



Verspreidingspatronen van planten in Gijzenrooi

Henk Everts
met medewerking van Rob Brinkhof en Peter van der Molen

September 2021





INHOUD

1. Samenvatting conclusies vegetatie Gijzenrooi.....	3
2. Historisch perspectief	4
❖ Kwelzones.....	6
❖ Het beeld rondom Gijzenrooi.....	8
3. Verspreidingspatronen van vochtindicerende soorten.....	11
❖ Algemeen beeld	11
❖ Relatie met de hoogtekaart	12
4. BIJLAGE 1: Overzichtsk kaartjes van de verspreiding van enkele indicatorsoorten.....	15
❖ Indicatie soorten aspecten.....	15
5. BIJLAGE 2: Detailkaartjes van de verspreiding van enkele indicatorsoorten.....	19
6. BIJLAGE 3: Het principe van Ghyben-Herzberg.....	24
❖ Formules.....	24
❖ Toepassing	25
❖ Achtergrond.....	26
❖ Geschiedenis.....	26
❖ Referenties	26

1. SAMENVATTING CONCLUSIES VEGETATIE GIJZENROOI

- Door ontginning en drainage - vooral na de oorlog en in de jaren 1960 - zijn veel delen van Gijzenrooi drooggelegd tbv landbouw.
- Daardoor hebben moerassen plaatsgemaakt voor bossen en landbouwpercelen. Vloeiweiden zijn voor lange tijd reguliere landbouwpercelen geweest, die thans weer in gebruik zijn als natuureservaat
- Gijzenrooi had minder kwel dan het Dommeldal.
- In het oostelijk deel van Gijzenrooi: in de Zeggen en het gebied ten zuiden daarvan is nog kwel. De huidige kwel in de Vloeiweiden is minder.
- De kwelindicatoren in Gijzenrooi wijzen vooral op algemene kwel van basenhoudend grondwater, in beperkte mate van zeer diep grondwater, en ook niet een al te sterke flux.
- Diepere stromen hebben in Gijzenrooi nog maar een beperkte invloed op het gebied.
- De verspreidingen van enkele indicatorsoorten geeft aan dat Gijzenrooi op de zuidrand ligt van een gebied met een geredde afvoer. Een dergelijk systeem koestert als het ware haar basen en houdt ze stevig vast. Het zullen in belangrijke mate afvoerloze laagten zijn geweest.
- Voeding voor het gebied is alleen maar denkbaar vanuit het zuiden aan de zuidkant van de A67, hoewel ook dit gebied ernstig is verdroogd.
- Alleen Waterviolier wijst op aanvoer van CO₂ rijk grondwaterdoor diepere stromen in ondiepe, geneste systemen. De overige soorten wijzen op een matige flux van (voormalige) algemene kwel van basenhoudend grondwater.
- Ook laat Riet zien dat er langs allerlei hogere ruggen in het gebied water uittreedt als gevolg van laterale grondwater (af)stroming. Dit wijst dus vooral op opbolling van het grondwatervlak in de rug zelf.
- Riet laat zien dat er langs allerlei hogere ruggen in het gebied nog altijd water uittreedt en het reliëf in Gijzenrooi nog altijd grondwaterstroming genereert.
- Aan de randen van ruggen lijkt grondwaterwater lateraal af te stromen.
- Kwelindicatoren ontbreken op deze plekken omdat de diepere systemen hier nauwelijks nog werken.
- De invloed van de diepe systemen is grotendeels weggevallen en treedt mogelijk alleen nog op in De Zeggen en Vloeiweide.
- Ook diepere stromen van de geneste systemen lijken nauwelijks nog te werken

2. HISTORISCH PERSPECTIEF

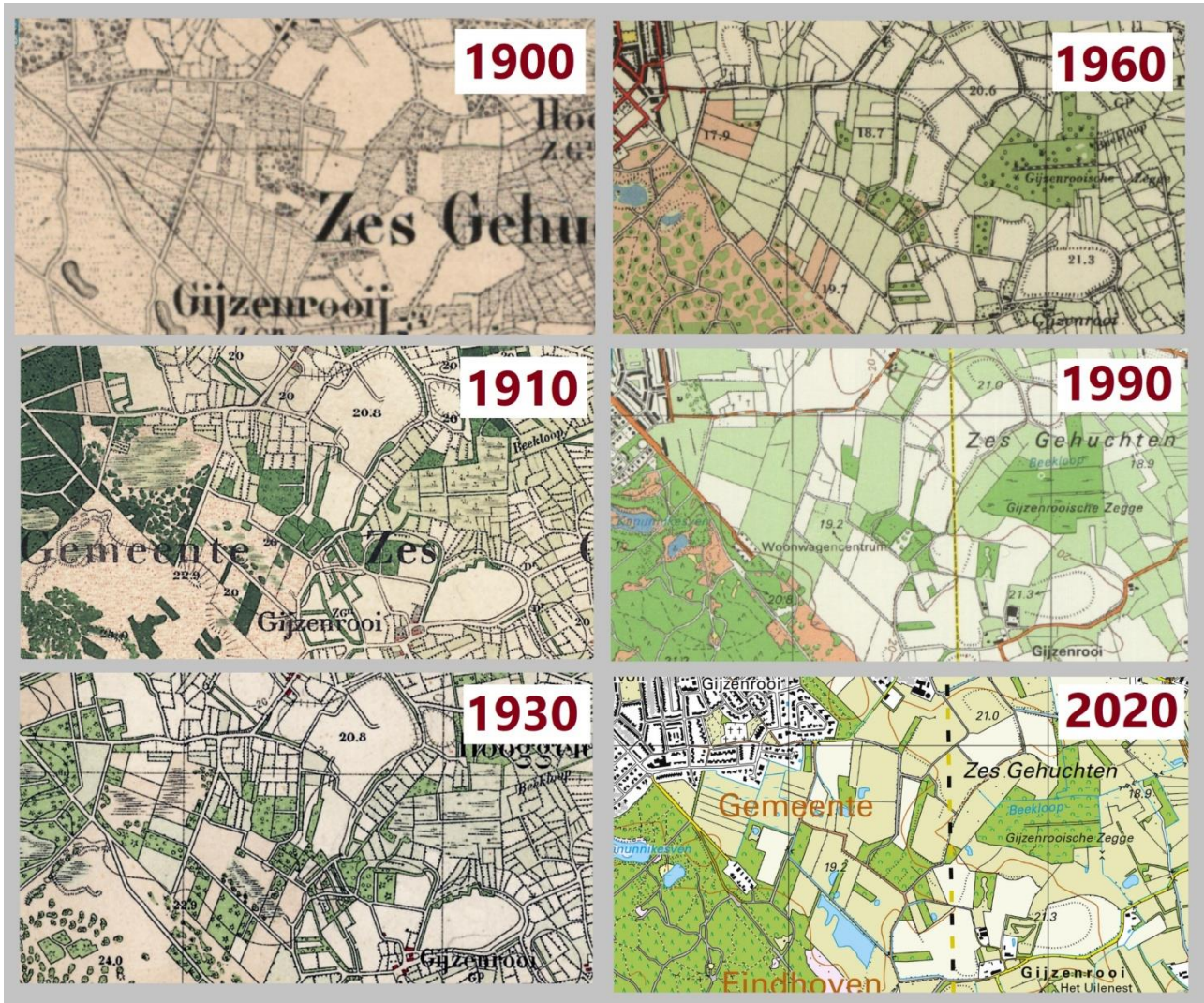
Uit de historische kaart rond 1900 kan het een en ander worden afgeleid over de hydrologie van Gijzenrooi. De belangrijkste landschapselementen zijn de essen die gebonden zijn aan de dekzandruggen in het gebied, de heiden die aan de noord- en oostkant voorkomen en het graslandgebied dat voorkomt in de lagere delen en dalen van het gebied en zich kenmerken door een redelijk dicht slotenpatroon en tenslotte nog de twee moerassen (rode cirkels: de vloeiveiden (links) en de zeggen (rechts)).

De Zeggen bestond 120 jaar geleden nog niet uit broekbos zoals tegenwoordig het geval is. De verbossing heeft pas na 1950 plaatsgevonden en naar het zich laat aanzien is in ca 10 jaar tijd het huidige broekbos ontstaan (bron: Topotijdreis: <https://www.topotijdreis.nl/>). Aan de verbossing ligt waarschijnlijk ontwatering ten grondslag. Men mag aannemen dat het moeras voorheen zo nat was dat groei van bomen niet mogelijk was. De toponiem "Zeggen" suggereert dat destijds sprake van een (mesotroof) zeggenmoeras. De ondergroei van het huidige broekbos is daarvan nog een afspiegeling.

In de Vloeiveiden is de omvorming van moeras naar grasland vanaf 1930 veel geleidelijker gegaan. Door ontginning en ontwatering is het moeras stapsgewijs omgezet in grasland waartoe sloten zijn gegraven. Pas in de loop van de jaren 1960 was het in haar geheel omgevormd. Lokaal is er nog een aantal soorten te vinden zoals Veldrus en soorten als Pilvaren, Moeraswolfsklauw en Gentiaan - in het deel dat nu is aangegeven als Vochtige heide.



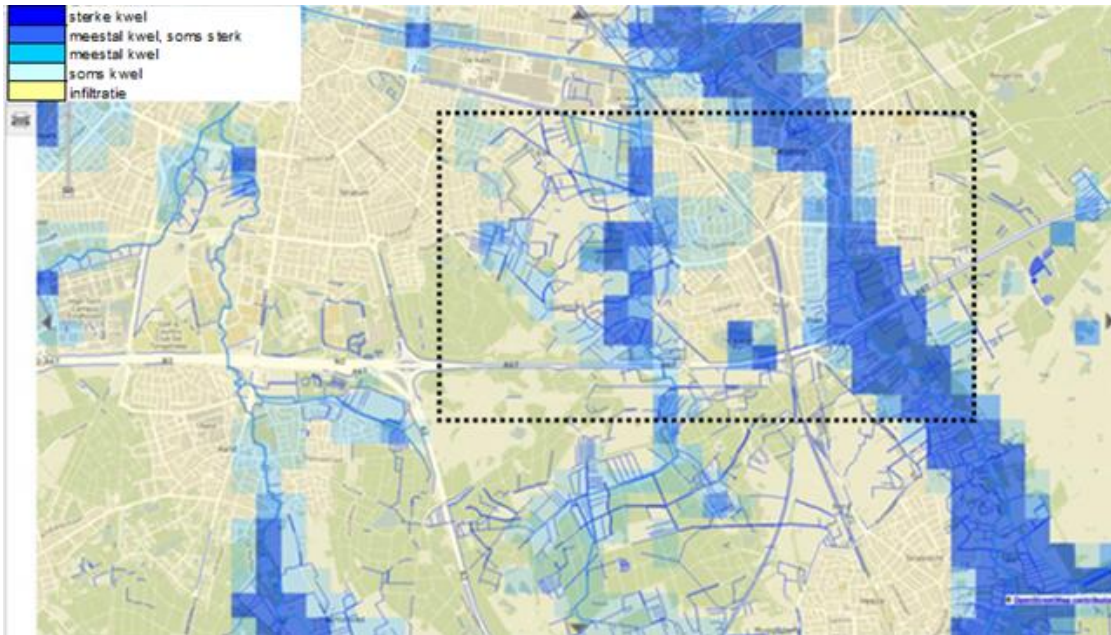
Figuur 1. Topografische kaart van Gijzenrooi e.o. omstreeks 1900 met begrenzing van plangebied. Cirkels: Vloeiveiden (links), Zeggen (rechts)



Figuur 2 Historische ontwikkeling in Centraal Gijzenrooi (Bron: Topotijdreis).

CONCLUSIE

- Door ontginning en drainage - vooral na de oorlog en in de jaren 1960 - zijn veel delen van Gijzenrooi drooggelegd tbv landbouw.
- Daardoor hebben moerassen plaatsgemaakt voor bossen en landbouwpercelen. Vloeiweiden zijn voor lange tijd reguliere landbouwpercelen geweest, die thans weer in gebruik zijn als natuureservaat

❖ **Kwelzones.**

Figuur 3. Hydrologische kaart van kwel situatie. Vak is begrenzing kaart van fig. 1. (Bron Stuurman)

Graslanden op de historische kaart zijn gebonden aan de kwelzones in het landschap (vgl. Everts en de Vries, 1991). Ook de twee genoemde moerassen behoren tot deze zones. Een vergelijking van het slotenpatroon in Gijzenrooi met dat in de Kleine Dommel (rechts op de kaart) maakt duidelijk dat de kwelsituatie in beide gebieden verschilde. Het dichtere patroon in de Kleine Dommel geeft aan dat daar de kwelintensiteit groter was dan in het graslandgebied van Gijzenrooi. Dat verschil wordt geïllustreerd door de hydrologische kaart met de berekende kwelintensiteit.

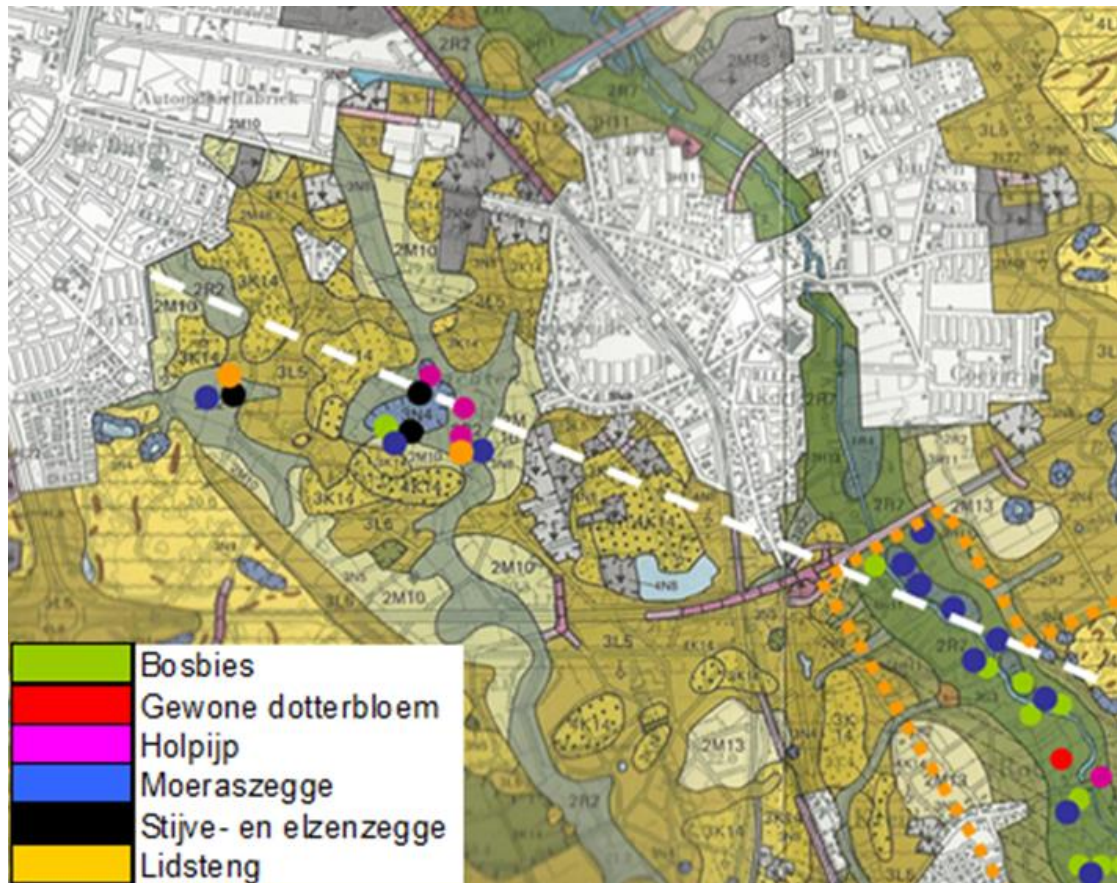
De kwelkaart indiceert waarop op dit moment nog de meeste kwel zit. Dat is in het oostelijk deel van Gijzenrooi: in de Zeggen en het gebied ten zuiden daarvan. De huidige kwel in de Vloeiweiden is minder.

Hoe hangt de vegetatie samen met de geschetste hydrologische situatie of beter hoe hangt de verspreiding van planten er mee samen. Het antwoord op deze vraag kunnen we onder meer afleiden uit Floron verspreidingskaarten op uurhokbasis, waarvan de gegevens teruggaan tot het begin van de vorige eeuw. Het is weliswaar een grof meetnet met weinig detail maar het geeft wel informatie over de algemene hydrologische condities.

Zeer uitgesproken kwelindicatoren als Gewone dotterbloem, Bosbies en Holpijp waren in Gijzenrooi en haar wijde omgeving vroeger algemeen, maar de schaal van het uurhok laat niet toe om op basis van deze soorten kwel- en infiltratiezones te onderscheiden. Wel kunnen we eruit afleiden dat kwel een dominante invloed had op de vegetatiesamenstelling van de natte delen van Gijzenrooi. In het huidige Gijzenrooi is de verspreiding van deze soorten nog altijd een afspiegeling van de hydrologie, hoewel veel erop wijst dat het in zeer negatieve zin is beïnvloed.

CONCLUSIE:

- Gijzenrooi had minder kwel dan het Dommeldal.
- In het oostelijk deel van Gijzenrooi: in de Zeggen en het gebied ten zuiden daarvan is nog kwel. De huidige kwel in de Vloeiweiden is minder.



Figuur 4. Actuele verspreiding kwelindicatoren Gijzenrooi en Kleine Dommel. (Bron: Gijzenrooi: Stichting Bargerveen, 2019; Ecoresult, 2019; IVN werkgroep Geldrop; Kleine Dommel: Everts et al. 2012).

- **Bosbies** indiceert een grote kwelflux maar is indifferent naar de waterkwaliteit.
- **Moeraszegge** is afhankelijk van toestroom van basenrijk (diep) grondwater en is daarbij veelal sprake van een grote kwelflux.
- **Dotterbloem, Holpijp, Stijve zegge** en **Elzenzegge** zijn algemene kwelindicatoren van basenhoudend grondwater.
- **Lidsteng** is elders in het pleistocene deel van Nederland gebonden aan de kwel van (zeer) diep grondwater waarbij ook een invloed wordt verondersteld van diep zout water. In Oost Brabant toont haar verspreiding een verband met breuken in de ondergrond. De Floran kaart geeft aan dat Lidsteng in Gijzenrooi mogelijk antropogeen is.
- De witte stippellijn indiceert een mogelijke kleine breuklijn, dat niet als bewezen wordt beschouwd.

De kwelindicatie is tegenwoordig nog beperkt tot de Zeggen zelf en de Vloeiweiden waarbij in het laatste gebied de soorten wijzen op een geringere flux dan in de Zeggen¹. Hieronder is ook de verspreiding van kwelindicatoren in een deel van de Kleine Dommel weergegeven (bron Everts et al. , 2012). Hier indiceren de soorten dat de kwelinvloed nog prominenter is. Bovendien is het patroon van kwelindicatoren in de Kleine Dommel niet aaneengesloten maar onderbroken. Dat indiceert kleine breuken in de ondergrond.

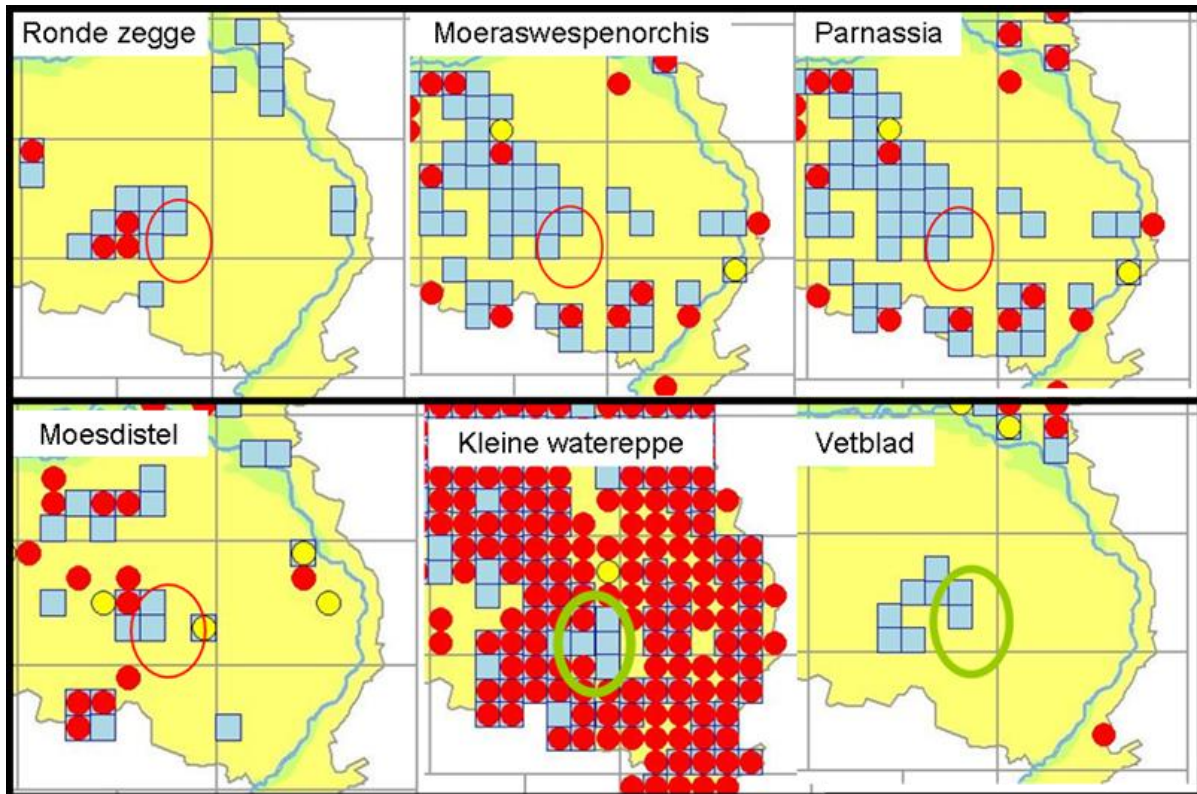
CONCLUSIE:

- De kwelindicatoren in Gijzenrooi wijzen vooral op algemene kwel van basenhoudend grondwater, in beperkte mate van zeer diep grondwater, en ook niet een al te sterke flux.

¹Sander Hunink en Tim Faasen. 2019. Beheerplan Gijzenrooische Zegge, Grootte Heide en Heezerven 2019-2028 - in opdracht van Brabants Landschap. Ecologica 108 pp.

❖ *Het beeld rondom Gijzenrooi*

De Floron atlas geeft ook andere relevante informatie. In Gijzenrooi en de wijdere omgeving daarvan kwamen veel soorten voor die wijzen op zeer basenrijke omstandigheden in het verleden.



Figuur 5. Floron-verspreidingskaarten op uurhoek basis. Blauwe vakken zijn waarnemingen van voor 1990. Rode stippen zijn waarnemingen van na 1990².

M.u.v. Kleine watereppe en Moesdistel indiceren de soorten (zeer)basenrijke omstandigheden. Deze condities vallen te verklaren uit de combinatie van kwelomstandigheden waarbij:

- 1) (al dan niet diep)basenrijk grondwater toestroomt,
- 2) er een geremde afvoer van het kwelwater is, waarbij de verdamping leidt tot een hogere concentratie van basen in de wortelzone.

Het systeem met een geremde afvoer koestert als het ware haar basen en houdt ze stevig vast. Het zullen in belangrijke mate afvoerloze laagten zijn geweest. De soortverspreidingen geven aan dat Gijzenrooi op de rand van een dergelijk gebied ligt. In de grotere beekdalen is dit niet het geval geweest omdat het accent hier veeleer ligt op de afvoer van kwelwater en daarmee ook die van de basen. De genoemde soorten komen daarom veel minder voor in de Kleine Dommel. Wel wijzen kwelindicatoren hierop toestroom van basenrijk grondwater. Dat zijn bijv. Moeraszegge en Moesdistel die kenmerkend zijn voor een basenrijk variant van het Dotterbloemhooiland.

Kleine watereppe indiceert een relatief hoge kwelflux in beekdalen. Dat geldt ook voor Moesdistel en Moeraszegge hoewel daarbij ook basenrijk grondwater nodig is. De verspreidingsgegevens van Kleine watereppe laten zien dat in Gijzenrooi e.o. deze soort al voor 1990 is afgenomen, voor Moesdistel was dat al eerder in de jaren 1970-1980. Dat indiceert dat ingrepen in het landschap de kwelsituatie aanzienlijk hebben veranderd en verslechterd. In 1990 zijn in dit deel van Brabant ook de basenrijke soorten al lang verdwenen.

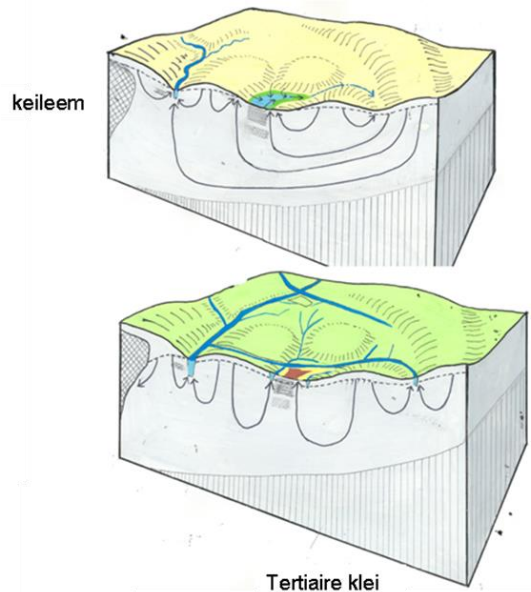
²Zie ook: Rensen-Bronkhorst, R. 1990. Atlas van de flora van Eindhoven 1980-1989. KNNV afd. Eindhoven. III, Best. ISBN 90-9005836-2

Voor Vetblad, Moeraswespenorchis, Ronde zegge en Parnassia is dat proces in gang gezet in de periode 1940-1950.

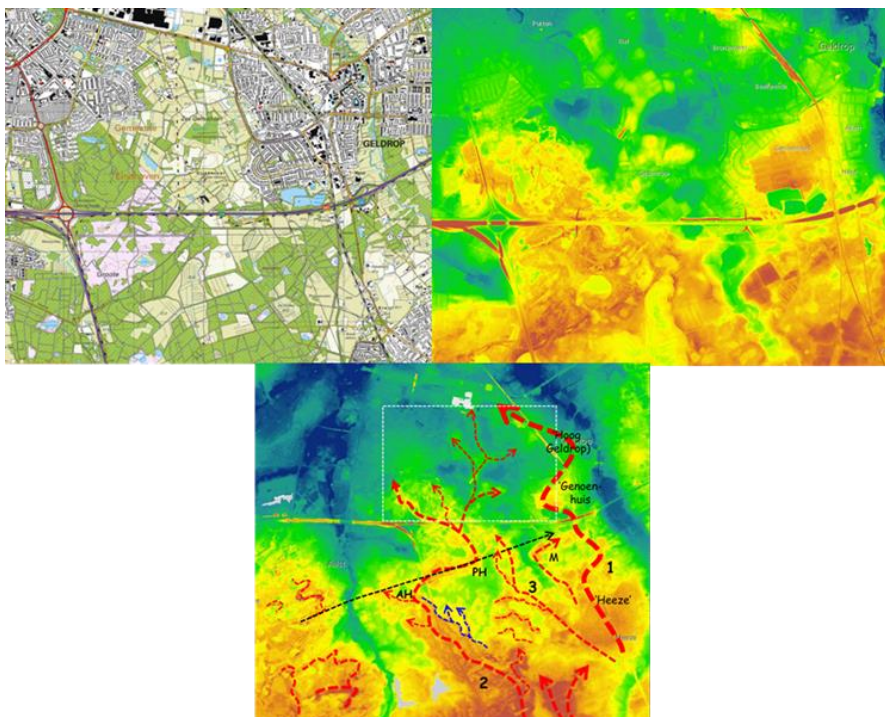
Het algemene beeld dat ontstaat, is dat de hydrologische situatie voor kenmerkende natuur van Gijzenrooi zeker de afgelopen 30 jaar aanzienlijk is verslechterd door allerlei ingrepen in het landschap die hebben geleid tot ernstige verdroging. De ontwikkeling in de verspreiding van indicatoren wijst op

- 1) Vermindering van de kwelflux,
- 2) Verkleining van de kwelzone en op
- 3) Verandering in kwelstromen waarbij de invloed van diepe kwelstromen naar de achtergrond zijn gedrongen en ondiepere waarschijnlijk meer op de voorgrond zijn gekomen.

Diepere stromen hebben nog maar een beperkte invloed op het gebied. De oorzaken daarvan zijn elders verwoord, waarbij het vooral gaat om (boven)regionale ontwatering en waterwinning. Ook is niet uitgesloten dat de ondiepere grondwaterstromen inde lokale geneste systemen nog maar beperkt van invloed zijn. Deze stromen zijn afhankelijk van de hogere infiltratiegebieden in de directe omgeving van Gijzenrooi maar mogelijk ook van de dekzandruggen in het gebied zelf. De figuur hiernaast schetst een beeld van het hydrologische effect door regionale ingrepen in de waterhuishouding. De invloed van ondiepere systemen wordt daarbij groter.



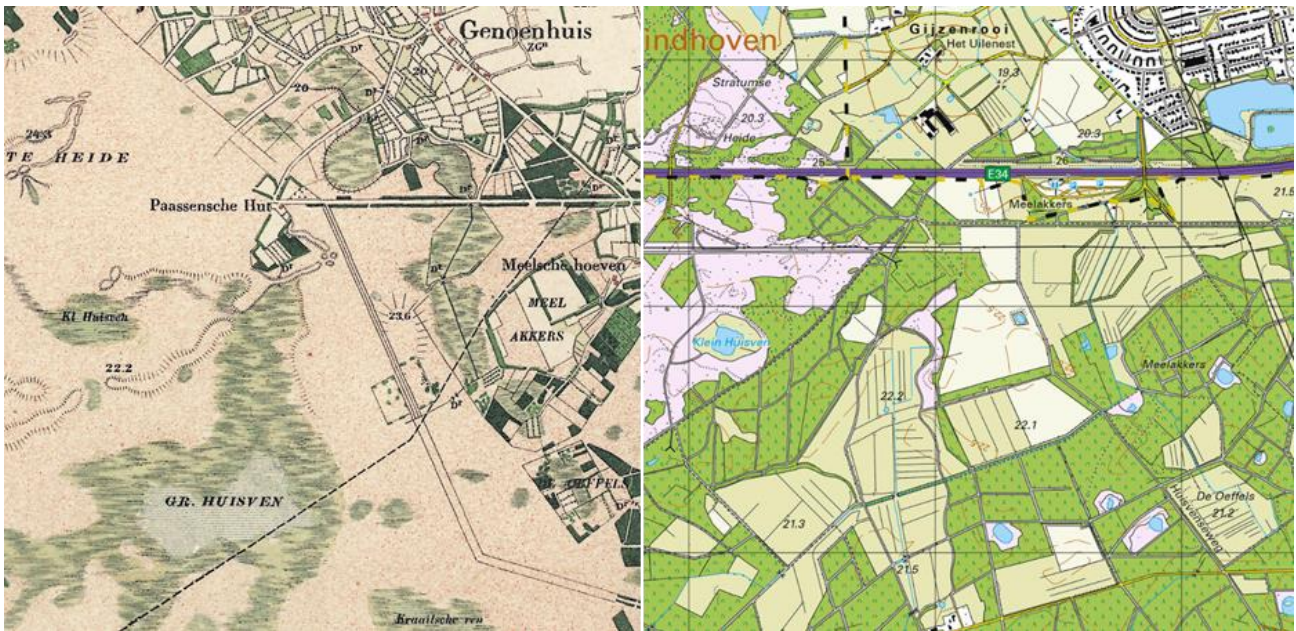
Figuur 6. Schematische weergave hoe door ingrepen in het landschap de waterhuishouding verandert en daarmee de invloed op een kwelgebied (boven weinig aangetast landschapssysteem, onder aangetast systeem). Voorbeeld: reconstructie van het Mokkelengoor nabij Almelo (Grootjans et al. 2004).



Figuur 7. Huidige situatie van Gijzenrooi anno 2020 (boven links). Gijzenrooi ligt inmiddels ingeklemd in stedelijk gebied door de uitbreidingen van Eindhoven en Geldrop op de hogere gronden op de flank. De drooglegging van stedelijk gebied tast de lokale hydrologische systemen aan met als gevolg minder voeding vanuit deze systemen. Toestroom van grondwater kan nog alleen worden verwacht uit het zuidelijke gebied met nog veel natuur.

Vernattingsmaatregelen in het zuidelijk gebied zouden perspectieven kunnen bieden voor eventueel verbetering van de waterhuishouding van Gijzenrooi. De pijlen in de figuur hierboven geven het verloop van ruggen weer waarin een bolling van het grondwater optreedt, wat vervolgens zijdelings uit kan treden. Maatregelen om de grondwaterstand in deze ruggen beter te bufferen zouden kunnen leiden tot minder verdroging en een beter behoud en herstel van grondwaterafhankelijk natuur.

De bovenstaande figuur geeft aan dat voeding van grondwater voor Gijzenrooi alleen nog denkbaar is uit het zuidelijk gebied ook omdat daar nog veel natuur is. Maar ook daar lijkt/is het landschap t.o.v. de natuurlijke situatie ernstig verdroogd bijv. door de drooglegging van de (Groot) Huisven-complex rond 1930 t.b.v. de landbouw (hieronder).



Figuur 8. Situatie rond het Huisven-complex en omgeving anno 1900 en 2020. Het Groot Huisven is rond 1930 drooggelegd en ontgonnen. Merk op dat in het oostelijke dalletje mogelijke sporen zijn te zien van bevoeiings-systemen waarvan ook in 2020 de 6 hoekige structuur een restant is.

CONCLUSIE:

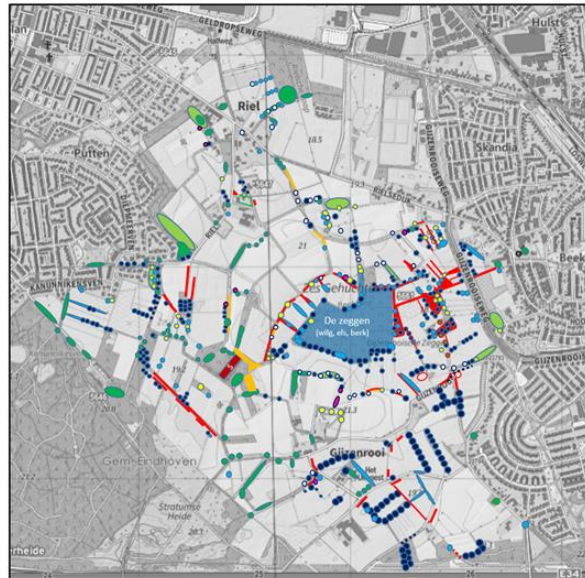
- Diepere stromen hebben in Gijzenrooi nog maar een beperkte invloed op het gebied.
- De verspreidingen van enkele indicatorsoorten geeft aan dat Gijzenrooi op de zuidrand ligt van een gebied met een geremde afvoer. Een dergelijk systeem koestert als het ware haar basen en houdt ze stevig vast. Het zullen in belangrijke mate afvoerloze laagten zijn geweest.
- Voeding voor het gebied is alleen maar denkbaar vanuit het zuiden aan de zuidkant van de A67, hoewel ook dit gebied ernstig is verdroogd.

3. VERSPREIDINGSPATRONEN VAN VOCHTINDICERENDE SOORTEN

❖ Algemeen beeld

In 2020 is door Rob Brinkhof veel werk verricht om relevante indicatorsoorten in Gijzenrooi in kaart te brengen. De figuren hieronder en in meer detail in de Bijlage zijn daarvan het resultaat.

Figuur 9. Verspreiding van indicatorsoorten in Gijzenrooi



Legenda

●	Zwarte els
⋯	idem opslag
●	Wilg (smalbladig)
—	idem opslag/rij
●	Es
●	Klimop
○	Hazelaar (niet volledig)
○	Vlier
●	Hop
—	Riet (land)
—	Adelaarsvaren
●	Gele lis (niet volledig)
○	Waterviolier
—	Stort berk, wilg en riet

Bij de inventarisatie zijn vooral soorten in kaart gebracht die door hun diepe wortels in verbinding staan met grondwater. Het zijn geen strikte kwelindicatoren maar wel soorten die veelal een relatief hoge pH aangeven, wat verband houdt met de (vroegere) beïnvloeding van basenrijk grondwater. Alleen **Waterviolier** is in de gekarteerde groep nog als een strikte kwelindicator te beschouwen, andere kwelindicatoren zijn al eerder in kaart gebracht.

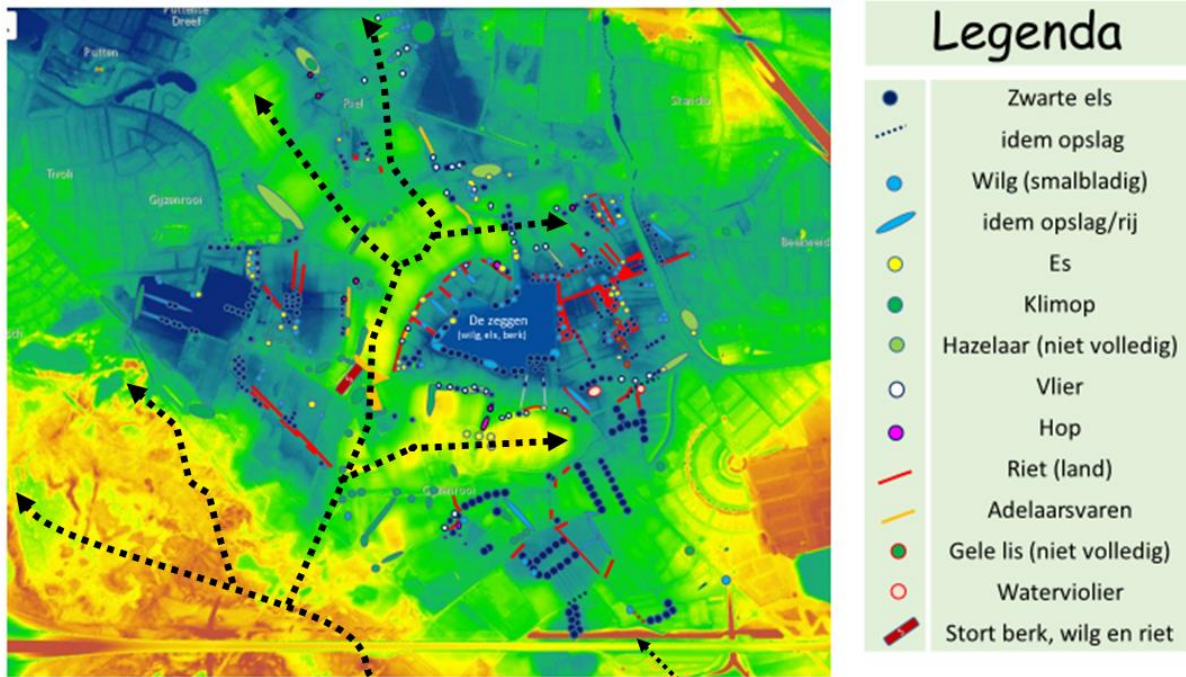
Els is afhankelijk van een relatief hoge pH, uiteraard onder voldoende natte omstandigheden. In beekdalen neemt ze vaak een andere zone in dan haar tegenhanger **Berk** die aan zones is gebonden waarin de invloed van basenarm regenwater dominant is. De verspreiding van **Els** laat zien dat zij gebonden is aan de kwelzones zoals weergegeven. De ervaring leert dat ze zich lang kan handhaven omdat de pH ondanks het wegvallen van de kwel redelijke op orde blijft. **Berk** is in Gijzenrooi veel zeldzamer en in haar verspreiding niet alleen beperkt tot de hoge vuilstort (een ultieme infiltratie plek) maar ook tot de Zeggen waar zij door de vermindering van kwel en regenwaterlensvorming de kans krijgt zich te vestigen.

Wilgen Es komen grotendeels onder dezelfde natte condities voor als de **Els**, **Es** staat wat droger maar heeft ook een hogere pH nodig. Het zijn echter geen strikte kwelindicatoren

Klimop staat hoger en droger maar is als fertiele klimop (kenmerkend is dat zij langs de stam van bomen omhoog klimt en met een andere bladvorm) wel gebonden aan basenhoudend grondwater dat wat dieper zit. **Hazelaar** en **Vlier** tonen een vergelijkbaar patroon, zij houden van vochtige relatief basenrijke standplaatsen.

CONCLUSIE:

- Alleen Waterviolier wijst op aanvoer van CO₂ rijk grondwater door diepere stromen in ondiepe, geneste systemen. De overige soorten wijzen op een matige flux van (voormalige) algemene kwel van basenhoudend grondwater.
- Ook laat Riet zien dat er langs allerlei hogere ruggen in het gebied water uittreedt als gevolg van laterale grondwater (af)stroming. Dit wijst dus vooral op opbolling van het grondwater vlak in de rug zelf.

❖ *Relatie met de hoogtekartaart*

Figuur 10. Verspreiding van indicatorsoorten in Gijzenrooi in relatie tot de hoogtekartaart. De zwarte pijlen geven aan in welke ruggen stromingen worden verondersteld.

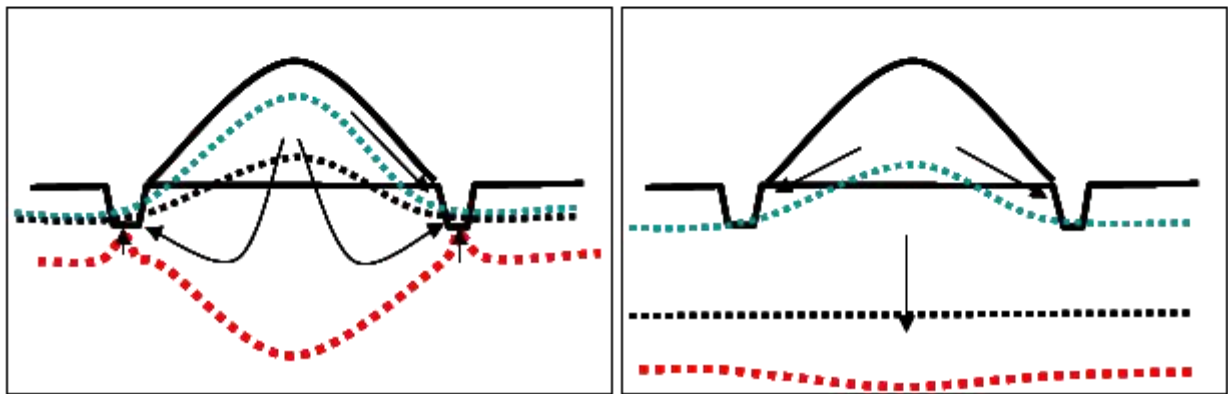
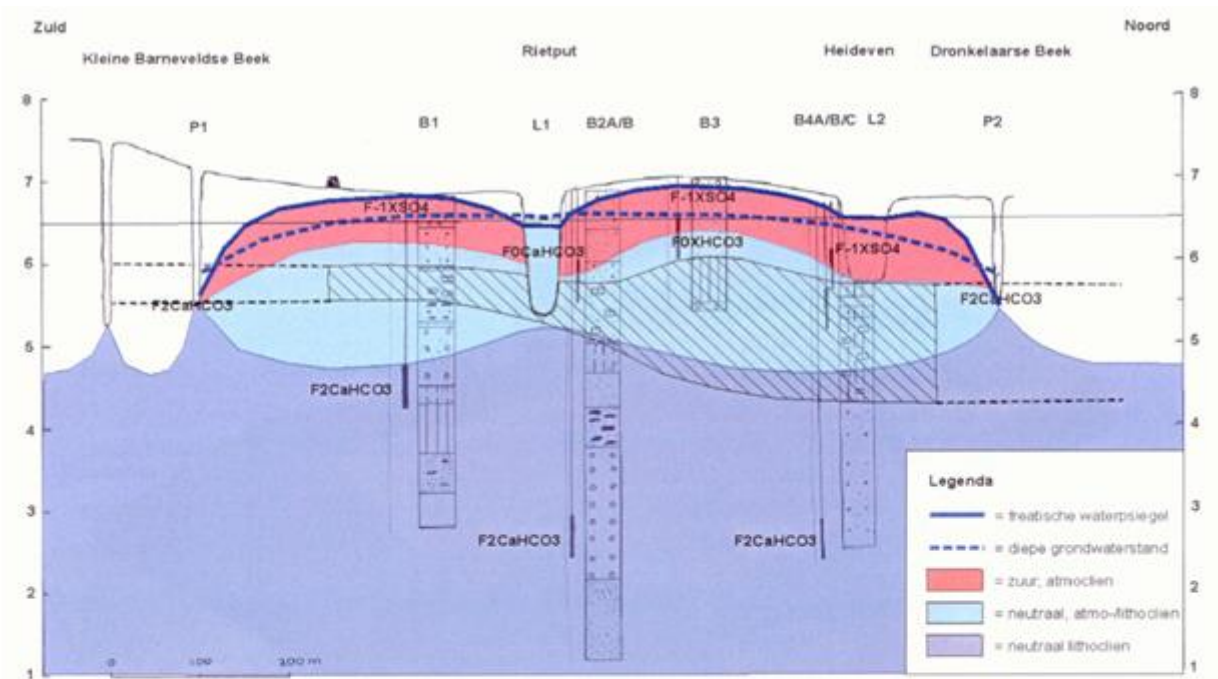
In dit onderzoek wordt uitgegaan van het concept dat de ruggen in en om Gijzenrooi een watergeleidende functie hebben (gehad). Er wordt ook een samenhang verondersteld met de genese van de ruggen.

De patronen hierboven laten een relatie zien met het reliëf. **Els** zit zoals al aangegeven in de laagten of in doorsnijdingen van ruggen. Soorten die op de flank van de ruggen voorkomen zijn **Riet**, **Adelaarsvaren** en **Klimop**. Ze geven aan dat op de randen van de ruggen dat de grondwaterstand relatief hoog is. De verspreiding van Riet suggereert ook dat de hoefijzer centraal in het gebied (de Zeggen) naar het oosten water verliest. Om dat de zeggen zowel vroeger als nu nog kwelindicatie heeft wijst op een kwelkrater dat vergelijkbare patronen heeft als bij de Mokkelengoor. Het Mokkelengoor is in de literatuur beschreven als een pingoruïne, maar de moeraskalkafzetting in het centrum van de hoefijzer indiceert dat er voorlange tijd toestroming van kalkrijk water is geweest. Een kwelkrater kan derhalve worden beschouwd als een stromende variant van de klassieke pingoruïne die zich kenmerkt door een stabiele ijslens.

Een bijzonder patroon daarin toont **Riet**. Deze soort indiceert in pleistocene delen van ons land veelal laterale grondwaterstroming. Er lijkt een relatie met de pijlen in de figuur. **Riet** zit vaak in sloten aan de lage kant van de ruggen waarin (af)stroming wordt verondersteld, ook regelmatig in het verlengde van waar de ruggen ophouden.

Om deze ruggen beter te begrijpen moeten we kijken naar de bolling van grondwaterlichamen:

- De **freatische waterspiegel** (blauw gestippeld) wordt beïnvloed door
 - reliëf (het verloop van het maaiveld) en
 - de stijghoogte van het **diepe grondwater** (zwarte stippellijn), de stijghoogte is een soort "opwaartse druk". (Vergelijk dit plaatje met de bovenste figuur).
- Beide spiegels worden beïnvloed door de drainerende sloten.
- De **rode stippellijn** geeft het **grensvlak weer van het basenrijke schone diepe grondwater en het freatisch grondwater** en de mengzone tussen beide.



Figuur 11. De hydrologie van een Rug in Geldersche vallei (Bell en Hullenaar, 2000) en de nadere schematisatie van de verandering in waterhuishouding in een weinig en sterk beïnvloed systeem (resp. links- en rechtsonder).

De figuur linksonder geeft aan dat het ondiepe water met haar buik in het diepe grondwater ligt. Het principe van Badon-Ghyben-Herzberg ligt hieraan ten grondslag zoals we dat kennen van het zoete waterlichaam in de duinen van ons land, dat met een diepe buik in het zoute grondwater ligt. In het pleistocene deel van ons land is de dikte van de buik echter beduidend minder omdat het principe dichtheid (concentratie opgeloste ionen in water) gestuurd is. Freatisch en diep grondwater hebben een veel minder groot dichtheidsverschil dan zoet en zout water in de duinen (daar leidt het verschil tot een 40 maal dieper buik dan de hoogte van het duin boven de zeespiegel). Een waterlichaam onder dekzandruggen is op meerdere plekken aangetoond zoals in Klein Bieler (zie de bovenste figuur) en het Mantingerbos.

Het schema rechtsonder geeft de beïnvloede situatie weer waar de stijghoogte van het diepe systeem flink is gezakt. De stijghoogte van het diepere grondwater is niet sterk genoeg meer om dat water het oppervlak te laten bereiken. Daar treedt nu alleen freatisch grondwater uit in de sloten, dat veelal afkomstig zal zijn van regenwater.

Door de oogharen heen lijkt Riet afhankelijk van de hoogteverschillen tussen rug en laagte, waarbij de sturende factor de hogere grondwaterstand in de rug is: dat genereert stroming en als dat water uittreedt dan zal Riet een dergelijke plek in het landschap onmiddellijk gaan benutten.

In de figuur hierboven wordt dus geschetst dat onder optimale omstandigheden (met een hoge stijghoogte van het diepe grondwater onder het reliëf van de rug) er net als in de duinen -een regenwaterlens ontstaat. Dat vormt een zogenaamd genest systeem. De hoogte van de rug t.o.v. de stijghoogte van het diepe grondwater is daarbij leidend. Aangevoerd is dat het water in het geneste lichaam vaak bestaat uit licht vervuild atmosferisch grondwater en een mengvorm van dit water met het diepere schone grondwater. In principe kan in dit geneste systeem ook een diepere grondwaterstroming optreden (gebogen pijl). Aangenomen wordt dat Waterviolier hiervan afhankelijk is. Echter ook een laterale oppervlakkige grondwaterstroom is denkbaar (rechte pijl richting sloot). Verondersteld wordt dat Riet vooral daarop reageert.

Als de stijghoogte van het diepe grondwater is gezakt heeft dat meerdere gevolgen, waaronder:

1. Het diepe grondwater verliest geen water meer aan de sloten (kwel).
2. Het geneste systeem wordt onderuitgehaald waardoor de grondwaterspiegel van het freatisch pakket lager komt te liggen.
3. Het aannemelijk is dat het freatische pakket meer gaat infiltreren en minder of geen kwel meer optreedt naar de sloten.
4. Alleen bij veel neerslag en bij voldoende laterale voeding (stroomrug) kan er nog een kleine opbolling ontstaan. Dat is uiteraard afhankelijk van de doorlatendheid van het pakket, die een weerstand vormt voor de infiltratie.
5. In zo'n situatie is alleen laterale afstroming nog plausibel niet de diepere stroming in het geneste systeem.

Als we naar de verspreiding van Riet kijken ziet het er naar uit dat het reliëf in Gijzenrooi nog altijd grondwaterstroming genereert. Aan de randen van ruggen lijkt grondwaterwater lateraal af te stromen. Kwelindicatoren ontbreken op deze plekken omdat de diepere systemen hier nauwelijks nog werken.

De invloed van de diepe systemen is grotendeels weggevallen en treedt mogelijk alleen nog op in De Zeggen en Vloeiweide. Ook diepere stromen van de geneste systemen lijken nauwelijks nog te werken, alleen het lokaal voorkomen van Waterviolier zou daar nog op kunnen wijzen.

CONCLUSIE:

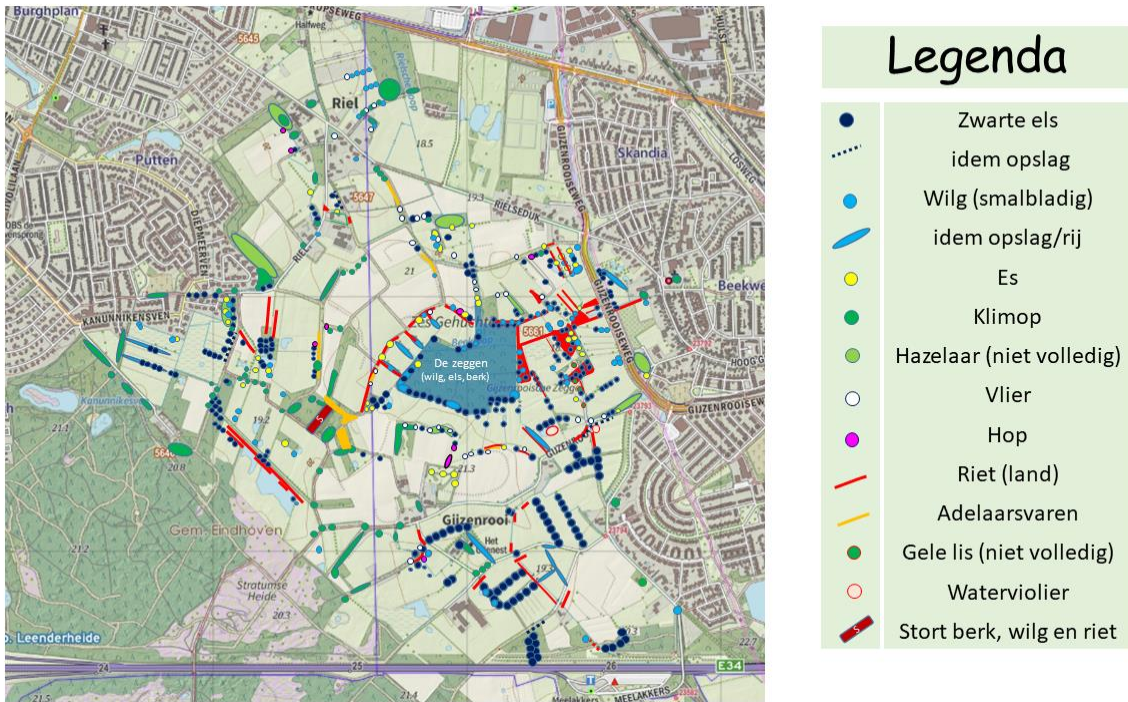
- Riet laat zien dat er langs allerlei hogere ruggen in het gebied nog altijd water uittreedt en het reliëf in Gijzenrooi nog altijd grondwaterstroming genereert.
- Aan de randen van ruggen lijkt grondwaterwater lateraal af te stromen.
- Kwelindicatoren ontbreken op deze plekken omdat de diepere systemen hier nauwelijks nog werken.
- De invloed van de diepe systemen is grotendeels weggevallen en treedt mogelijk alleen nog op in De Zeggen en Vloeiweide.
- Ook diepere stromen van de geneste systemen lijken nauwelijks nog te werken

4. BIJLAGE 1: OVERZICHTSKAARTJES VAN DE VERSPREIDING VAN ENKELE INDICATORSOORTEN

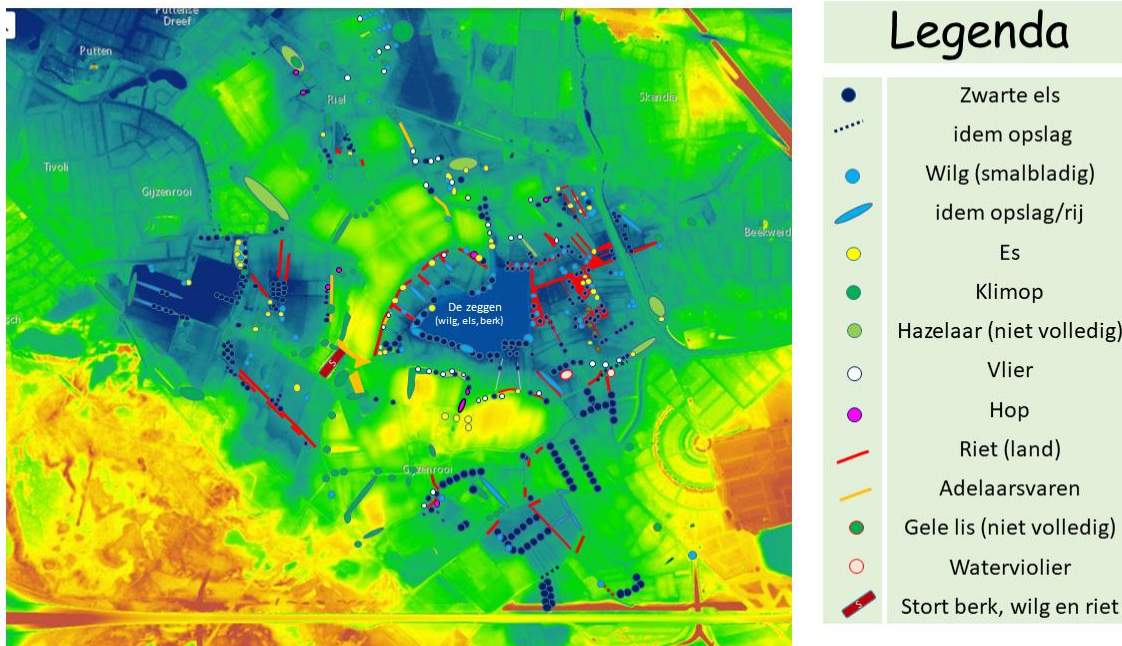
❖ *Indicatie soorten aspecten*

SOORTEN	INDICATIE
Gele lis	Permanent watervoerende sloten, voedselrijk, grote schommelingen en deels droogvallend.
Riet	Waterstroming relatief ondiep onder maaiveld (geen kwel) of stroming in sloten.
Waterviolier	Lokale kwel (koolzuurrijk) van grondwater uit ruggen.
Els	Basenhoudende en vochtig-natte gronden, ofwel bij kwel in veengronden (in het verleden), ofwel in infiltratiegronden waarbij basenhoudend grondwater relatief ondiep zit.
Fertiele klimop	
Adelaarsvaren	
Hazelaar	Indicatief voor gebufferde eiken-beukenbossen (droog).
Hop	Indicatief voor gebufferde essen-iepenbossen (vochtig).
Vlier	Indicatief voor gebufferde essen-iepenbossen (relatief vochtig).
Es	Indicatief voor gebufferde essen-iepenbossen (relatief vochtig en basenrijk).
(opslag) Smalbladige wilg	(voormalig) natte standplaatsen voedselrijk.
Stort: berk wilg en riet	voedselrijk stagnant in neerslagrijke periodes. Berken in zuur water.

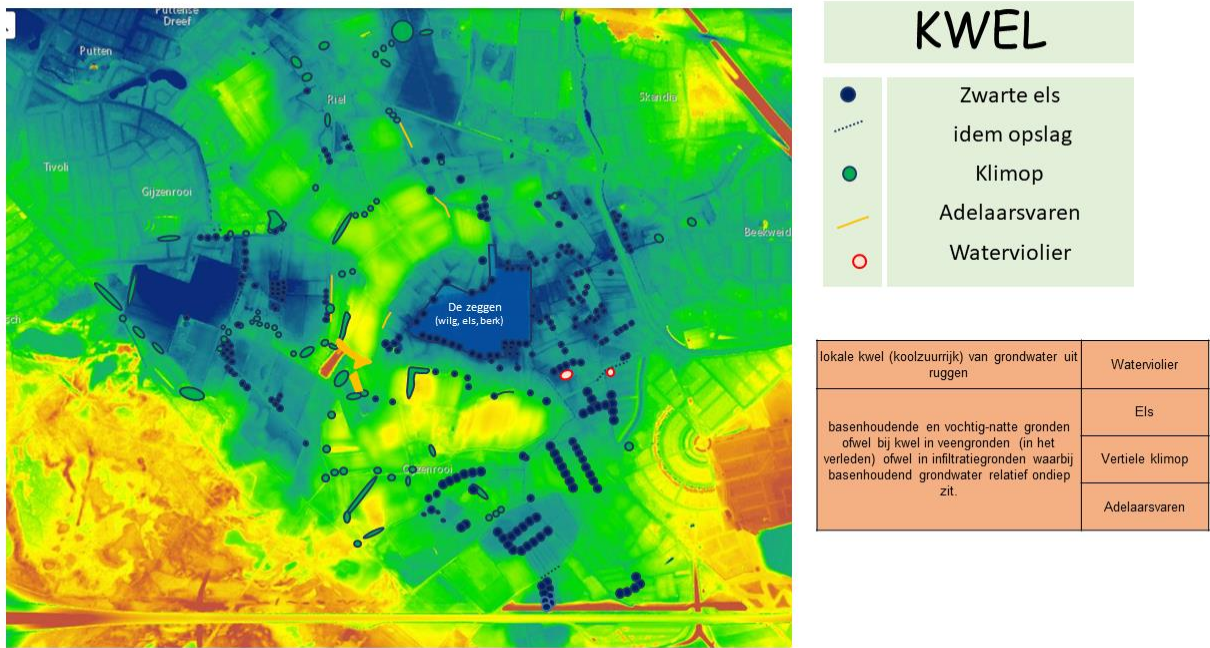
- Opmerking: de meeste soorten geven een naar verhouding hogere pH in de bodem aan. In het pleistocene deel van ons land wijst dat op invloed van basenhoudend grondwater. In het verleden moet deze invloed dominant zijn geweest (zie het verspreidingsbeeld in combinatie met indicatie) in tegenstelling tot nu. Ook leem kan bron zijn van de hogere pH, maar dan moet het ondiep zitten. Indien het dieper zit kan het ook bron zijn voor de basen in het grondwater.
- Het reliëf in Gijzenrooi genereert nog altijd grondwaterstroming. Dat valt af te leiden uit de verspreidingskaartjes van Riet. Vooral de randen van ruggen zijn opmerkelijk, daar stroomt nog water onder het maaiveld of zit relatief ondiep, hoewel daarbij nog nauwelijks kwel optreedt naar het maaiveld (nauwelijks nog kwelindicatoren behalve in De Zeggen en Vloeiweide).
- Het verschil tussen vroeger en nu is dat voorheen in de zones rond de ruggen waarschijnlijk wel flink kwel optrad. Diepe droogvallende sloten in het gebied ondersteunen deze conclusie. Het was voorheen zo nat dat zeer diepe sloten nodig waren om de gewenste drooglegging te borgen. Die sloten zullen voorheen door het jaar heen watervoerend zijn geweest. Nu vallen ze droog in een belangrijk deel van het jaar zoals valt af te leiden uit de veldverkenning. Waar zitten de bevoeiingsrelictten in de gradiënt van hoog naar laag is nu de vraag. Hoe hoger ze zitten op de gradiënt des te natter het gebied is geweest.



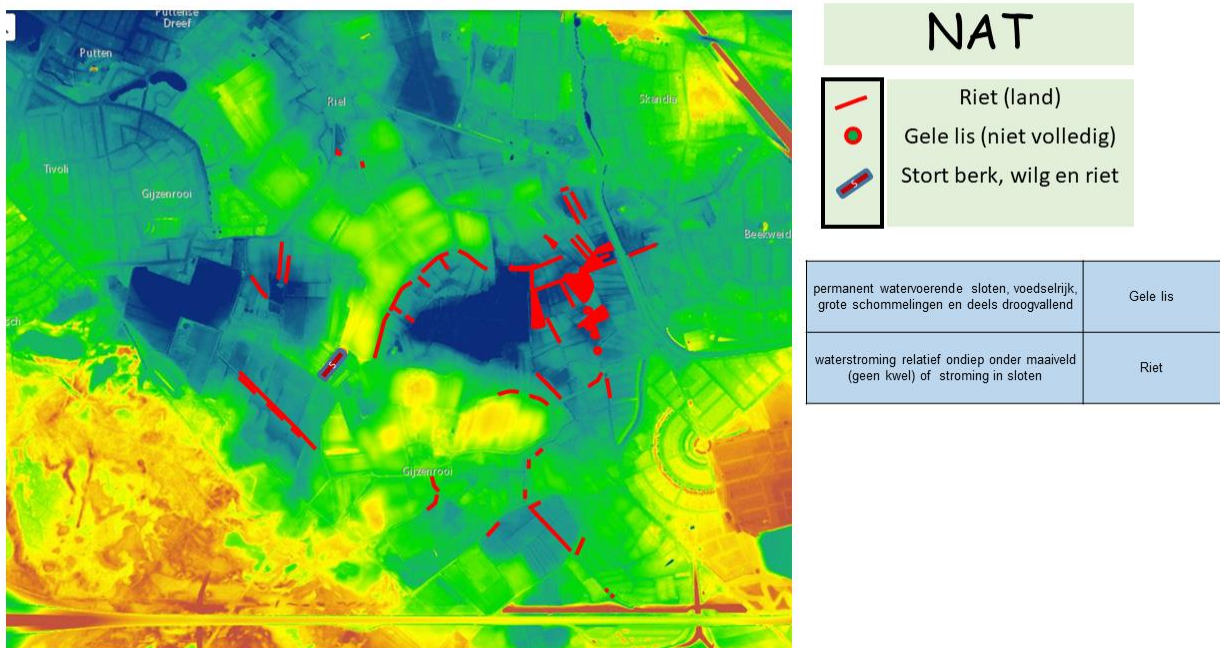
Figuur 12. Overzichtskaartje van het voorkomen van enkele plantensoorten op topografische ondergrond.



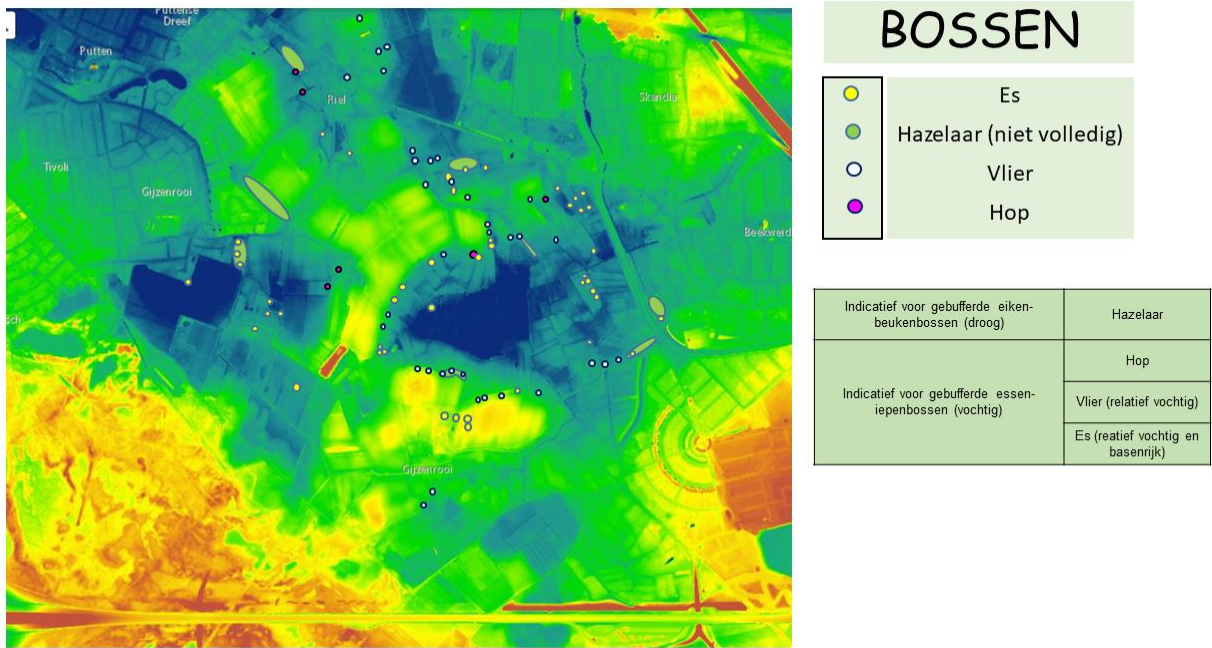
Figuur 13. Overzichtskaartje van het voorkomen van enkele plantensoorten op hoogtekaart (AHN).



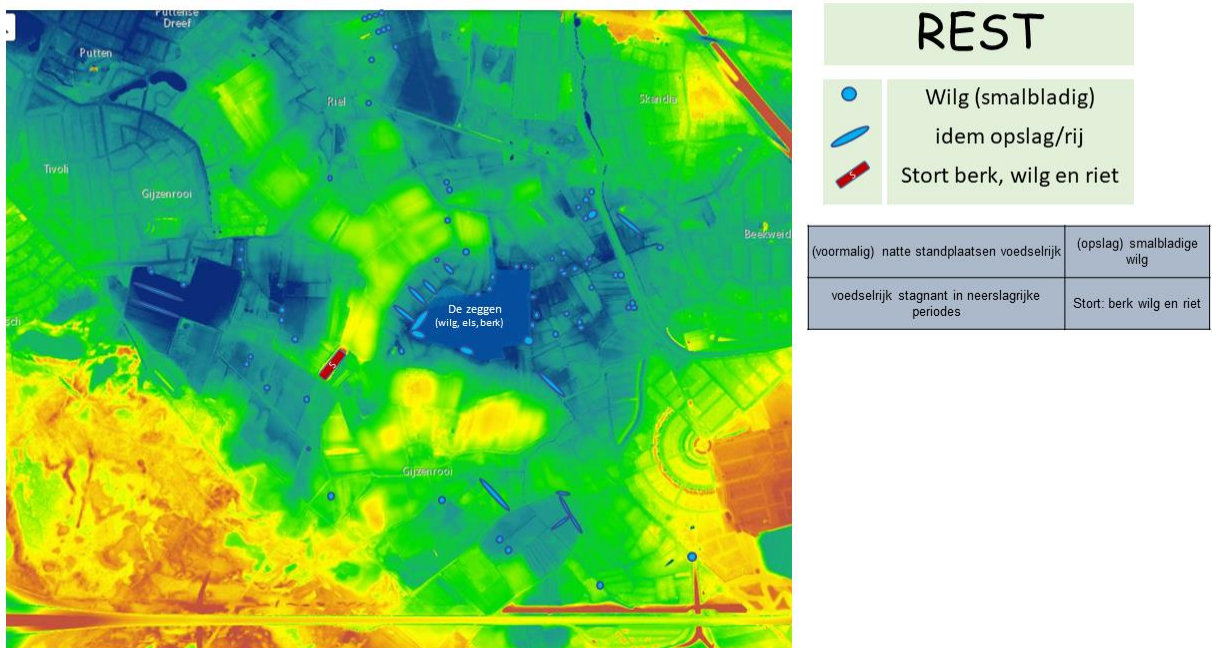
Figuur 14 Soorten geassocieerd met basenrijke omstandigheden geprojecteerd op de hoogekaart (AHN).



Figuur 15. Soorten geassocieerd met natte omstandigheden geprojecteerd op de hoogekaart (AHN).

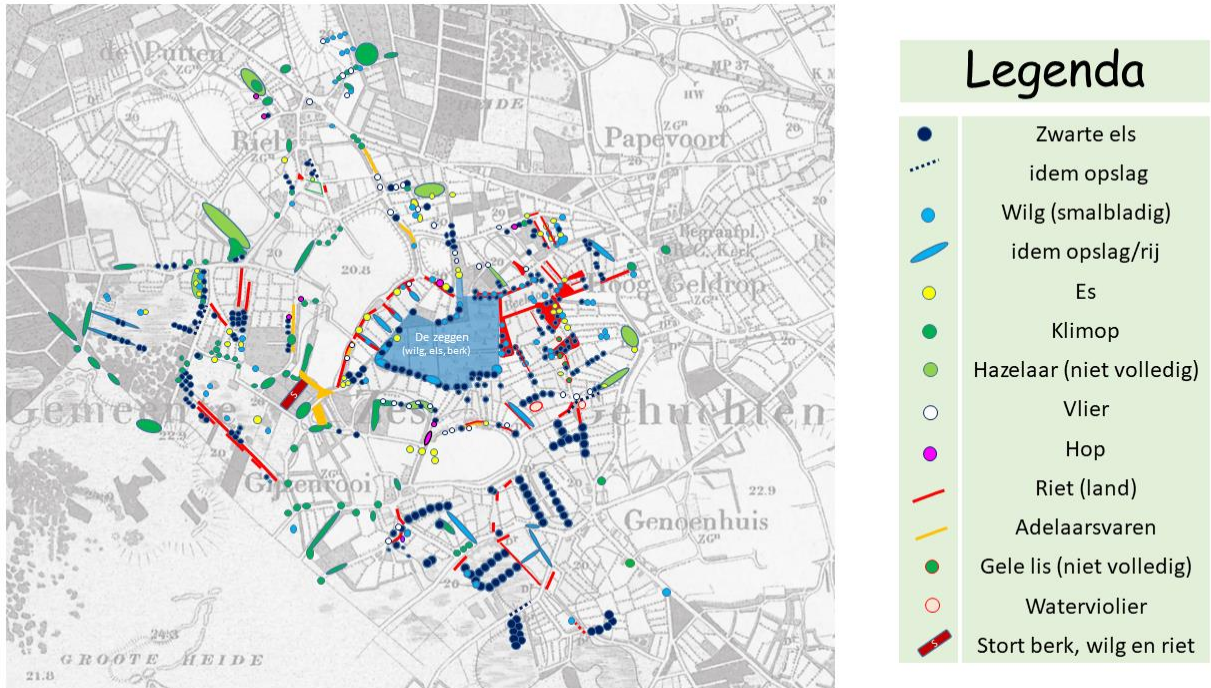


Figuur 16. Soorten geassocieerd met bossen geprojecteerd op de hoogtekaart (AHN).

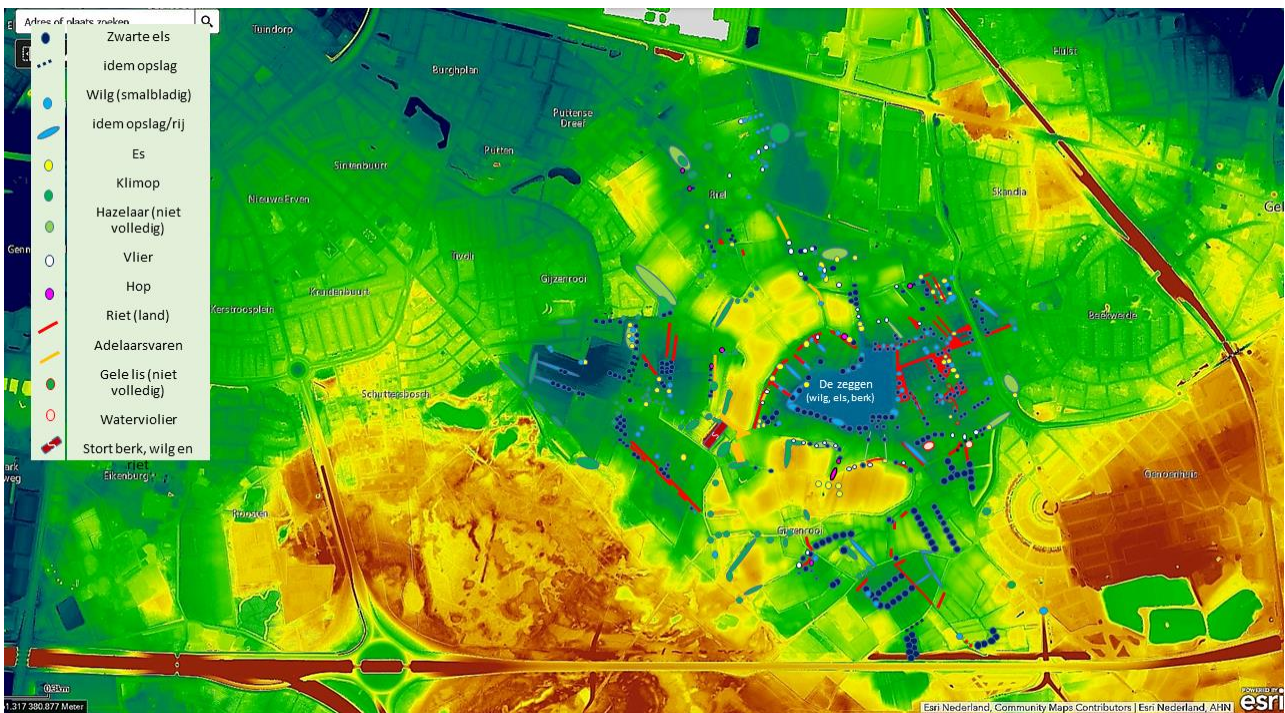


Figuur 17. Overige soorten geprojecteerd op de hoogtekaart (AHN).

5. BIJLAGE 2: DETAILKAARTJES VAN DE VERSPREIDING VAN ENKELE INDICATORSOORTEN



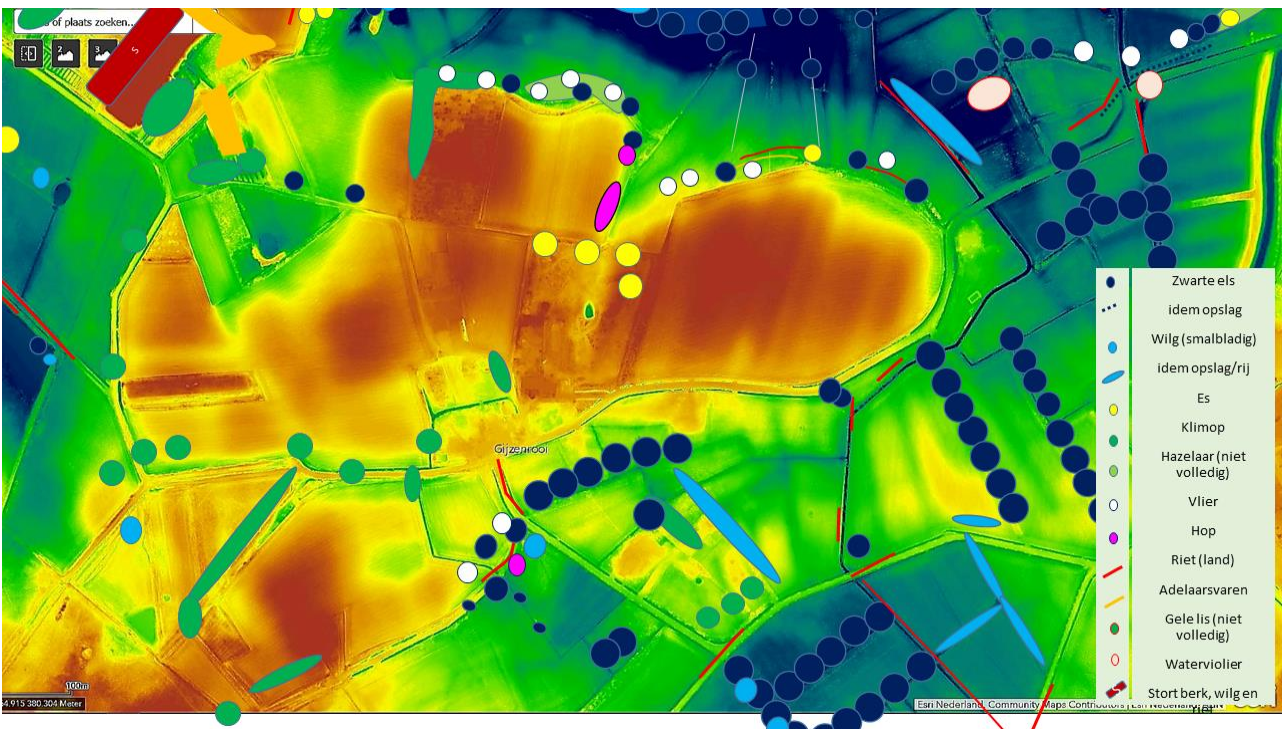
Figuur 18. Overzichtkaartje van enkele plantensoorten.



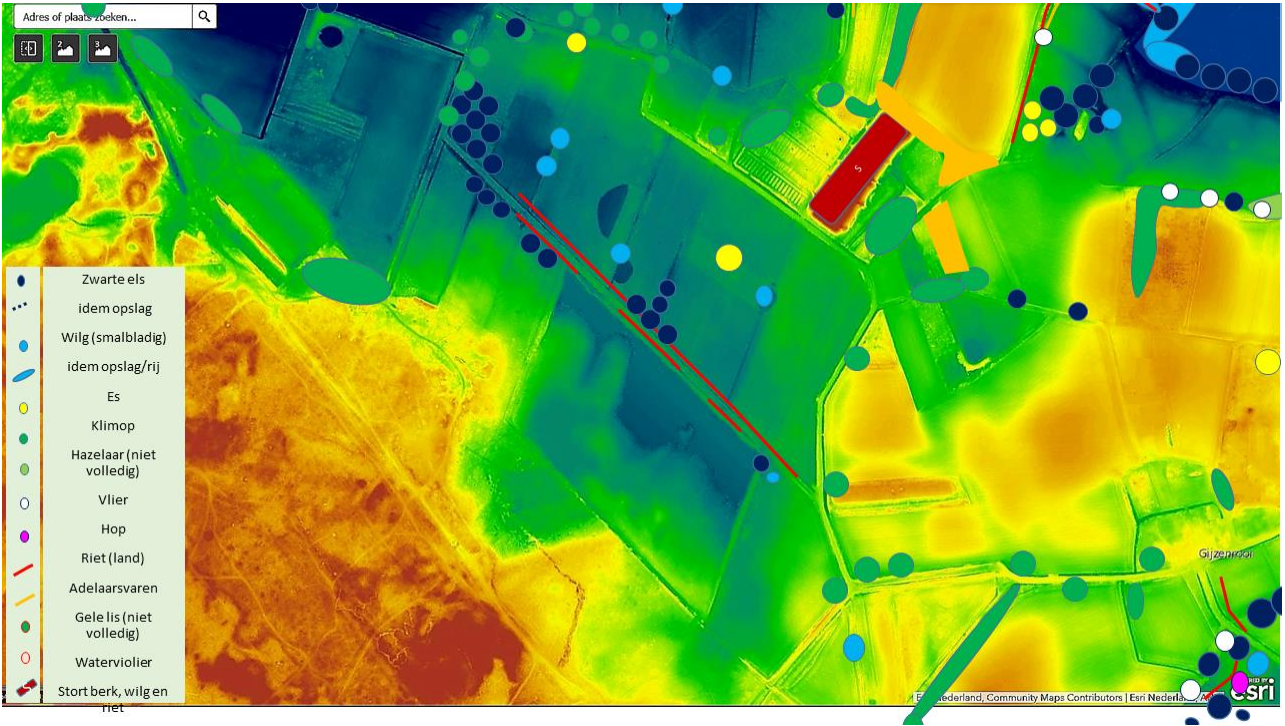
Figuur 19. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).



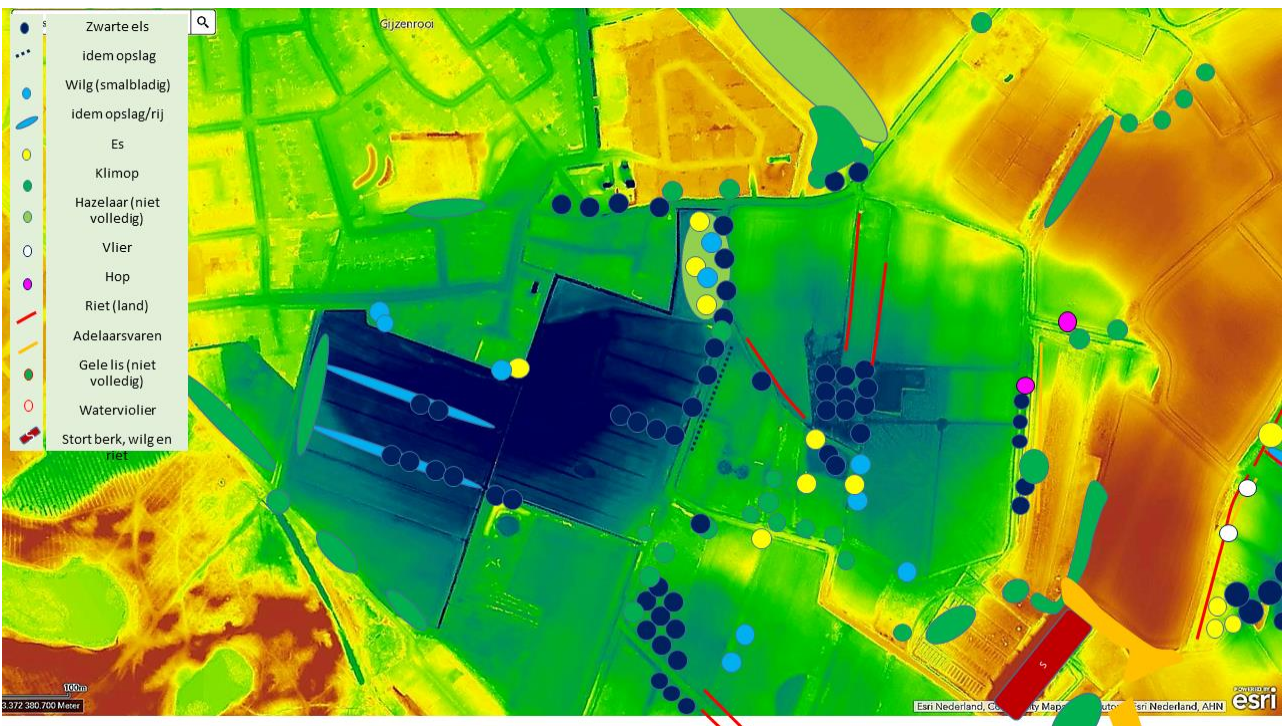
Figuur 20. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).



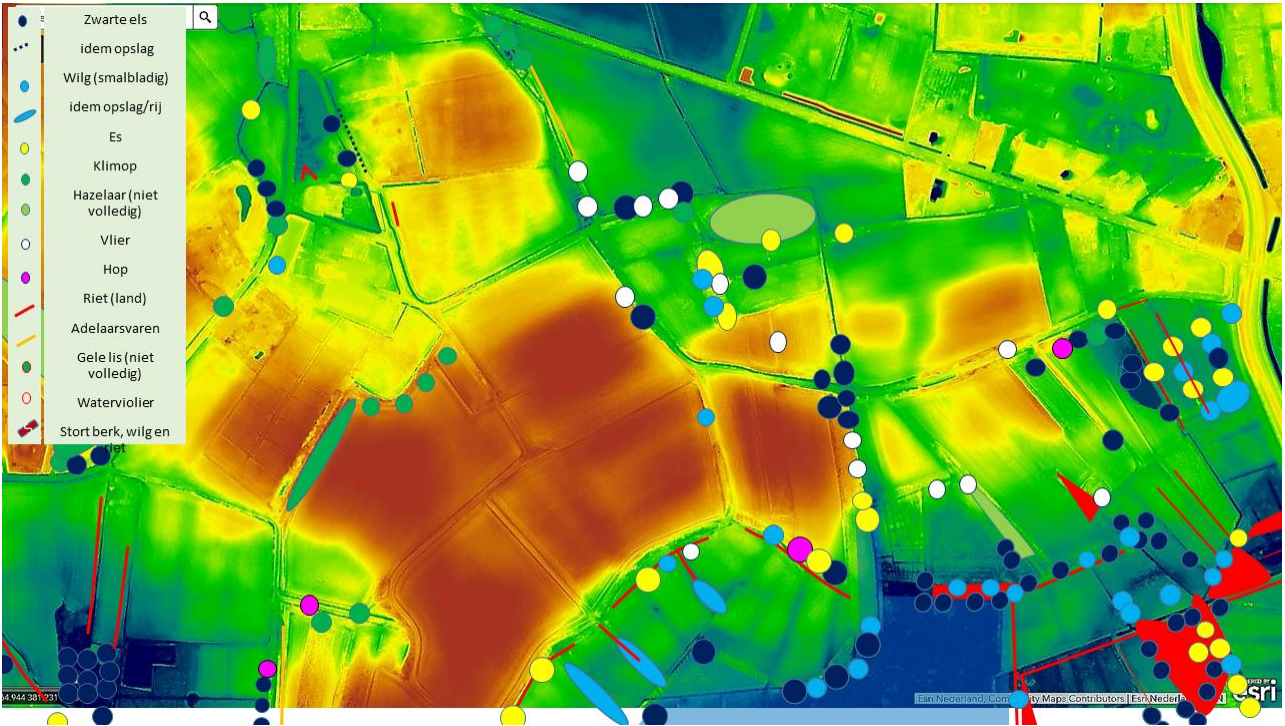
Figuur 21. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).



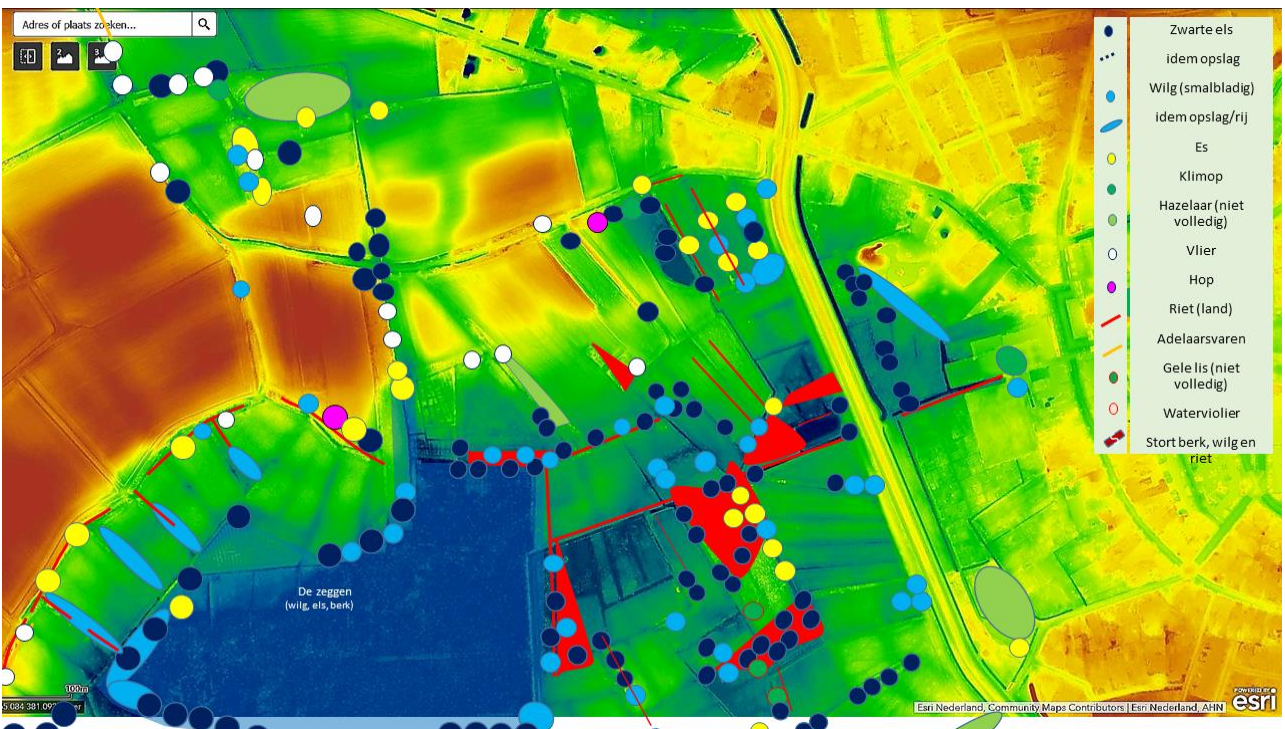
Figuur 22. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).



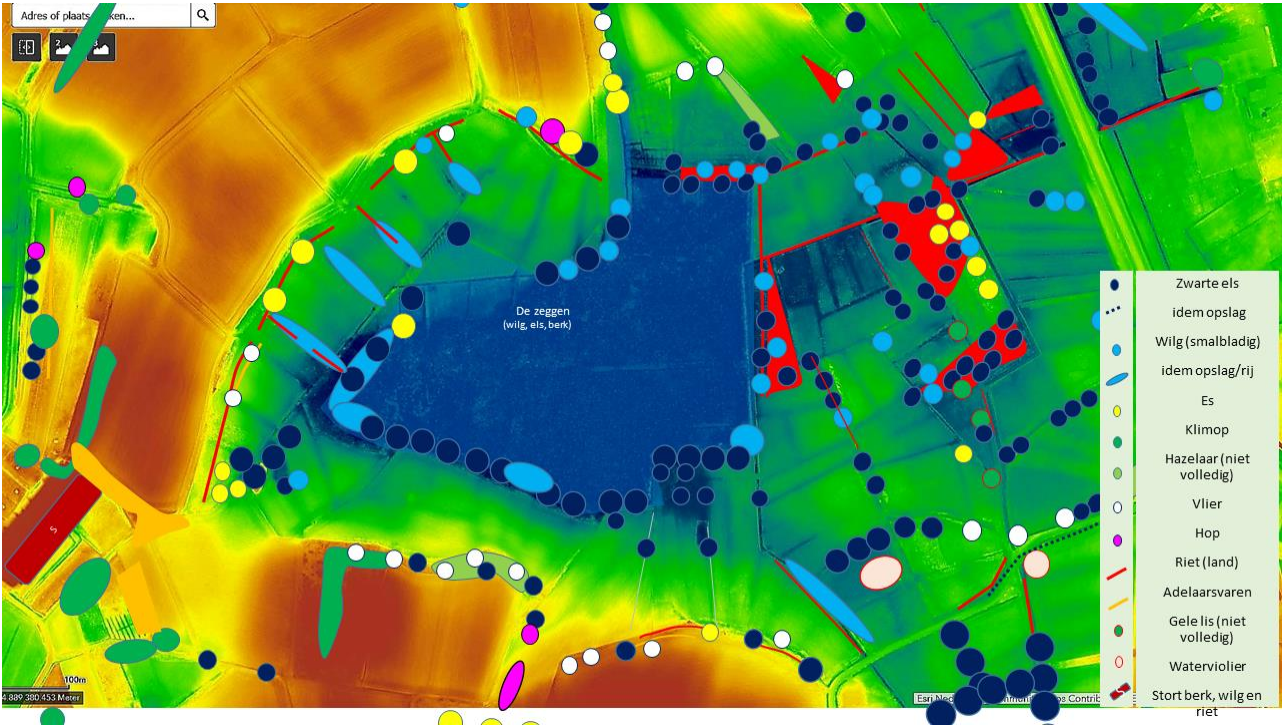
Figuur 23. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).



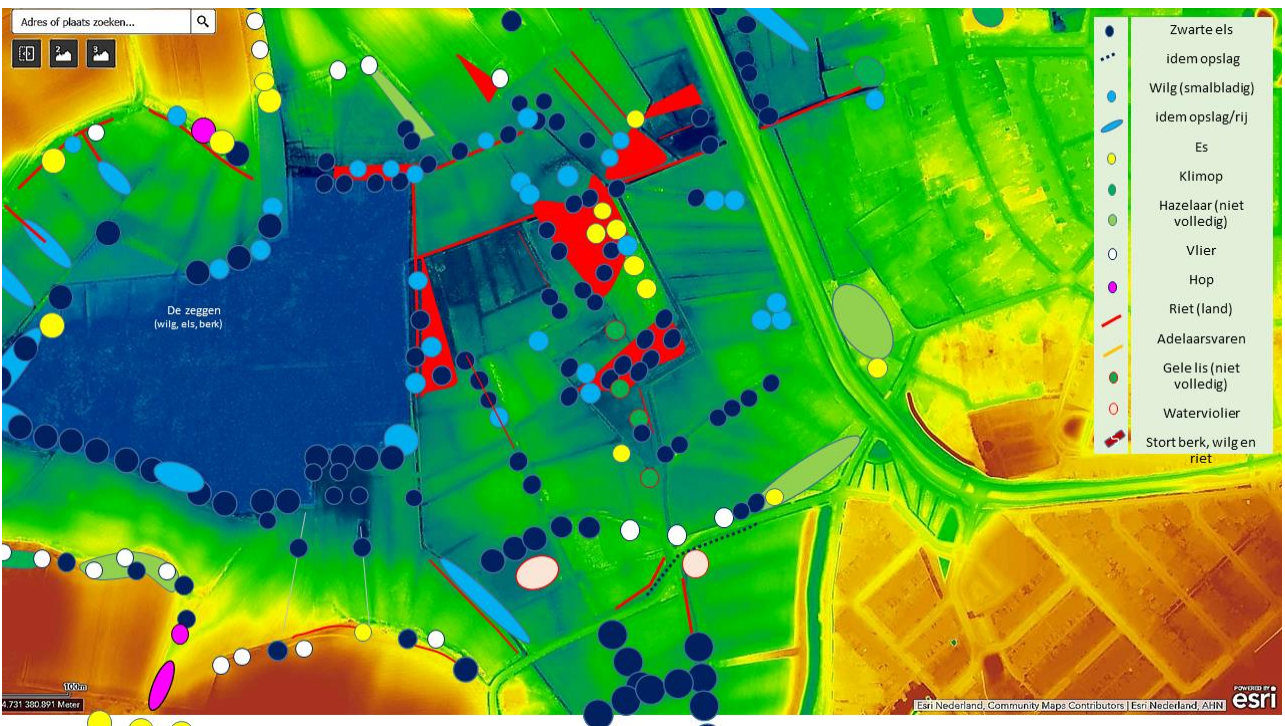
Figuur 24. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).



Figuur 25. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).



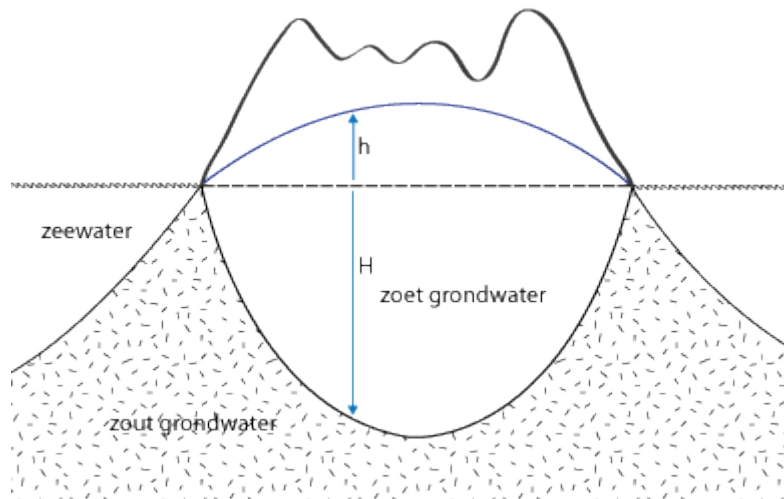
Figuur 26. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).



Figuur 27. Voorkomen van enkele relevante plantensoorten geprojecteerd op de hoogtekart (AHN).

6. BIJLAGE 3: HET PRINCIPE VAN GHYBEN-HERZBERG

Bron: <http://www.grondwaterformules.nl/index.php/formules/zoetzout/zoetwaterbel-ghyben-herzberg>



Figuur 28 Zoetwater bel in de duinen.

In de duinen langs de kust ontstaat door neerslag een bel van zoet regenwater, die drijft op het zoute zeewater. Dat komt doordat zoet water een lagere dichtheid heeft dan zout water. Het principe van Ghyben-Herzberg stelt dat de diepte van deze bel ongeveer 40 keer zo groot is als de opbolling van de freatische grondwaterstand in de duinen. In de praktijk zorgt de aanwezigheid van ondoorlatende lagen in de ondergrond ervoor, dat deze verhouding in de Nederlandse kustduinen 15 tot 25 bedraagt.

❖ Formules

DIEPTE VAN DE ZOETWATERBEL

Wanneer de opbolling van de grondwaterstand in de duinen bekend is, geeft de formule van Ghyben-Herzberg de diepte H van de zoetwaterbel (Strack, 1970 p1; Bakker, 1981 p8; Cheng en Ouazar, 1999 p164):

$$H(x) = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h(x)$$

VEREENVOUDIGDE FORMULE

De dichtheden van zoet en zout water zijn bij benadering constant:

$$\rho_s \approx 1025 \text{ kg/m}^3;$$

$$\rho_f \approx 1000 \text{ kg/m}^3;$$

Daardoor vereenvoudigt de wet van Ghyben-Herzberg tot:

$$H(x) = 40 h(x)$$

FORMULE VOOR TWEE METINGEN

Volgens Cheng en Ouazar (1999, p165) publiceerde Lusczynski (1961) de volgende formule om de ligging van het zoet-zout grensvlak te bepalen:

$$H(x) = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f(x) - \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_f} h_s(x)$$

Deze formule vereist dus een gemeten stijghoogte in het zoute water, wat bij de formule van Ghyben-Herzberg niet nodig is. Volgens Cheng en Ouazar (1999) is deze vergelijking nauwkeuriger dan de formule van Ghyben-Herzberg.

VERKLARING VAN DE SYMBOLEN

H	:	de diepte van de zoetwaterbel ten opzichte van zeeniveau (m)
h	:	de hoogte van het freatisch vlak ten opzichte van zeeniveau (m)
ρ_f	:	de dichtheid van zoet water (1000 kg/m ³)
ρ_s	:	de dichtheid van zout water (1025 kg/m ³)
$h_f(x)$:	de hoogte van het freatisch vlak ten opzichte van zeeniveau (m)
$h_s(x)$:	de stijghoogte van het zoute water ten opzichte van zeeniveau (m)

❖ Toepassing
NUT VOOR DE PRAKTIJK

De formule van Ghyben-Herzberg lijkt op het eerste gezicht een zeer bruikbaar stuk gereedschap: Met één relatief eenvoudig te meten grootte, de freatische grondwaterstand, is de diepte van het grensvlak tussen zoet en zout eenduidig vast te stellen. Hoe bruikbaar is de formule voor de Nederlandse kustduinen?

METINGEN OP GROTE DIEPTE

De diepte van de zoutgrens is te meten met chloridemetingen in piëzometers op grote diepte, boven en onder het grensvlak tussen zoet en zout. Dat grensvlak ligt vaak op enkele tientallen meters diepte. In de praktijk is sprake van een geleidelijke overgang met brak water. Maar goed, het grensvlak kan empirisch worden vastgesteld. De formule van Ghyben-Herzberg is daarmee in de praktijk te toetsen.

NEDERLANDSE DUINGEBIEDEN

In de praktijk is de dikte van de zoetwaterbel 15 tot 25 keer groter dan de opbolling boven het zeeniveau. De theoretische waarde van 40 wordt niet gehaald.

Dat blijkt uit een analyse is in het proefschrift van Theo Bakker (1981 p9). Hij geeft een overzicht van gemeten waarden voor een aantal Nederlandse duingebieden. Op alle locaties is volgens Bakker sprake van een ongestoorde waterhuishouding, waarvoor de formule van Ghyben-Herzberg in principe toepasbaar is.

Dikte van de zoetwaterbel in twaalf Nederlandse duingebieden (Bakker, 1981 p9)

gebied	h	H	H/h
Schiermonnikoog	3,5	90	26
Vlieland	3	45	15
Ameland (oost)	3	60	20
Ameland (west)	3	50	17
Terschelling (oost)	3,5	80	23
Terschelling (midden)	3	50	17
Terschelling (west)	5	100	20
Texel	4	60	15
Schoorl	9	130	15
Voorne	3,5	50	14
Goeree (Westduinen)	2	35	18
Schouwen	4	100	25

De tabel laat zien dat de verhouding in de praktijk ligt tussen 15 en 25, niet rond 40.

KLEILAGEN IN DE ONDERGROND

De belangrijkste oorzaak van de ondiepe ligging van het grensvlak is volgens Bakker (1981) dat scheidende lagen in de ondergrond weerstand bieden tegen infiltratie van zoet water. Daardoor is de opbolling in het duinmassief in de praktijk twee keer zo groot als op basis van de wet van Ghyben-Herzberg verwacht mag worden. Het gegeven dat in de ondergrond van de Nederlandse duingebieden vrijwel altijd scheidende lagen

voorkomen, betekent dus een forse beperking van de praktische toepasbaarheid van de formule van Ghyben-Herzberg.

❖ **Achtergrond**

Cheng en Ouazar (1999) beschrijven de aannames waarop de formule van Ghyben-Herzberg is gebaseerd:

- De druk aan weerszijden van het grensvlak is gelijk. Dat moet wel zo zijn, want anders zou stroming optreden en verdwijnt het grensvlak tussen zoet en zout.
- Er zijn geen verticale stijghoogteverschillen in de zoetwaterbel en ook niet in het zoute water (de Dupuit-aanname). Door deze aanname hoeft de druk niet persé bij het grensvlak te worden gemeten, maar is een meting van het freatisch vlak voldoende, samen met een meting in het zoute water, eveneens op een willekeurige diepte.
- Het zoute water beweegt niet. Hierdoor is de druk overal in het zoute water gelijk. Daarmee vervalt de noodzaak om een piëzometer in het zoute water te plaatsen, mits het referentieniveau op zeeniveau wordt gekozen.

❖ **Geschiedenis**

De formule van Ghyben-Herzberg werd in 1889 afgeleid door de Nederlander Badon-Ghyben (1888) en opnieuw door de Duitser Herzberg (1901).

In stelling VII van zijn proefschrift stelt Steggewentz (1933) dat Badon-Ghyben niet de eerste was die dit principe ontdekte. Hij komt daar in de tekst echter niet meer op terug.

Er bestaat een Amerikaanse claim op de formule: uit een artikel in the American Journal of Science uit 1963 [8] blijkt dat een zekere Dr. Joseph Du Commun de formule al in 1828 heeft gepubliceerd in dat blad.

❖ **Referenties**

- Bakker, T. W. M. (1981). **Nederlandse kustduinen. Geohydrologie.** Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen. Pudoc, Wageningen.
- Badon Ghyben, W. (1888). **Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam.** Tijdschrift van het Koninklijk instituut van Ingenieurs, Den Haag. 1888/9, 8-22.
- Carlston, C. W. (1963). **An early American statement of the Badon Ghyben-Herzberg principle of static fresh-water-salt-water balance.** American Journal of Science, January 1, 1963 261:88-91.
- Cheng, A. H. D. en D. Ouazar (1999). **Chapter 6. Analytical solutions.** In: J. Bear et al. (ed.). *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers - Concepts, Methods and Practices.* Kluwer Academic Publishers.
- Herzberg, A. (1901). **Die wasserversorgung einiger Nordseebder.** Z. Gasbeleucht Wasserversorg, 44, 815-819 en 45, 842-844
- Lusczynski, N. J. (1961). **Head and flow of groundwater of variable density.** Journal of Geophysical Research, 66, 4247-4256.
- Steggewentz, J. H. (1933). **De invloed van de getijbeweging van zeeën en getijrivieren op de stijghoogte van grondwater.** Dissertatie Delft.
- Strack, O. D. L. (1970). **Stroming Zoutgrondwater I : Stationaire problemen.** In: *Cursus Zout Grondwater in Nederland deel II Vol. A. 1970 - 1971.*