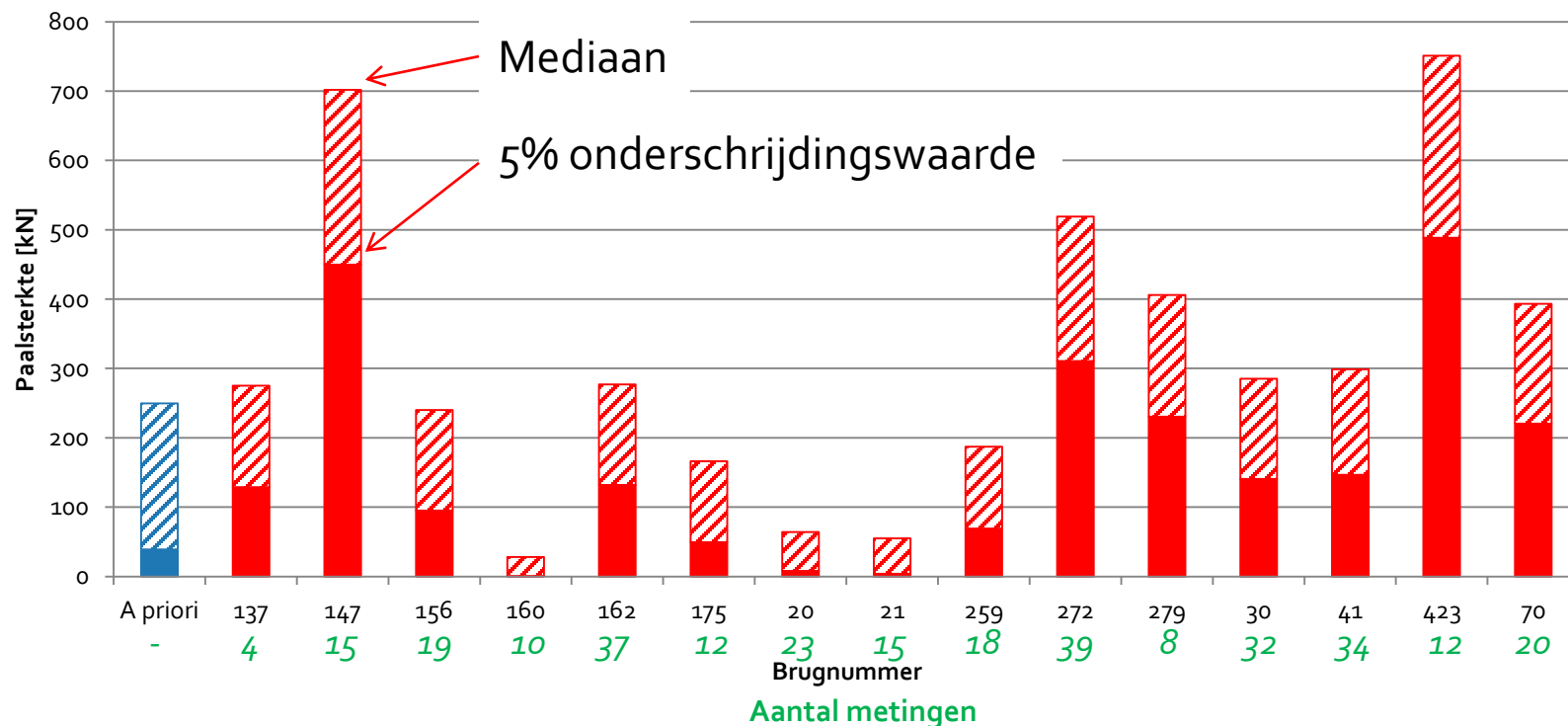
Bayesian inference: voorbeeld brug 137



- Door slechts vier metingen te doen voor brug 137 halen we de 5% onderschrijdingswaarde op van 38 kN naar 125 kN;
- 95% van de palen onder brug 137 heeft een ondergrenswaarde van 125 kN.



Bayesian inference: voor alle bruggen in database



Op basis van historische data en een aantal metingen kunnen we een uitspraak doen over de sterkte van de gehele paalpopulatie onder een brug

✖✖✖ Conclusies en vooruitblik

- Op basis van historische data en een aantal metingen kunnen we een uitspraak doen over de sterkte van de gehele paalpopulatie;
- Eerste prototype van het statistisch rekenmodel is gereed;
- Vervolgstap: doorontwikkelen van het model a.h.v. nieuwe kennis en data
- Data nodig om de modellen te voeden!



Gemeente
Amsterdam

Proefopstelling houten funderingspalen



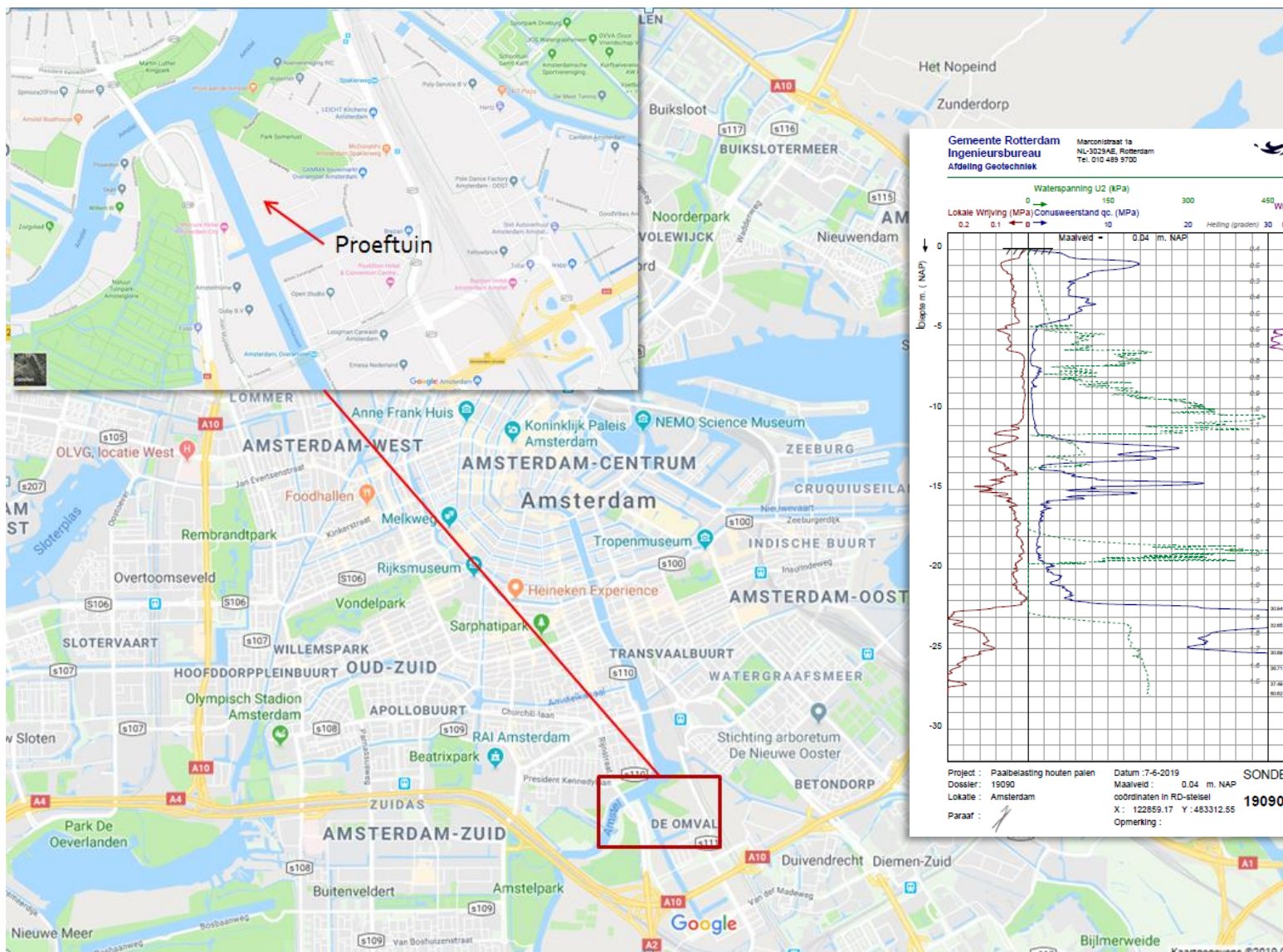
30-01-20

Inhoud

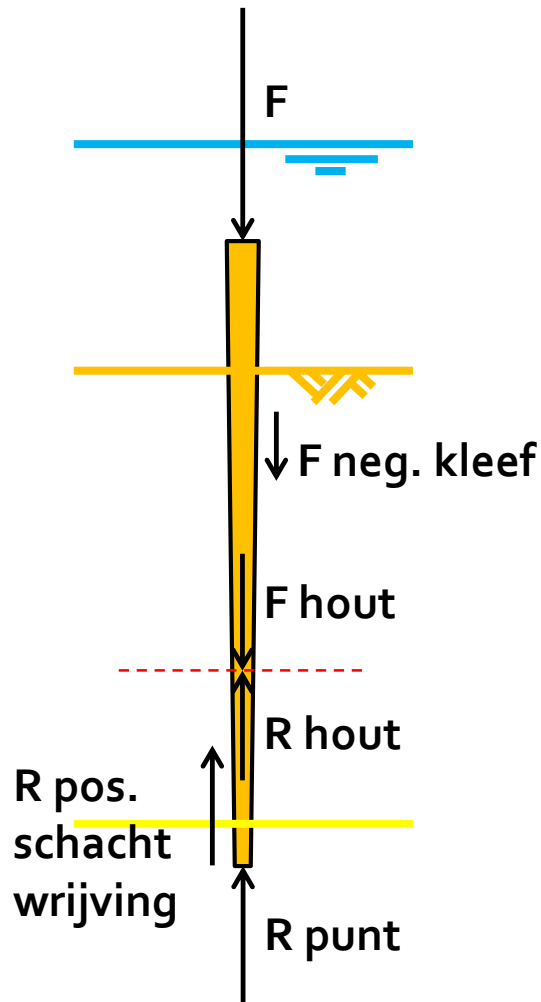
- Locatie
- Doel
- Methode
- Slide show
- Meetresultaten
- Vervolg



Locatie OverAmstel - Amstelkwartier 2



Doel



$$q_{b;\max} = \alpha_p * \beta * s * \frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII}$$

$$q_{s;\max} = \alpha_s \cdot q_c$$

- Inzicht
 - Werkelijke geotechnische draagkracht
 - In Amsterdamse bodem
 - Met representatieve paal
 - Aandeel schachtwrijving
 - Aandeel puntweerstand
 - Plaats omslagpunt / maatgevende dsn
- Aanscherpen rekenformules geotechniek
- Dichter bij de werkelijke draagkracht



Richtlijn proefbelastingen – NPR 7201



Nederlandse praktijkrichtlijn

NPR 7201 (nl)

Geotechniek - Bepaling van het axiaal draagvermogen van funderingspalen door middel van proefbelastingen

Geotechnics - Determination of the axial bearing capacity of foundation piles by pile load testing

Nederlands certificatieschema

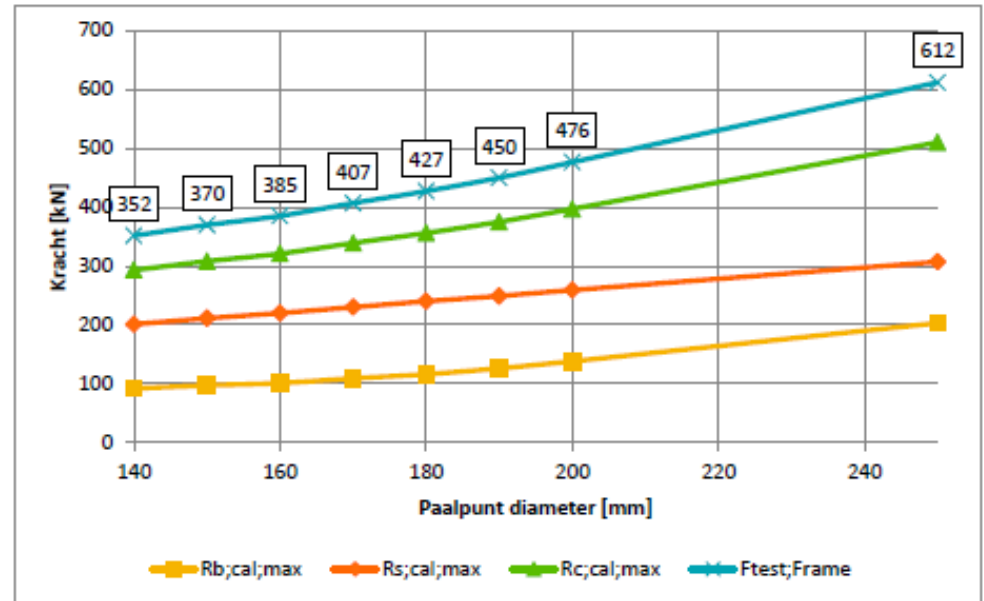
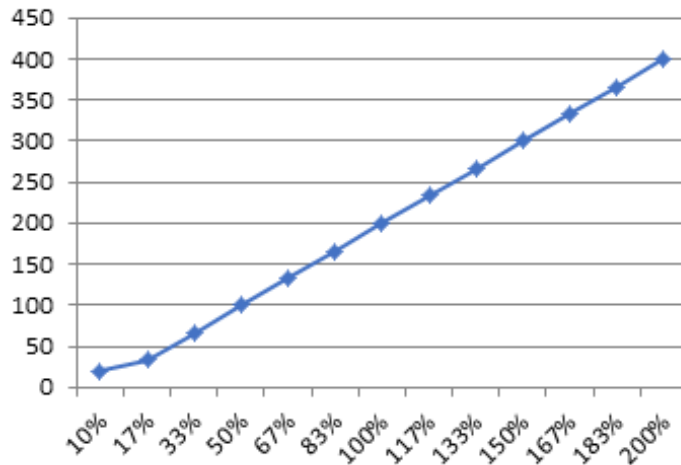
NCS 7201 (nl)

Zelfverklaring 'Proefbelasting van funderingspalen' behorend bij NPR 7201

Belastingstappen

- Bepalen theoretisch paal draagvermogen
- $R_{s;cal;max} = 300 \text{ kN}$
- Belastingstappen conform NPR

belasting (kN)



Figuur 5 – Benodigde testbelasting, met voorbereiden (aangenomen $q_c = 2 \text{ MPa}$), sondering DKM14

belasting (kN)









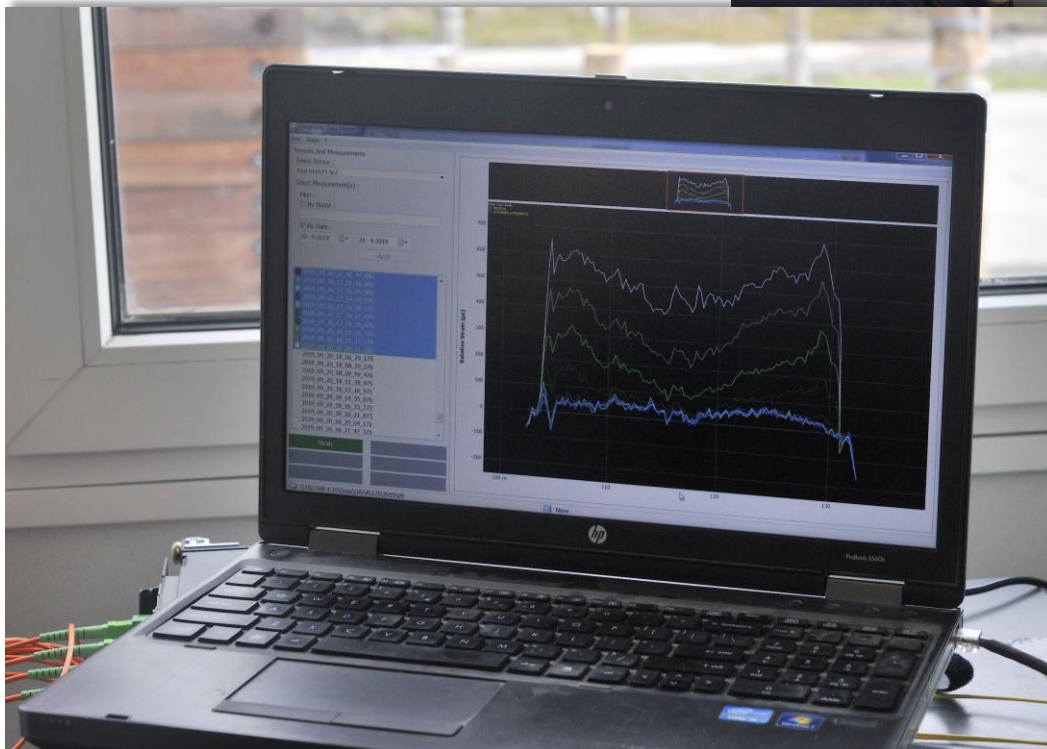
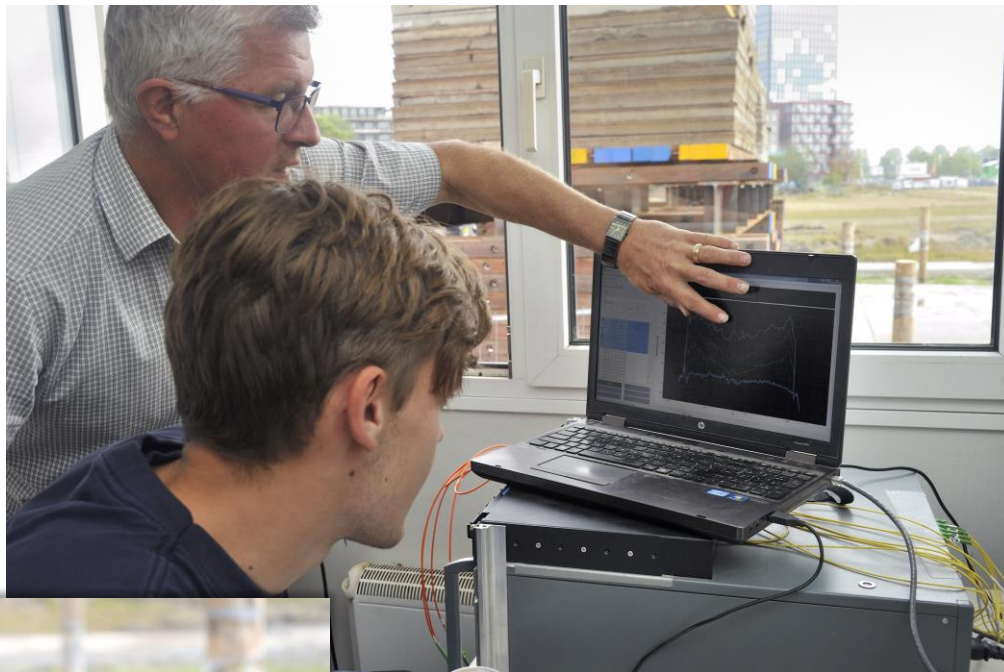




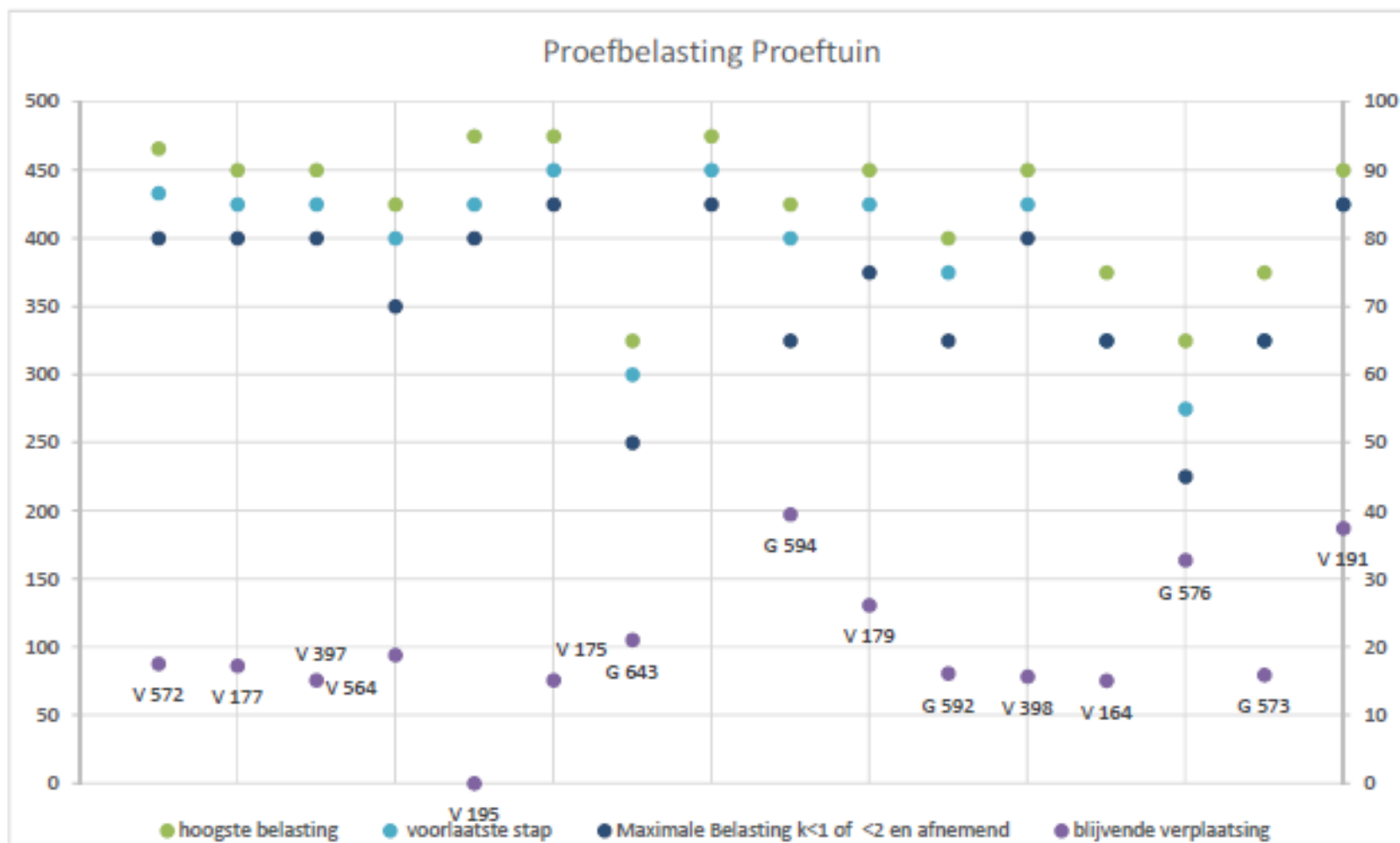




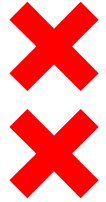




Amsterdams palenonderzoek



✖ Vervolg en aanvullend onderzoek



- Feitenrapportage IB Rotterdam
- Data analyse en bepaling α_p en α_s
- Negatieve kleef proeven
- Horizontaal proeven
- Trekken palen
- Lab-onderzoek

Vragen



Gemeente
Amsterdam

Aanvullende slides

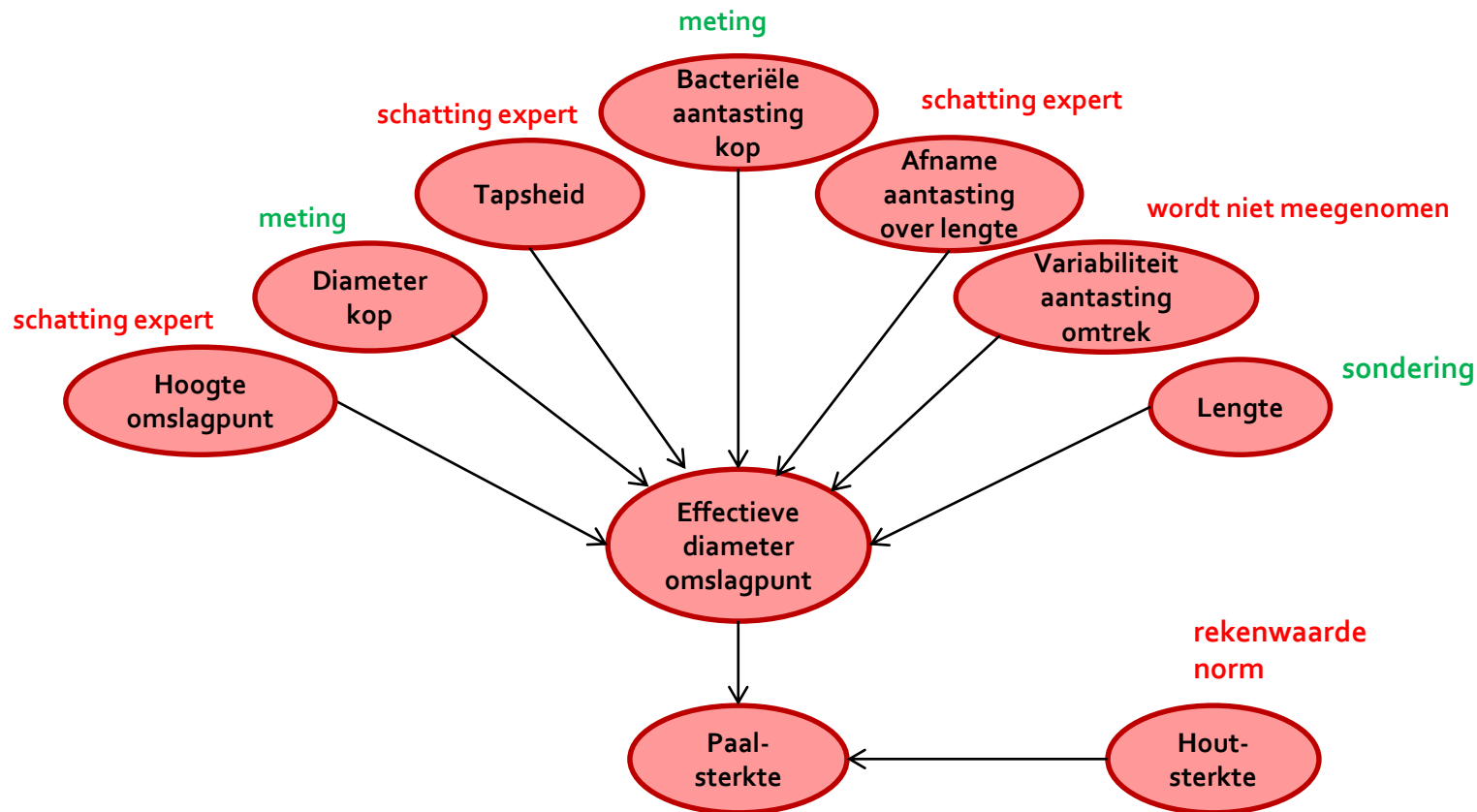


Vervolgonderzoek

- Statistisch rekenmodel (versie 1) voor paalsterkte is gereed!
- Vervolgonderzoek wordt nu opgezet:
 - Betere informatie over inputvariabelen (aannames wegnemen);
 - Paalsterkte in de tijd;
 - En nog meer.

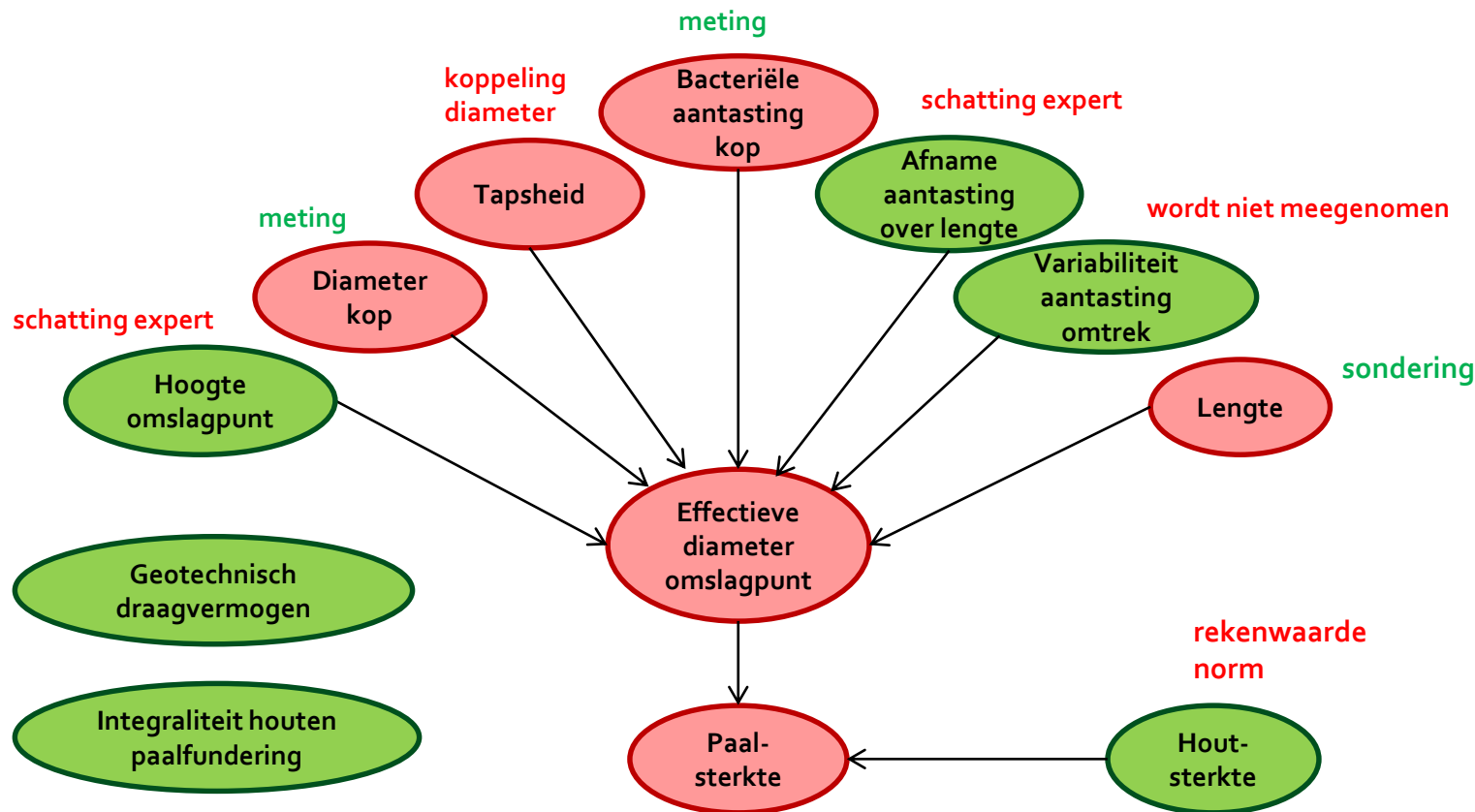


Vervolgonderzoek: aannames wegnemen





Vervolgonderzoek: aannames wegnemen

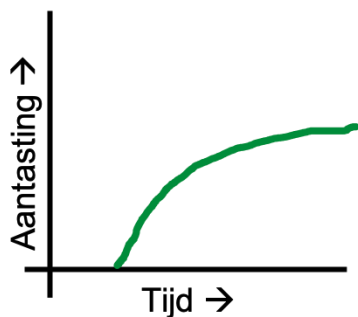


- Onderzoek naar o.a. geotechnisch draagvermogen, houtsterkte en bacteriële aantasting
- Palen trekken

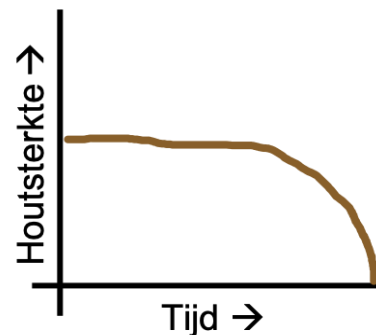


Vervolgonderzoek: paalsterkte in de tijd

- We willen niet alleen weten of de brug nu voldoet, maar ook of de brug over 30 jaar nog veilig is!



Bacteriële aantasting kan toenemen
Effect op aandeel gezond hout in paal



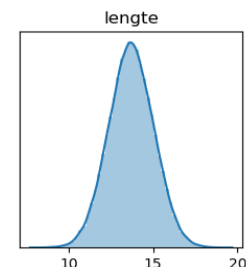
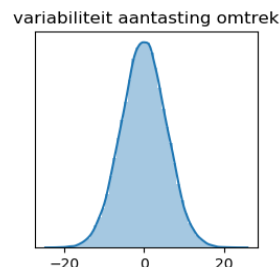
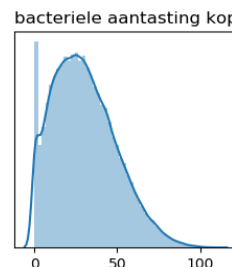
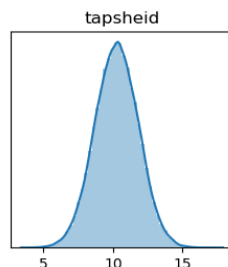
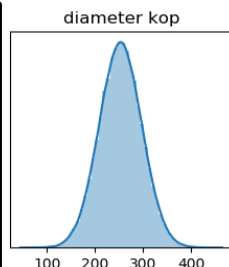
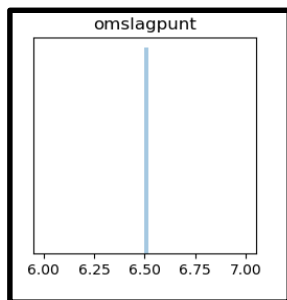
Houtsterkte neemt af in de tijd
Effect op sterkte gezonde hout

- Met onderzoek duidelijkheid verschaffen over deze processen en het effect ervan op de veiligheid van de houten paalfundering.

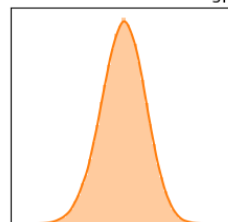


Gevoeligheidsanalyse

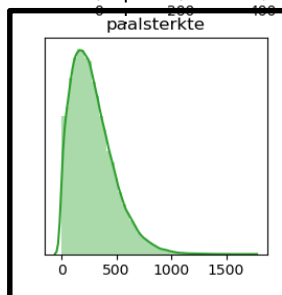
Deterministisch



effectieve diameter omslagpunt



paalsterkte

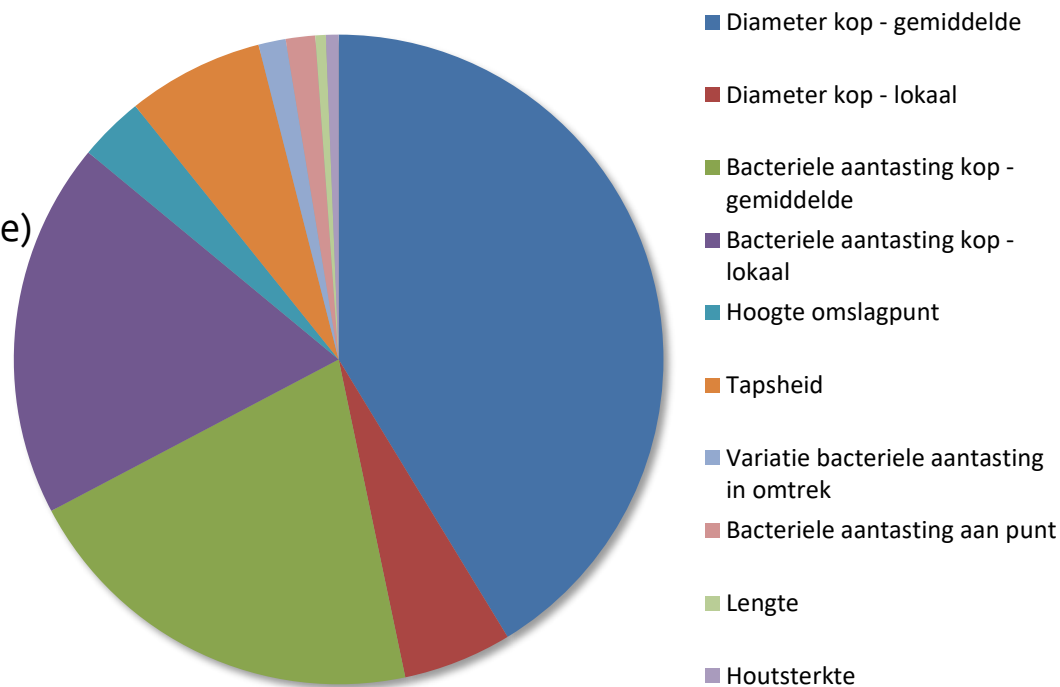




Gevoeligheidsanalyse

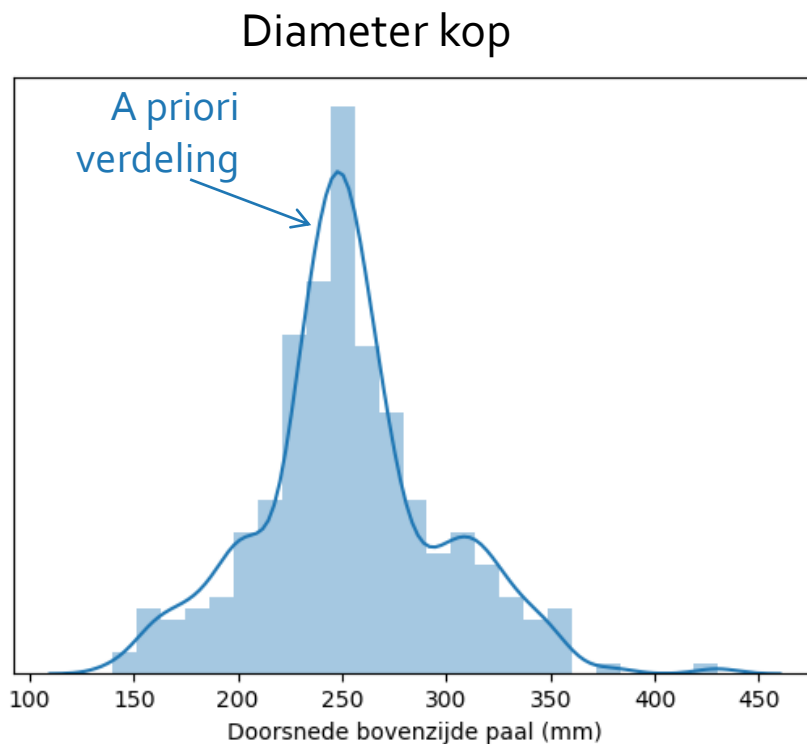
Grootste effect van onzekerheid:

1. Diameter kop (gemiddelde)
2. Bacteriële aantasting kop (gemiddelde)
3. Bacteriële aantasting kop (lokaal)
4. Tapsheid
5. Diameter kop (lokaal)
6. Hoogte omslagpunt
7. Variatie bacteriële aantasting
8. Houtsterkte
9. Lengte





Bayesian inference: effect van meetdata

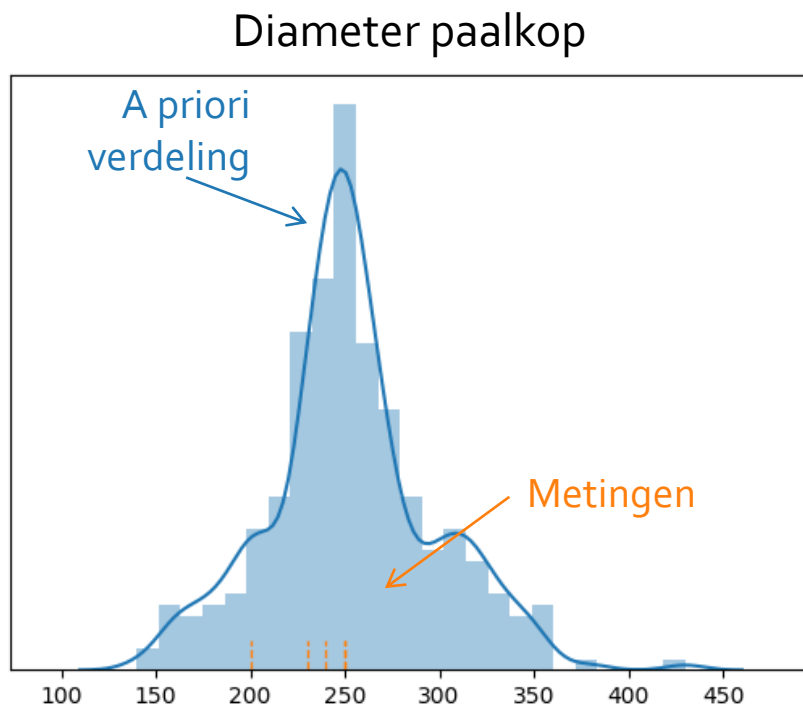


Gemiddelde = 253.6mm

Standaardafwijking (spreiding) = 44.1mm



Bayesian inference: effect van meetdata





Bayesian inference: effect van meetdata

