

EXPERT - een algoritme om vegetatieopnamen toe te delen aan plantengemeenschappen

J.A.M. Janssen, J.H.J. Schaminée, S.M. Hennekens, A.S.J. van Proosdij,
L. Tichý & M. Chytrý

EXPERT SYSTEMEN VOOR IDENTIFICATIE VAN OPNAMES

In een artikel in *Applied Vegetation Science* doet De Cáceres samen met een groot aantal andere auteurs een voorstel voor eisen waaraan moderne vegetatieoverzichten zouden moeten voldoen (De Cáceres et al. 2015). Een van de adviezen is dat een classificatie begeleid gaat van een set van toedelingsregels, waarmee de indeling consistent herhaalbaar wordt en ook met andere opnamen-data gevolgd kan worden. De vorm waarin dit gebeurt is door middel van een zogenaamd expert systeem (ES). Onder een expert systeem wordt in dit verband een algoritme verstaan waarmee vegetatieopnamen worden geïdentificeerd, d.w.z. toebedeeld aan plantengemeenschappen die beschreven zijn in een met tabellen onderbouwde, vegetatiekundige classificatie. De toedeling via een expert systeem gebeurt consistent en kan voor grote databestanden (met duizenden vegetatieopnamen) in korte tijd worden uitgevoerd.

Een dergelijk expert systeem is voor het eerst ontwikkeld in Tsjechië, binnen het programma JUICE (Tichý 2002; zie verderop), waar het is gekoppeld aan de indeling van Tsjechische plantengemeenschappen (Chytrý 2007-2013); ten behoeve van dat overzicht werd een dergelijk systeem al eerder gebruikt door Kočí et al. (2003) in een studie naar subalpiene ruigten. De Tsjechische aanpak kreeg navolging in Slowakije (Jarolímek & Šibík 2008) en nadien ook in andere studies. Inmiddels wordt het formaliseren van classificaties via een expert systeem steeds vaker toegepast, op Europese schaal onder meer voor aquatische begroeiingen (Landucci et al. 2013), hogere syntaxonomische eenheden in Polen (Kački et al. 2013), oobossen (Douda et al. 2016), natte graslanden in Polen (Swacha et al. 2016), laagvenen (Peterka et al. 2016), beukenbossen (Willner et al. 2017), witte duinen (Marcenò et al. 2018), vochtige pionierbegroeiingen in Polen (Kački et al. 2021), en voor EUNIS habitattypen (Chytrý et al. 2020). Vanwege het formaliseren van de classificaties in de vorm van toedelingscriteria, worden de expert systemen in de literatuur ook wel *formal systems* genoemd.

EXPERT SYSTEM IN NEDERLAND

Ook voor de Nederlandse plantengemeenschappen is gedurende de afgelopen vijf jaar een expert systeem ontwikkeld waarmee vegetatieopnamen consistent worden toegedeeld aan vegetatietypen. Het Nederlandse expert systeem is ontwikkeld in opdracht van BIJ12, onder de naam EXPERT, en richt zich op de identificatie van opnamen aan de associaties en romp- en derivaatgemeenschappen volgens de standaardlijst in de *Revisie Vegetatie van Nederland* (Schaminée et al. 2017).

EXPERT is een gereedschap dat kan ondersteunen bij het identificeren van losse opnamen of lokale typen uit vegetatiekarteringen. Aangezien vegetatietypen in ons land een centrale rol spelen bij het op kaart zetten van beheertypen van het Subsidiesysteem Natuur- en Landschap en habitattypen van Natura 2000, draagt EXPERT bij aan de verbetering van processen voor de inwinning en het gebruik van natuurdata in ons land. Naast het gebruik van EXPERT bestaat binnen het programma TURBOVEG de mogelijkheid om opnamen toe te delen aan *De Vegetatie van Nederland* met behulp van het programma ASSOCIA (Van Tongeren et al. 2008). Beide opties kunnen nu naast elkaar gehanteerd worden (zie verderop). Behalve de hier besproken versie van EXPERT is eerder een versie SALT EXPERT ontwikkeld die vegetatieopnamen toedeelt aan de SALT-typologie die bij Rijkswaterstaat wordt gebruikt voor kwelderkarteringen binnen het monitoringsprogramma Vegwad (De Jong et al. 1997; Kers 2012).

SPECIFICATIES

EXPERT is ontwikkeld voor gebruik binnen JUICE en TURBOVEG3. JUICE is een programma voor clustering van vegetatieopnamen, maar omvat ook een hele reeks aan andere analysemogelijkheden (Tichý 2002). Het programma is gratis te downloaden van de website van de Masaryk University te Brno (<https://www.sci.muni.cz/botany/juice/>), waar ook een handleiding te vinden is. TURBOVEG is het meest gebruikte databaseprogramma voor opslag en beheer van vegetatieopnamen in Nederland en de rest van de wereld (Hennekens & Schaminée 2001), en wordt in talloze vegetatiestudies in combinatie met JUICE gebruikt. Voor het hier ontwikkelde programma EXPERT moet JUICE worden gebruikt in combinatie met TURBOVEG2 versie 2.149 of hoger. EXPERT is ook beschikbaar binnen TURBOVEG3 (Hennekens 2015; versie 3.1.7.2 of hoger). Aan de aanschaf van dat laatste programma zijn kosten verbonden (zie www.synbiosys.alterra.nl). Voor de praktische werking met het programma in EXPERT en JUICE zijn instructie filmpjes ontwikkeld, waarnaar verwezen wordt op de hiervoor genoemde website.

Zowel binnen JUICE (en de daarbij gebruikte TURBOVEG2) als binnen TURBOVEG3 moeten de opnamen waarmee gewerkt wordt op dit moment opgeslagen zijn volgens de soortenlijst *Floranld_2017*. De soortnamen van deze lijst worden namelijk in de toedielingscriteria gebruikt; als er andere namen in een bestand worden gebruikt, zal EXPERT niet goed werken. In de toekomst wordt EXPERT mogelijk ook geschikt gemaakt voor het werken met een soortenlijst volgens de meest recente Nederlandse Flora (Duistermaat 2019).

DE UITVOER VAN EXPERT

EXPERT deelt, zoals hiervoor al gezegd, opnamen toe aan de associaties en romp- en derivaatgemeenschappen volgens de Revisie Vegetatie van Nederland (zie de standaardlijst in Stratiotes 50/51; Schaminée et al. 2017). De code volgens die standaardlijst wordt in JUICE of TURBOVEG3 als uitkomst gegeven. In JUICE wordt de code vereenvoudigd weergegeven met een beperking tot 5 karakters (Afbeelding 1). Zo wordt bijvoorbeeld in JUICE 12R10 gebruikt in plaats van de

◆ JUICE - (c:\project bo gebiedspilots 2022\ruiveren\gelderse poort h6120.wct)

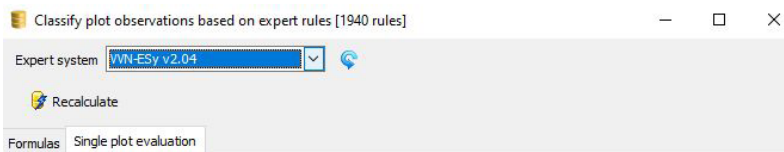
Initial entry number:	331111111133	333333333333333333333333331111111111	4444
Relevés 57	224444444422	2222222222222222222222222266622744444	6666
Species 193	AABBBBBB--CCGCC	CCCCCCCCCCCCCCCCCCC	RRRRR-BB-0000
aa	cccccc--aara	aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa	11111-cc-c
11221111--22a	222222222222222222222223-88800-12-2-+		96666+
Berteroa incana	6+.+.....+......
Erophila verna	6	.....11.....	.....11.....
Syntrichia ruralis s.l.	9	.....b.....	.....b.....
Syntrichia ruralis var. calcicola	9	.....5.1.....	.....5.1.....
Calliergonella cuspidata	9	.....a.....	.....3.....
Vulpia myuros	6	.....r.....	.....r.....
Thalictrum minus	6	.....1+.....	.....1+.....
Potentilla argentea	6	.....1+.....	.....1+.....
Cerastium semidecandrum	6	.....1+.....	.....1+.....
Conyza canadensis	6	..++...1...a.1.r.1.....	.....1.....+
Eryngium campestre	6	...r.+ar+...bbb.+a3433bbb3.ba+b.aaa...	...b.a...
Galium mollugo	6	...+.+.+...ba1a.bb+...a.a.a.a.....+	...+....
Festuca rubra	6	...11...a.1..baa1b..11.11a.....a..b.....	+3.b.a...
Saponaria officinalis	6	...+.+.+.a+.+3a+...+.b..+bbb...	.....
Rumex thyrsiflorus	6	r.a+...1.+.aa+...+1.b.+b+ab.b.....	...1.....
Senecio inaequidens	6	..+.11lr++al.....a.....+1..+a.....+	..+r.....
Medicago falcata	6	...4.....1..ab.....aa...r.a.1.....	...3.b.....
Plantago lanceolata	6	...1.....+.+.+.a+.1a.....+++..b1.1..1.....	.....
Dactylis glomerata	6	...1.....+.+.+.+.+.+.+.b.a.....+	...+.+
Calamagrostis epigejos	6	++...+.+.b++11a.1.....1.....b.....+a4.....	.....
Elytrigia repens	6	+1.+.+.11...+.1..at.....1a...m.....	...1.....
Ononis repens subsp. spinosa	6	.....+......3.....	.....b+a3.....
Arrhenatherum elatius	6	.....+.baa1a.a.b1aab.....b43.a.....a.....	.....
Potentilla reptans	6	.....+.1.....a.....a.a.54++.....+a.....	.....
Achillea millefolium	6	.....+.1.....1.....1..+1.a+1..+...1.....	.....
Euphorbia esula	6	.....+.+.+.r.rbr.....a.b.a.....a.....	.....
Carex hirta	6	.....+.+.+.+.+.+.+.a.1.1.....11.aa.....	.....
Hypericum perforatum	6	.....+.1.....r.....+++.....+1.....	.....
Trifolium campestre	6	.....+.1..a+1.....r.....a.....	.....

Afbeelding 1. Voorbeeld van een JUICE-tabel met in de kop de identificatie van de opnamen aan plantengemeenschappen door EXPERT.

uitkomst r12RG10 die TURBOVEG geeft. In TURBOVEG3 wordt de volledige code gegeven (Afbeelding 2).

Er vindt op dit moment geen toedeling plaats aan subassociaties (de code wordt dus op associatieniveau weergegeven). Als een opname niet aan de structuur en soortensamenstelling van een associatie, rompgemeenschap of derivaatgemeenschap voldoet, wordt deze toegedeeld op een hoger hiërarchisch niveau: verbond, orde of klasse. De uitkomst “45A-” betekent bijvoorbeeld dat de opname voldoet aan de criteria van de orde r45A, maar op lager/ander niveau (verbond, associatie, rompgemeenschap) niet goed kan worden toegedeeld. Als een opname niet op een hoger niveau kan worden toegedeeld, wordt ze in veel gevallen nog wel op formatie-niveau geïdentificeerd. De volgende formaties (code met toelichting) zijn hierbij onderscheiden:

- AQ = aquatisch
- Bos = bos
- DS = heide/dwergstruweel
- EPI = epifytische begroeiing
- Gra = grasland
- Pio = droge pionierbegroeiing
- Str = struweel
- WE = wetland (kleine zeggen, vennen)
- WP = natte pionierbegroeiing
- Zoom = zomen en ruigte



3 19Aa2 Gentiano pneumonanthes-Nardetum

(((((((<#C +01_DS> AND <#04 Gentiana-pneumonanthe-groep7>) NOT <#02 Dianthus-groep5>) NOT <Erica tetralix GR50>) AND <### Gentiana-pneumonanthe-groep11 GR ### Cirsium-dissectum-groep6>) NOT <#02 Carex-dioica-groep9>) NOT <#03 Cicendia-groep4>) NOT <#01 Cicendia-groep2>) NOT <Polytrichum commune GR50>) NOT <Calluna vulgaris GR50>

(((((true) AND (9 >= 4)) AND NOT (0 >= 2)) AND NOT (3 > 50)) AND (6 > 1)) AND NOT (0 >= 2)) AND NOT (0 >= 3)) AND NOT (0 >= 1)) AND NOT (2 > 50)) AND NOT (13 > 50)

Plot observation: 57953 (27 taxa)

Agrostis canina	3.0
Betula pubescens	2.0
Calluna vulgaris	13.0
Calypogeia species	2.0
Carex nigra	3.0
Carex panicea	2.0
Cephaloziella species	2.0
Ceratodon purpureus	2.0
Cirsium dissectum	2.0
Dactylorhiza maculata	3.0
Danthonia decumbens	3.0
Equisetum arvense	2.0
Erica tetralix	3.0
Festuca guesstfalica-groep	3.0
Galium saxatile	2.0
Gentiana pneumonanthe	2.0
Molinia caerulea	13.0
Pedicularis sylvatica	13.0
Polygala serpyllifolia	2.0
Polytrichum commune	2.0
Potentilla erecta	3.0
Salix cinerea	2.0
Salix repens	3.0
Sphagnum compactum	2.0
Sphagnum fallax	2.0
Succisa pratensis	3.0
Trichophorum cespitosum	2.0

Afbeelding 2. Voorbeeld van de uitvoer van een identificatie door EXPERT van een enkele opname in TURBOVEG3.

Voor de epifytische begroeiingen (klassen 47 en verder volgens Van Dort et al. 2017) is het expert systeem niet verder uitgewerkt dan op formatie-niveau.

Het kan ook voorkomen dat een opname zelfs op dit hoogste niveau niet wordt toegedeeld. Dan krijgt deze een vraagteken (?) als uitkomst.

Tenslotte kan het voorkomen dat een opname aan de kenmerken van twee of meer plantengemeenschappen voldoet (op hetzelfde hiërarchische niveau, zie verderop). Een dergelijke opname krijgt meerdere uitkomsten in TURBOVEG3 en een plus (+) als uitkomst in JUICE. Binnen JUICE en TURBOVEG3 is het – op iets

Tabel 1. Informatie die in JUICE beschikbaar is voor elke opname. Aangegeven is hoe hoog (in de opname) voor een gedefinieerde soortengroep (laatste kolom) zijn: de frequentie (FRE), het aantal soorten (SP No), de wortel van de bedekking van alle soorten (SQRT), en de totale bedekking van alle soorten (COVER). Een klein deel van de totale informatie voor één opname is weergegeven.

FREQ	SP No	SQRT	COVER	GROUP NAME
1.10%	1	1	1.00%	#TC Bomen
1.10%	1	1	1.00%	##D Bomen
3.90%	4	6.6	10.60%	##D +01 WP
4.80%	12	23.1	42.00%	##D +01 WE
0.70%	3	4.6	6.80%	##D +01 Gra
4.40%	9	21.9	90.20%	##D +01 Str
3.60%	11	16.8	24.80%	##D +01 Bos
12.00%	3	11.8	88.40%	#TC Struiken
3.60%	8	14	23.30%	##D +01 Zoom
1.00%	1	1.4	2.00%	##D +01 Zout
11.10%	3	11.8	88.40%	#TC Struiken2
12.20%	10	17.1	27.10%	#TC Helofyten
12.20%	10	17.1	27.10%	### Helofyten
2.70%	1	1.7	3.00%	### Ericetum2
7.40%	2	2.7	4.00%	#TC Bossoorten
7.40%	2	2.7	4.00%	### Bossoorten
7.80%	13	32.2	93.00%	##D +09 Alnion

verschillende wijze – mogelijk om na te gaan waarom een opname een bepaalde toedeling heeft gekregen (zie Tabel 1).

DE WERKING VAN EXPERT

Het algoritme waarmee EXPERT werkt, is geschreven in de vorm van een eenvoudige tekst-file (met de uitgang .txt). De identificatie van opnamen wordt door EXPERT stapsgewijs uitgevoerd. Het programma werkt hiervoor met drie secties. In de eerste sectie wordt vastgelegd welke plantennamen als synoniemen worden beschouwd binnen het algoritme, en onder welke naam dit gebeurt. Zo worden de soort *Ficaria verna* en de ondersoort *Ficaria verna* subsp. *verna* samengenomen onder de naam *Ficaria verna*. In sectie 2 zijn soortengroepen gedefinieerd. Voor een opname wordt bekeken in welke mate bepaalde soorten of soortengroepen in de opname vertegenwoordigd zijn. Vervolgens vindt aan de hand van het al dan niet voorkomen van soortengroepen een toedeling plaats. Sectie 3 bevat hiervoor meerdere criteria per plantengemeenschap.

Voor de toetsing aan de criteria wordt zodoende de totale soortensamenstelling van een opname gebruikt. In het algoritme bestaat de mogelijkheid om criteria te formuleren op basis van kopgegevens (bijv. de totale bedekking), maar in het hier beschreven programma EXPERT zijn dergelijke criteria niet toegepast, vanwege de vele inconsistenties in ingevulde kopgegevens in de gebruikte vegetatiedatabases.

De criteria zijn geformuleerd op negen hiërarchische niveaus. Indien een opname op hoog niveau voldoet aan een criterium (9 is het hoogste niveau), zijn de toedelingen op lager niveau niet meer van toepassing. Op het laagste niveau (1) wordt alleen nog toegedeeld aan formaties. Alleen als een opname op het hoogste niveau waarop het aan een criterium voldoet ook aan een of meer andere criteria voldoet, is de uitkomst een dubbele toedeling (+).

OPBOUW VAN DE CRITERIA

Bij de toedelingscriteria wordt gekeken naar de aanwezigheid van een soort of de aanwezigheid van soorten uit een soortengroep. Zo kan bijvoorbeeld getoetst worden hoeveel soorten uit een groep aanwezig zijn, of er meer soorten van groep A zijn dan van groep B, of de soorten van groep A een hogere bedekking hebben dan die van groep B, of dat de bedekking van soorten uit een soortengroep boven een bepaald percentage uitkomt. Er wordt bij dit alles met twee typen soortengroepen gewerkt:

1. Diagnostische soortengroepen.

Deze groepen worden in sectie twee van EXPERT aangegeven door de code ##D. Diagnostische soortengroepen worden onderling vergeleken. Daartoe worden ze als clusters geformuleerd, elk met een eigen getal (+01, +02 enzovoorts). Voor een opname wordt de bedekking (aangegeven als ##C) of wortel van de bedekking (aangegeven als ##Q) van de soorten in een groep vergeleken met die van alle andere groepen binnen hetzelfde cluster, waarbij toedeling plaatsvindt aan de groep met de hoogste bedekking van de totale soortengroep.

Het criterium <##Q +01 Bos> betekent aldus dat de opname binnen het cluster +01 (dat voor formaties is gebruikt) de hoogste bedekking moet hebben van de soorten van groep "Bos" ten opzichte van alle andere soortengroepen (van andere formaties) die binnen het cluster +01 zijn onderscheiden.

2. Sociologische soortengroepen.

Deze groepen worden binnen EXPERT in sectie 2 aangegeven door de code ###. Van deze groepen wordt voor een opname het aantal aanwezige soorten, de aanwezige bedekking van soorten, of het aantal soorten ten opzichte van een specifiek benoemde andere soortengroep geëvalueerd of ten opzichte van een aangegeven waarde.

<#02 Anagallis-tenella-groep> betekent bijvoorbeeld dat er minstens twee soorten uit de soortengroep "Anagallis-tenella-groep" in de opname aanwezig moeten zijn.

<### Anagallis-tenella-groep GR ### Parnassia-groep> betekent dat er meer soorten uit de eerste groep in de opname moeten zitten dan uit de tweede groep.

<#TC Anagallis-tenella-groep GR 05> betekent dat de soorten uit de Anagallis-tenella-groep samen een bedekking van meer dan 5% moeten hebben.

Bij de criteria worden de *operators* GR (groter dan), GE (groter dan of gelijk aan) en EQ (gelijk aan) gebruikt. Zoals hierboven al is geïllustreerd worden onderdelen van een criterium aangegeven tussen rechte haakjes < en >. De onderdelen worden gekoppeld met AND, OR of NOT en gegroepeerd met kromme haakjes (en). Voorbeelden van alle mogelijke onderdelen van een criterium zijn opgenomen in Tabel 2.

Een criterium beslaat twee regels, waarbij de eerste regel het hiërarchisch niveau aangeeft en de code van de plantengemeenschap (met een naam) waarvoor het criterium geldt. De tweede regel bevat het feitelijke criterium en bestaat uiteindelijk uit een combinatie van enkele tot vele subcriteria die onderling gekoppeld zijn door de *operators*. Dat ziet er bijvoorbeeld als volgt uit:

3 r04Ca1 *Charetum canescentis*

(<##C +01 AQ> AND <#TC Chara-canescens-groep2 GR 00>) AND <Chara connivens GR 25>

Hier staat dat een opname op hiërarchisch niveau 3 aan het *Charetum canescentis* (code r04Ca1) wordt toegeedeeld indien soorten uit de groep AQ (aquatisch) de hoogste totale bedekking hebben binnen het cluster van diagnostische soortengroepen +01, én de totale bedekking van de Chara-canescens-groep2 groter is dan 0%, én als *Chara connivens* meer bedekt dan 25%.

De basis van het gehele Expert Systeem is in de basis zo opgezet dat opnamen worden toegeedeeld aan de associaties of romp- of derivaatgemeenschappen uit de Revisie van de Vegetatie van Nederland op basis van een combinatie van drie criteria-onderdelen:

- De opname (bedekking diagnostische soortengroep) voldoet aan de eisen van een formatie, EN
- de opname (bedekking diagnostische soortengroep) voldoet aan de eisen van een verbond of (soms) orde, EN
- de opname (aanwezige soorten) voldoet aan de eisen van een associatie of romp- of derivaatgemeenschap.

Op deze basis zijn echter allerlei varianten aan criteria ontstaan, waarbij diverse extra subcriteria zijn toegevoegd, 'tussencriteria' zijn geformuleerd binnen een verbond of orde, of waarbij – op laag hiërarchisch niveau – de criteria juist sterk zijn vereenvoudigd. EXPERT is zo ontwikkeld dat in principe eerst (op de hoogste drie niveaus 9 t/m 7) wordt getoetst of een opname voldoet aan de criteria voor bossen of struwelen. Pas daarna wordt getoetst of een opname voldoet aan een plantengemeenschap uit een van de andere formaties. In sommige gevallen is dan ook nog steeds een toedeling aan plantengemeenschappen van bossen en struwelen mogelijk. Het niveau van toedeling zegt niet per se iets over de mate waarin een plantengemeenschap al dan niet goed ontwikkeld (verzadigd) is. Bij toedeling op een relatief lager hiërarchisch niveau zal het weliswaar in veel gevallen om minder

Tabel 2. Overzicht van verschillende soorten criteria die binnen EXPERT worden gebruikt

<Species name EQ 25>	De bedekking van de soort in de opname is groter dan of gelijk aan 25%
<Species name GR #\$\$>	De bedekking van de soort in de opname is groter dan de bedekking van enige andere soort in de opname
<#\$\$ GE 25>	De bedekking van een soort in de opname is groter of gelijk aan 25%
<#TC Sociological species group name GR 05>	De totale bedekking van de sociologische soortengroep is groter dan 5%
<### Sociological species group name>	Tenminste de helft van de sociologische soortengroep is aanwezig in de opname
<#05 Sociological species group name>	Tenminste 5 soorten van de sociologische soortengroep zijn aanwezig in de opname
<### Sociological species group name 1 | ### Sociological species group name 2 GR ### Sociological species group name 3>	Het aantal soorten uit de sociologische soortengroepen 3 en 2 samen is in de opname groter dan het aantal soorten van de sociologische soortengroep 3
<#TC Functional species group name GR #T\$>	De totale bedekking van de soorten uit de functionele soortengroep is groter dan de totale bedekking van alle andere soorten in de opname
<#SC Functional species group name GE #\$\$>	De bedekking van een soort uit de soortengroep is groter dan of gelijk aan de bedekking van enige andere soort in de opname
<###D Diagnostic species group>	Het aantal soorten van de diagnostische soortengroep in de opname is groter dan het aantal soorten van enige andere diagnostische groep binnen hetzelfde cluster
<###C Diagnostic species group>	De totale bedekking van de soorten van de diagnostische soortengroep in de opname is groter dan de totale bedekking van de soorten van enige andere diagnostische groep binnen hetzelfde cluster

goed ontwikkelde voorbeelden van een plantengemeenschap gaan, maar dit hoeft niet per se het geval te zijn.

Op de laagste twee niveaus van criteria (2 en 1) wordt een opname alleen toegedeeld op hoger hiërarchisch niveau (verbond, orde, klasse of formatie).

VERDERE ONTWIKKELING

Het programma EXPERT is ontwikkeld aan de hand van de referentietabellen uit de Vegetatie van Nederland (Schaminée et al. 1995-1999) en aanvullende tabellen voor de “nieuwe” vegetatie-eenheden uit de Revisie Vegetatie van Nederland (Schaminée et al. 2017). Bij het ontwikkelen van EXPERT bleken er op diverse plekken verkeerd toebedeelde opnamen in de referentietabellen te zitten. Deze zijn stuk voor stuk beoordeeld op basis van expertkennis en al dan niet verwijderd. Hierdoor is met de ontwikkeling van EXPERT een vernieuwde set referentietabellen beschikbaar gekomen; deze zijn vastgelegd in het programma SynBioSys (<https://www.synbiosys.alterra.nl/synbiosysnl/>).

Een eerste volledige versie van EXPERT is eind 2020 getest door diverse personen aan de hand van opnamen die op basis van eigen inzicht zijn geïdentificeerd. Naar aanleiding van deze tests is EXPERT verder aangepast, en is het programma (versie 1.0) per 1 januari 2021 beschikbaar gesteld op de website www.synbiosys.alterra.nl, bij de onderdelen TURBOVEG2 en TURBOVEG3. Een aangepaste versie 2.0, naar aanleiding van het samenstellen van de referentietabellen, is op 1 januari 2022 beschikbaar gesteld. Ook deze versie kan in de toekomst nog verbeterd worden, indien er bij de toepassing in de praktijk onjuiste toedelingen naar voren zouden komen of indien er nieuwe plantengemeenschappen beschreven worden. Momenteel (mei 2023) staat een laatste versie V02.3 op de genoemde website.

Op verschillende momenten tijdens de ontwikkeling zijn sets van opnamen uit een kartering (die door de karteerder waren toegeedeeld) vergeleken met de resultaten van EXPERT. Dit kan gezien worden als een onafhankelijke toets, voor een beperkte set vegetatietypen. Zo is een vergelijking gemaakt voor een set opnamen van een vegetatiekartering van het Zwanenwater uit 2020 (Simmelink 2021) tussen de toedeling door de karteerder en de toedeling door EXPERT. Zo'n vergelijking wordt bemoeilijkt omdat zowel EXPERT als de karteerder een opname soms aan meerdere plantengemeenschappen refereert of alleen op een hoger niveau toedeelt. Van de 289 opnamen die op het niveau van associatie of rompgemeenschap wordt toegeedeeld is 66% op dezelfde wijze geïdentificeerd door EXPERT en de karteerder (bij opnamen die dubbel zijn toegeedeeld is één overeenkomstige score als voldoende beschouwd). Op hoger niveau is de overeenkomst respectievelijk 71% (verbond) en 89% (klasse). Waar verschillen optreden, liggen de identificaties in veel gevallen echter dicht bij elkaar. Zo worden bijvoorbeeld 5 opnamen die door de karteerders blauwgrasland (associatie 16Aa1 *Cirsio-Molinietum dissecti*) zijn genoemd door EXPERT geïdentificeerd als RG *Carex panicea-Succisa pratensis*-[*Junco-Molinion*], wat een verarmde vorm van blauwgrasland is, die regelmatig in de duinen voorkomt. De overeenkomst scoort voor deze opnamen 0% op associatie/romp-niveau terwijl het verschil in toedeling eigenlijk niet heel groot is. Een ander voorbeeld zijn twee opnamen die door de karteerders tot 09RG08 (Rompgemeenschap *Eleocharis palustris* subsp. *palustris*-[*Parvocaricetea*]) zijn toegeedeeld, maar relatief lage bedekkingen van de dominante soort *Eleocharis palustris* hebben; deze worden door EXPERT bij de Rompgemeenschap *Mentha aquatica-Hydrocotyle vulgaris*-[*Parvocaricetea*] (09RG11) ingedeeld.

Een probleem met een dergelijke "validatie" van het programma EXPERT is dat het niet duidelijk is welke toedeling de waarheid is. Er is geen onafhankelijke set opnamen waarvan met zekerheid kan worden gezegd dat die correct zijn toegeedeeld. In de hierboven beschreven "validatie" zijn de vegetatietypen waarvoor is ingeschat dat de karteerder de toedeling beter deed dan EXPERT de regels in EXPERT aangepast, om de identificatie beter te krijgen. Daar waar EXPERT beter lijkt te werken (volgens het inzicht van de auteurs van dit artikel), of waar voor beide interpretaties iets valt te zeggen (omdat het een overgang betreft tussen meerdere associaties), zijn de criteria in EXPERT niet aangepast. De validatie geeft zodoende vooral inzicht in welke lokale typen goed in het referentie-

systeem van de *Revisie Vegetatie van Nederland* passen, en welke lastig zijn toe te delen.

DISCUSSIE

EXPERT is een hulpmiddel bij het identificeren van opnamen, net als eerder ontwikkelde programma's als SynDiat (Pot 1997), SALT (De Jong 1997; Kers 2012) en ASSOCIA (Van Tongeren et al. 2008). Bij het gebruik van dergelijke toedelingsprogramma's is het altijd (!) nodig om als gebruiker kritisch te zijn op de uitkomsten van deze algoritmes; de door de programma's voorgestelde identificaties zullen nooit perfect zijn, en het kan regelmatig voorkomen dat de lokale vegetatie niet goed in het systeem is in te passen, of een overgang in ruimte of tijd van de ene naar de andere associatie vertegenwoordigt.

We benadrukken verder dat al deze programma's bedoeld zijn om opnamen te identificeren, en niet om te classificeren. Een classificatie vindt plaats op basis van de floristische variatie binnen de dataset, waarbij overeenkomstige opnamen worden geclusterd, en afwijkende opnamen uit elkaar worden gezet. De indeling in lokale typen is bedoeld om de ecologische variatie in een gebied weer te geven en eventueel op kaart te zetten. Het is dus mogelijk dat binnen een groep opnamen die in een lokale typologie bij elkaar "horen" door EXPERT niet alle opnamen als hetzelfde referentietype worden geïdentificeerd. Een identificatie, zoals in het expert systeem wordt uitgevoerd, verloopt volledig los van de variatie binnen de dataset, omdat wordt getoetst aan onafhankelijke referentietabellen.

Een identificatieprogramma zoals EXPERT kan ook gebruikt worden om opnamen uit een heel grote dataset (bijv. de gehele Landelijke Vegetatie Database of de Europese EVA database, zie Chytrý et al. 2016) te selecteren voor verdere analyses. EXPERT werkt met gegevens over de totale soortensamenstelling in combinatie met criteria op basis van een beperkt aantal relevante diagnostische soorten (kensoorten en differentiërende soorten). In dat opzicht combineert het algoritme de sterke punten uit SynDiat (dat werkt met kensoorten) en ASSOCIA (dat werkt met de totale soortensamenstelling). Het expert systeem lijkt op de todelings sleutel SALT, die voor kweldervegetatie is ontwikkeld (De Jong 1997; Kers 2012). Het algoritme werkt echter anders. SALT deelt opnamen toe via dichotome stappen met eenvoudige regels, waarbij de eerste regel waaraan een opname voldoet als de definitieve toedeling geldt. Bij EXPERT worden alle mogelijkheden onderling gewogen (op negen hiërarchische niveaus) en zijn ook toedelingen aan meerdere plantengemeenschappen mogelijk. Verschillen tussen EXPERT en ASSOCIA zijn in Tabel 3 samengevat.

In TURBOVEG zijn zowel toedelingen door EXPERT als door ASSOCIA beschikbaar. De uitkomsten ervan kunnen naast elkaar worden gezet, zodra de bestaande versie van ASSOCIA is aangepast voor de nieuwe referentietabellen van plantengemeenschappen volgens de 'Revisie van Nederland' (Schaminée et al. 2017). Een verschil tussen EXPERT en ASSOCIA is dat de laatste een opname altijd tot op het laagste niveau toe deelt, zo mogelijk dus tot op subassociatie. EXPERT

Tabel 3. Vergelijking van de werkwijze van EXPERT en ASSOCIA

	EXPERT	ASSOCIA
Gebruikt totale soortensamenstelling	ja	ja ¹
Gebruikt (ook) kenmerkende soorten	ja	nee
Systeem waaraan wordt gerefereerd	Revisie Vegetatie van Nederland	Vegetatie van Nederland
Laagste niveau van toedeling	associatie	subassociatie
Ook toedeling op hogere niveaus	ja	nee ²
Algoritme is navolgbaar	ja ³	nee ⁴
Mate van onzekerheid wordt gegeven	nee ⁵	ja ⁶
Beschikbaar binnen software	TURBOVEG, JUICE	TURBOVEG

voetnoten
¹ ASSOCIA werkt met een maximum likelihood algoritme dat de totale soortensamenstelling van een opname vergelijkbaar met de soortensamenstelling van alle referentieopnames
² ASSOCIA deelt altijd toe op het laagste niveau in het systeem (rompgemeenschap, associatie, subassociatie)
³ Alhoewel ingewikkeld (het tekst-bestand bestaat uit meer dan 35000 regels), is voor elke opname na te gaan waarom een bepaalde toedeling wel of niet tot stand komt
⁴ De toedeling gebeurt via een Maximum likelihood algoritme, en is daarmee een "black box"
⁵ Nee. Feitelijk wordt dit ondervangen door toe te delen op hoger niveau of in sommige gevallen helemaal geen toedeling te geven
⁶ Dit gebeurt aan de hand van een maat van *incompleteness* (zitten de kenmerkende soorten er in) en *weirdness* (zitten er van de referentieset afwijkende soorten in)

deelt toe tot op associatieniveau, maar kan – bij het niet voldoen aan de criteria – ook een toedeling op een hoger hiërarchisch niveau voorstellen. In EXPERT kan precies worden nagegaan waarom een opname wel of niet aan een bepaalde plantengemeenschap wordt toegedeeld. De toedeling door ASSOCIA gebeurt meer in een black box, waarbij wel resultaten voor de mate van betrouwbaarheid worden gegeven (zogenaamde *weirdness* en *completeness*).

De werking van de identificatieprogramma's valideren is lastig. Zoals hierboven beschreven, is bij enkele onafhankelijke datasets met opnamen (die dus niet zijn gebruikt voor de ontwikkeling van EXPERT) bekeken hoe de identificatie van EXPERT overeenkomt met die door een karteerder. Een probleem met deze manier van validatie is dat onduidelijk is welke van de twee identificaties de juiste is. Als de uitkomst van EXPERT niet overeenkomt met die van de kartering kan het zijn dat de karteerder het mis heeft of dat EXPERT niet goed werkt. Oftewel: er bestaat geen absolute waarheid waaraan het programma getoetst kan worden. Een groot voordeel van het algoritme is dat het opnames altijd consistent, volgens vaste regels, toedeelt.

Al met al is EXPERT vooral een verbeterd hulpmiddel bij het identificeren van opnamen. Het is echter nog te vroeg om te concluderen hoe goed het precies werkt: daarvoor zal meer ervaring door gebruikers moeten worden opgedaan. Op dit moment kan het programma het beste naast ASSOCIA gebruikt worden, waarbij een toedeling van beide algoritmes aan dezelfde plantengemeenschap een hoge mate van betrouwbaarheid heeft, en een verschillende toedeling reden is om kritisch zelf te bekijken welke uitkomst het beste lijkt. In alle gevallen moet een gebruiker kritisch blijven ten aanzien van de uitkomsten. We roepen gebruikers op om suggesties om het programma te verbeteren door te geven.

EXPERT kan helpen het vegetatie-onderzoek efficiënter en consistentier te maken. Tegelijkertijd zit daarin de grootste valkuil: het risico bestaat dat gebruikers niet meer kritisch naar hun opnamendata kijken, omdat EXPERT dat voor hen doet.

DANKWOORD

EXPERT is ontwikkeld in opdracht van Bij12. Veel dank gaat uit naar Peter van der Molen van Bij12 die het project heeft aangestuurd. Verder willen we eenieder bedanken die heeft meegeholpen aan het ontwikkelen van het programma, onder meer door een eerste versie te testen: Bas van Gennip, Sandra de Goeij, Marcel Gutter, Tom van Heusden, Rik Huiskes, Bas Kers, Thomas de Meij, Iris de Ronde, Nils van Rooijen, Max Simmelink, Erik Simons, Martin Witteveldt, en Menno van Zijen.

EXPERT – AN ALGORITHM FOR ASSIGNING RELEVÉS TO PLANT COMMUNITIES AND HABITAT TYPES IN THE NETHERLANDS

An expert system called EXPERT has been developed for the identification of vegetation plot descriptions (relevés) in the Netherlands. It is online available as freeware on www.synbiosys.alterra.nl. The algorithm runs in JUICE as well as in TURBOVEG3, and is built on the Floranld_2017 taxonomy of TURBOVEG. The system functions according to other expert systems that have been developed in Europe during the last decade. It is constructed in three sections: one for defining synonym plant names, a second one defining groups of differentiating species, and a third section that includes the assignment rules for all plant communities. These rules – the formal criteria – are defined at nine hierarchical levels. EXPERT assigns relevés to the associations and basal communities of the revised national classification of plant communities (Schaminée et al. 2017), starting with the criteria that are defined at the highest hierarchical level. If a relevé meets a criterium at a high level, it will not be assigned to communities based on criteria at a lower level. In case a relevé doesn't meet the criteria for associations and basal communities, it may be identified at the level of alliance, order, class or formation, or – in a final case – be indicated as “unknown”.

The assignment rules were originally constructed in a consistent way: each rule consists of criteria for a formation (using large groups of diagnostic species), criteria for an alliance (using smaller groups of diagnostic species), and criteria for an association or basal community, using sociological species groups or individual species. However, during the development of EXPERT many exceptions to this basic scheme had to be made, and ultimately the assignment rules may seem rather complicated. For each assigned relevé it is possible to reconstruct on the basis of which species and criteria it was assigned to a certain plant community.

We used large sets of relevés that represent good examples of the associations and basal communities to develop the system, and smaller, independent sets to validate and further improve the results of EXPERT. A problem with validation is that no reference dataset of 'correctly assigned' relevés are available, as assign-

ment by independent scientists is always a subjective procedure based on expert knowledge. The algorithm has therefore the advantage of being consistent and repeatable in its identifications.

EXPERT is a tool that supports vegetation studies by increasing the efficiency and consistency of identification and selection of relevés. However, it should not be used for classification. Its advantage is also the biggest disadvantage: the risk of such tools is that a user doesn't study his or hers data anymore in a critical way, and fully trusts the algorithms.

LITERATUUR

- Chytrý, M., S.M. Hennekens, B. Jiménez-Alfaro, I. Knollová, J. Dengler, F. Jansen, *et al.* (2016) European Vegetation Archive (EVA): an integrated database of European vegetation plots. *Applied Vegetation Science* 19: 173–180.
- Chytrý, M., L. Tichý, S.M. Hennekens, I. Knollová, J.A.M. Janssen, J.S. Rodwell, *et al.* (2020). EUNIS Habitat Classification: expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats. *Applied Vegetation Science* 23: 648-675. DOI: 10.1111/avsc.12519
- Chytrý, M. (2007-2013, ed.). *Vegetace České republiky 1-4*. Academia, Praha.
- De Cáceres, M., M. Chytrý, E. Agrillo, F. Attorre, *et al.* (2015). A comparative framework for broad-scale plot-based vegetation classification. *Applied Vegetation Science* 18: 543-560.
- De Jong, D.J., K.S. Dijkema, J.H. Bossinade & J.A.M. Janssen (1997). SALT97, een programma voor toedeling van vegetatieopnames aan vegetatietypen op de kwelder. Intern rapport Rijkswaterstaat.
- Douda, J., K. Boublík, M. Slezák, I. Biurrun, J. Nociar, A. Havrdová, *et al.* (2016) Vegetation classification and biogeography of European flood-plain forests and alder carrs. *Applied Vegetation Science*, 19: 147-163.
- Hennekens, S.M. (2015). Turboveg v.3 - A gateway to EVA and other databases. In: Chytrý, M., Zelený, D. & Hettenbergerová, E. (red.). *Abstracts of the 58th Annual Symposium of the International Association for Vegetation Science: Understanding broad-scale vegetation patterns*. Masaryk University, Brno.
- Hennekens S.M. & J.H.J. Schaminée (2001). TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 12: 589–591.
- Jarolímeck, I. & J. Šibík (2008, eds.). *Diagnostic, constant and dominant species of the higher vegetation units of Slovakia*. Veda, Bratislava, Slovakia.
- Kočí, M., M. Chytrý & L. Tichý (2003) Formalized reproduction of an expert-based phytosociological classification: a case study of subalpine tall-forb vegetation. *Journal of Vegetation Science* 14: 601-610.

- Kaçki, Z., M. Czarniecka & G. Swacha (2013). Statistical determination of diagnostic, constant and dominant species of the higher vegetation units of Poland. *Monographiae Botanicae* 103: 1-267.
- Kaçki, Z., A. Łysko, Z. Dajdok, P. Kobierski, R. Krawczyk, A. Nowak, S. Rosadziński & A.A. Popiela (2021). Formalized classification of ephemeral wetland vegetation (*Isoëto-Nanojuncetea* class) in Poland (Central Europe). *PeerJ*. Aug 10;9:e11703. doi: 10.7717/peerj.11703.
- Kers, A.S. (2012). SALT sleutel en soorten v2.30. Bijlage bij: Kers, A.S., M. van Splunder, J. Bergwerff & J. Buiks. Productspecificaties Vegetatiekartering v1.50. Rijkswaterstaat, Delft.
- Landucci, F., D. Gigante, R. Venanzoni & M. Chytrý (2013). Wetland vegetation of the class *Phragmito-Magno-Caricetea* in central Italy. *Phytocoenologia* 43: 67-100.
- Marcenò, C., R. Guarino, J. Loidi, M. Herrera, M. Isermann, I. Knollová, *et al.* (2018) Classification of European and Mediterranean coastal dune vegetation. *Applied Vegetation Science* 21: 533-555.
- Peterka, T., M. Hájek, M. Jiroušek, B. Jiménez-Alfaro, L. Aunina, A. Bergamini, *et al.* (2016). Formalized classification of European fen vegetation at the alliance level. *Applied Vegetation Science* 20: 124-142.
- Pot, R. (1997). Het identificeren van vegetatietypen met behulp van de computer. *Stratiotes* 15: 16-27.
- Schaminée, J.H.J., P.W.F.M. Hommel, A.H.F. Stortelder, Weeda, E.J. & Westhoff, V. (1995-1999). De Vegetatie van Nederland 1-5. *Opulus*, Uppsala/Leiden.
- Schaminée, J.H.J., R. Haveman, P.W.F.M. Hommel, J.A.M. Janssen, I. de Ronde, P.C. Schipper, E.J. Weeda, K.W. van Dort & D. Bal (2017). Revisie Vegetatie van Nederland. *Stratiotes* 50/51. Plantensociologische Kring Nederland. Uitgeverij Westerlaan, Lichtenvoorde.
- Simmelink, M. (2021). Vegetatie-, flora-, structuur- en bosstructuurkartering van het Zwanenwater in 2020. Vereniging Natuurmonumenten, Amersfoort.
- Swacha, G., Z. Kacki & T. Zaluski (2016). Classification of *Molinia* meadows in Poland using a hierarchical expert system. *Phytocoenologia* 46(1): 33-47.
- Tichý, L. (2002). JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science* 13: 451-453.
- Van Dort, K., B. van Gennip & M. Schrijvers-Gonlag (2017). De vegetatie van Nederland deel 6. Mossen- en korstmossengemeenschappen. KNNV Uitgeverij, Zeist.
- Van Tongeren, O.F.R., N. Gremmen & S.M. Hennekens (2008). Assignment of relevés to predefined classes by supervised clustering of plant communities using a new composite index. *Journal of Vegetation Science* 19: 525-536.
- Willner, W., B. Jiménez-Alfaro, E. Agrillo, I. Biurrun, J.A. Campos, A., Čarni *et al.* (2017) Classification of European beech forests: a Gordian Knot? *Applied Vegetation Science* 20: 494-512.

Contact: J.A.M. Janssen
 Email: john.janssen@wur.nl