



Integrale analyse van de Natuurlijk kapitaalrekeningen

**Bossen: ecosysteemomvang, -kwaliteit, -diensten en
milieudruk**

Marjolein Lof, Cyril Crutzen, Shaya van Houdt, Sjoerd Schenau, Patrick
Bogaart, Jocelyn van Berkel

CBS Den Haag
Henri Faasdreef 312
2492 JP Den Haag
Postbus 24500
2490 HA Den Haag
+31 70 337 38 00
www.cbs.nl

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
2.	Conceptueel kader: het bosecosysteem als samenhangend systeem	5
2.1	Bos als uitgangspunt	5
2.2	Onderdelen van de Natuurlijk kapitaalrekeningen	5
2.3	Systeemoverzicht bos	6
3.	Ecosysteemdiensten van bos	8
3.1	Producterende ecosysteemdienst: Houtvoorziening	8
3.2	Regulerende ecosysteemdiensten: Koolstofvastlegging en –retentie	16
3.3	Regulerende ecosysteemdienst: Bestuiving	23
3.4	Culturele ecosysteemdiensten: Natuurtoerisme en recreatie	31
4.	Conclusie	43
5.	Aanbevelingen	44
6.	Referenties	45

1. Inleiding

Ecosystemen leveren een breed scala aan baten aan de samenleving, variërend van grondstoffen en klimaatregulatie tot recreatie en biodiversiteit. Deze baten worden ecosystemediensten genoemd en komen niet afzonderlijk tot stand, maar zijn het resultaat van samenhangende processen binnen ecosystemen, die worden beïnvloed door zowel natuurlijke omstandigheden als menselijk handelen. Inzicht in deze samenhang is essentieel om veranderingen in ecosystemen en hun maatschappelijke bijdrage goed te kunnen begrijpen en monitoren. Voor beleidsmakers biedt dit inzicht een basis om de effecten van beleid op ecosystemen en de door ecosystemen geleverde diensten te volgen, waardoor beter onderbouwde keuzes kunnen worden gemaakt op het gebied van natuur, milieu, klimaat en ruimtelijke inrichting.

Binnen de Natuurlijk kapitaalrekeningen (NKR)¹, die door het CBS worden ontwikkeld in samenwerking met Wageningen University & Research (WUR), worden ecosystemen en ecosystemediensten systematisch in kaart gebracht volgens het SEEA Ecosystem Accounting raamwerk (VN, 2021). Daarbij worden onder andere de omvang en kwaliteit van ecosystemen en de levering van ecosystemediensten afzonderlijk gekwantificeerd. Hoewel deze onderdelen conceptueel met elkaar verbonden zijn, wordt de onderlinge samenhang in de huidige uitwerking nog beperkt expliciet gemaakt.

In dit rapport wordt daarom een benadering gekozen, waarbij niet de afzonderlijke ecosystemediensten, maar het ecosysteem zelf centraal staat. Specifiek wordt het boscysteem als uitgangspunt genomen. Bossen vormen een geschikt ecosysteem voor deze analyse, omdat zij meerdere typen ecosystemediensten (producerend, regulerend en cultureel) leveren en tegelijkertijd gevoelig zijn voor veranderingen in beheer, gebruik en milieudruk. Door het bos als samenhangend systeem te beschouwen, kan beter inzicht worden verkregen in de manier waarop verschillende factoren gezamenlijk de levering van ecosystemediensten bepalen.

Deze systeembenadering heeft twee doelen. Ten eerste kan het helpen om te bepalen welke ruimtelijke gegevens nodig zijn om ecosystemediensten beter te uit te werken en te vergelijken met andere factoren, zoals ecosystemekwaliteit en milieudruk. Ten tweede kan het worden gebruikt om te verkennen welke factoren mogelijk samenhangen met veranderingen in ecosystemediensten door de tijd.

De analyse richt zich op vijf samenhangende componenten: de omvang van bosgebieden, de kwaliteit van bossen, de ecosystemediensten die zij leveren, sociaaleconomische factoren die het gebruik en beheer beïnvloeden, en milieudruk die inwerkt op het systeem. Deze componenten worden in onderlinge samenhang beschouwd en visueel samengebracht in een integrale systeemweergave van het boscysteem. Deze systeemweergave vormt de basis voor de verdere analyse in dit rapport.

In deze analyse worden vijf ecosystemediensten nader uitgewerkt: houtvoorziening, koolstofvastlegging en -retentie, natuurtoerisme, natuurrecreatie en bestuiving. Deze selectie maakt het mogelijk om de diversiteit van het boscysteem te illustreren, van producerende en regulerende tot culturele diensten. Per ecosystemedienst wordt onderzocht hoe deze samenhangt met de omvang en kwaliteit van bossen, welke sociaaleconomische factoren en milieudruk relevant zijn, en in hoeverre deze relaties momenteel binnen de NKR worden meegenomen. De analyse bestaat daarbij uit een kwalitatief deel, waarin de relaties tussen de

¹ [Technische toelichting | CBS](#)

verschillende onderdelen van het systeem in kaart worden gebracht, en een verkennend kwantitatief deel, waarin wordt gekeken welke gegevens en indicatoren beschikbaar zijn om deze relaties te onderbouwen. Door beperkingen in beschikbare data en modellen is de kwantitatieve analyse momenteel nog beperkt mogelijk.

Het doel van dit rapport is om de samenhang van de factoren die het bosecosysteem beïnvloeden inzichtelijk te maken en te verkennen hoe deze samenhang beter geïntegreerd kan worden binnen de Natuurlijk kapitaalrekeningen. Hierbij wordt specifiek gekeken welke factoren van invloed zijn op de levering van ecosysteemdiensten en hoe veranderingen in deze factoren de toekomstige levering van ecosysteemdiensten kunnen beïnvloeden. Het bosecosysteem wordt als voorbeeld gebruikt, omdat hiervoor relatief veel gegevens beschikbaar zijn. Dit rapport geeft een overzicht van beschikbare data en indicatoren, ontbrekende informatie en mogelijkheden voor verdere verbetering. De focus ligt op de fysieke en ruimtelijke relaties binnen het systeem; monetaire waardering en downstream-effecten worden slechts beperkt meegenomen.

2. Conceptueel kader: het bosecosysteem als samenhangend systeem

2.1 Bos als uitgangspunt

In dit rapport wordt het bosecosysteem als voorbeeld en uitgangspunt genomen om de samenhang binnen de Natuurlijk kapitaalrekeningen (NKR) te analyseren. Binnen de NKR ligt al relatief veel focus op bos, onder andere vanwege de beschikbaarheid van data over omvang, gebruik en ecosysteemkwaliteit. Bossen spelen daarnaast een belangrijke rol bij de ontwikkeling van indicatoren voor ecosysteemkwaliteit, zoals ecosysteemintegriteit, en sluiten goed aan bij Europese verplichtingen rond ecosysteemrekeningen en monitoring, zoals onder het SEEA EA-raamwerk en de EU-biodiversiteitsstrategie.

Bossen zijn bovendien geschikt om de samenhang tussen ecosysteemdiensten inzichtelijk te maken. Ze leveren een breed spectrum aan diensten, waaronder houtvoorziening, koolstofvastlegging, recreatie en bestuiving, die in sterke mate afhankelijk zijn van dezelfde onderliggende factoren zoals structuur, soortensamenstelling en beheer. Hierdoor werken veranderingen in het bosecosysteem vaak door in meerdere diensten tegelijk.

Een belangrijk voordeel is bovendien dat verschillende aspecten van bossen relatief goed waarneembaar zijn met aardobservatie (Earth Observation). Europese programma's zoals Copernicus bieden consistente en landsdekkende informatie over bijvoorbeeld boomkroonbedekking, vegetatiekwaliteit en veranderingen in tijd. Dit sluit aan bij de toenemende rol van aardobservatie binnen Europese monitoringkaders (zoals CLMS) en biedt kansen om de NKR verder te versterken met ruimtelijk gedetailleerde en frequente gegevens.

Door bos als voorbeeld en uitgangspunt te nemen, ontstaat daarmee een logisch en beleidsrelevant systeem om de samenhang tussen omvang, kwaliteit, diensten, sociaaleconomische factoren en milieudruk integraal te analyseren.

2.2 Onderdelen van de Natuurlijk kapitaalrekeningen

Het bosecosysteem wordt in dit rapport benaderd als een samenhangend systeem waarin meerdere componenten elkaar beïnvloeden. Binnen deze systeembenadering worden vijf hoofdonderdelen onderscheiden: omvang, ecosysteemkwaliteit, ecosysteemdiensten, sociaaleconomische factoren en milieudruk. Deze onderdelen vormen gezamenlijk de basis voor het begrijpen van de werking van het systeem.

De omvang van bosgebieden beschrijft de ruimtelijke verspreiding en oppervlakte van bossen, inclusief de verdeling naar bostypen. Dit vormt de fysieke basis van het ecosysteem en bepaalt in belangrijke mate de potentiële levering van ecosystemendiensten.

De ecosysteemkwaliteit heeft betrekking op de staat en het functioneren van het bos. Dit omvat zowel structurele kenmerken, zoals leeftijdsopbouw en soortensamenstelling, als functionele aspecten zoals productiviteit en vitaliteit. Indicatoren voor ecosysteemintegriteit spelen hierbij een belangrijke rol en worden binnen de NKR en Europese kaders steeds verder ontwikkeld.

De ecosystemendiensten beschrijven de baten die het boscysteem levert aan de samenleving. In dit rapport worden deze niet los beschouwd, maar in relatie tot de onderliggende omvang en kwaliteit van het bos. Hierdoor wordt inzichtelijk hoe veranderingen in het ecosysteem doorwerken in de levering van verschillende diensten.

Sociaaleconomische factoren beïnvloeden hoe bossen worden gebruikt, beheerd en ingericht. Hierbij gaat het onder andere om eigendom, beheerregimes, beleid, toegankelijkheid, bevolkingsontwikkeling en de vraag naar ecosystemendiensten. Binnen dit blok kunnen ook onderlinge relaties bestaan. Zo kan een grotere vraag naar hout of ruimte leiden tot veranderingen in landgebruik of beheer.

Tot slot omvat **milieudruk** de externe factoren die inwerken op het boscysteem, zoals stikstofdepositie, klimaatverandering, verdroging en verstoring. Deze drukfactoren beïnvloeden de ecosysteemkwaliteit en daarmee indirect ook de levering van ecosystemendiensten.

Sociaaleconomische factoren en milieudruk worden als afzonderlijke categorieën beschouwd. Sociaaleconomische factoren beschrijven het gebruik en beheer van bossen, terwijl milieudruk betrekking heeft op de druk die op het ecosysteem wordt uitgeoefend. Wel kunnen sociaaleconomische factoren bijdragen aan milieudruk, bijvoorbeeld wanneer bepaalde vormen van gebruik leiden tot stikstofdepositie of verstoring.

Deze vijf onderdelen staan niet los van elkaar, maar zijn onderling sterk verweven. In de volgende paragraaf wordt deze samenhang verder uitgewerkt in een integrale systeemweergave van het boscysteem.

2.3 Systeemoverzicht bos

In de systeemweergave (*Figuur 1*) staat het boscysteem centraal, waarbij de samenhang tussen ecosysteemomvang, ecosysteemkwaliteit, ecosystemendiensten, milieudruk en sociaaleconomische factoren wordt weergegeven. Binnen dit ecosysteem wordt bij de **ecosysteemomvang** onderscheid gemaakt naar verschillende bostypen, zoals loofbos, naaldbos en gemengd bos, zoals ook gehanteerd binnen de NKR. Tegelijkertijd bestaat bos in de praktijk uit een grotere variatie aan typen, zoals productiebos en natuurbos, en uit specifieke soortensamenstellingen zoals eiken-, beuken- of berkenbossen, evenals meer specialistische vormen zoals wilgenbossen of grienden. Deze variatie is relevant, omdat verschillende bostypen en samenstellingen sterk verschillen in structuur, functioneren en compositie

Bosecosysteem



Figuur 1. Schematische weergave van de samenhang tussen ecosysteemomvang, ecosysteemkwaliteit, ecosysteemdiensten, milieudruk en sociaal-economische factoren binnen het boscysteem.

De staat van het boscysteem wordt bepaald door de **ecosysteemkwaliteit**. Binnen het SEEA Ecosystem Accounting raamwerk wordt deze kwaliteit beschreven aan de hand van vijf samenhangende componenten: abiotische kenmerken, structuur, functie, compositie en landschapkenmerken (SEEA Ecosystem Condition Typology; UN, 2021). Abiotische kenmerken, zoals temperatuur, neerslag, instraling, bodemtype en boniteit², bepalen in belangrijke mate de groeicondities van bos en daarmee de productiviteit en vitaliteit (Bonan, 2008). De structuur van het bos omvat kenmerken zoals boomkronendichtheid, leeftijdsopbouw, boomedichtheid, de aanwezigheid van dood hout en variatie in vegetatiestructuur. Deze structurele eigenschappen zijn bepalend voor onder andere habitatkwaliteit, microklimaat en koolstofopslag (Lindenmayer & Franklin, 2002).

De compositie van het bos heeft betrekking op de aanwezige soorten, waaronder boomsoorten, bodemorganismen en fauna zoals insecten en vogels. Een diverse soortensamenstelling draagt bij aan de stabiliteit en veerkracht van het ecosysteem en is van belang voor functies zoals bestuiving en natuurlijke plaagregulatie (Cardinale et al., 2012). Functionele kenmerken, zoals productiviteit, vitaliteit en bodemkwaliteit, beschrijven hoe het ecosysteem daadwerkelijk functioneert. Tot slot spelen landschapkenmerken, zoals connectiviteit en ruimtelijke samenhang (mozaïek), een belangrijke rol voor soortenuitwisseling en de toegankelijkheid van ecosystemen (Turner et al., 2001).

De ecosystemekwaliteit bepaalt in belangrijke mate de capaciteit van het boscysteem om ecosystemendiensten te leveren, zoals houtproductie, koolstofopslag en -vastlegging, bestuiving, natuurrecreatie en natuurtoerisme. Tegelijkertijd wordt de ecosystemekwaliteit beïnvloed door verschillende vormen van **milieudruk**. Factoren zoals stikstofdepositie, verdroging en klimaatverandering beïnvloeden de abiotische omstandigheden en de vitaliteit van bossen (Bobbink et al., 2010). Daarnaast kunnen recreatiedruk, versnippering en invasieve exoten leiden tot veranderingen in structuur, soortensamenstelling en functioneren van boscystemen (Haddad et al., 2015).

Naast milieudruk spelen ook **sociaaleconomische factoren** een belangrijke rol. In de eerste plaats beïnvloeden zij de milieudruk. Zo kunnen economische activiteiten, landgebruik en recreatie leiden tot extra stikstofdepositie, verstoring of versnippering van natuurgebieden. In de tweede plaats beïnvloeden sociaaleconomische factoren de omvang van de geleverde ecosystemendiensten. Factoren zoals beleid en subsidies, de vraag naar hout, recreatiegedrag en toegankelijkheid beïnvloeden de inrichting, het beheer en het gebruik van bossen. Hierdoor beïnvloeden deze factoren zowel de ecosystemekwaliteit als de levering van ecosystemendiensten.

De systeemweergave maakt daarmee duidelijk dat het boscysteem bestaat uit sterk samenhangende componenten, waarbij veranderingen in één onderdeel kunnen doorwerken in andere onderdelen van het systeem.

3. Ecosystemendiensten van bos

3.1 Producterende ecosystemedienst: Houtvoorziening

Dit hoofdstuk bevat de systeemanalyse van de ecosystemedienst houtvoorziening. Eerst worden alle belangrijke factoren die deze dienst beïnvloeden beschreven in de systeemweergave. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de factoren die momenteel

² Boniteit geeft aan hoe geschikt een locatie is voor de groei van bomen, vaak uitgedrukt als de verwachte groei of productie van een bosbestand onder bepaalde omstandigheden.

onderdeel zijn binnen NKR, inclusief beschikbare cijfers. Tot slot worden de ontbrekende factoren in kaart gebracht.

3.1.1 Systeemweergave

De ecosysteemdienst houtvoorziening geeft de bijdrage van de groei van bomen en andere houtachtige biomassa die worden geoogst voor houtproductie of energetische toepassing weer. Conform de Eurostat-richtlijnen wordt deze ecosysteemdienst gekwantificeerd op basis van een combinatie van de bijgroei van hout in *forest available for wood supply* (FAWS) en de houtoogst in *forest not available for wood supply* (FNAWS). De ecosysteemdienst levert baten (hout) op voor de directe gebruikers: primair de bosbouwsector. De ecosysteembaten kunnen zowel in fysieke eenheden (m³ rondhout) als monetaire eenheden (€) worden uitgedrukt. Als onderdeel van de systeemanalyse zijn alle relevante componenten in kaart gebracht die een rol spelen bij de producerende ecosysteemdienst houtvoorziening. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in **Figuur 2**. Deze figuur laat zien dat de ecosysteemdienst wordt beïnvloed door de drie hoofdfactoren: 1) de omvang van bossen; 2) de ecosysteemkwaliteit van bossen; en 3) sociaaleconomische factoren.

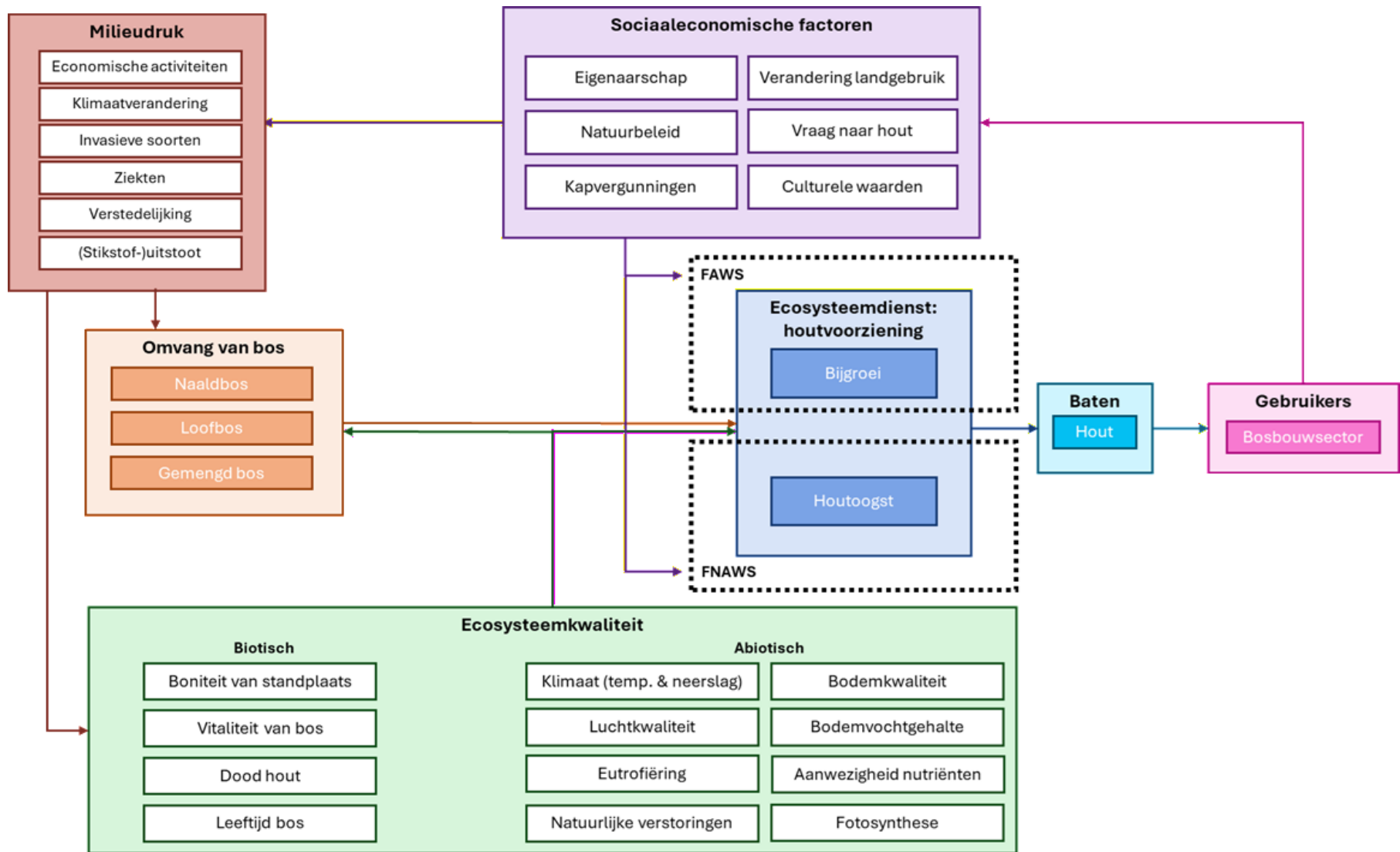
Omvang van bosgebieden

De omvang van het bosareaal heeft een directe positieve relatie met de totale omvang van de ecosysteemdienst houtvoorziening. Een groter bosareaal leidt tot een grotere houtvoorraad, en daarmee een grotere bijgroei en/of een grotere potentiële houtoogst. Het type boscysteem speelt hierbij ook een belangrijke rol. Binnen de NKR ecosysteemtypenkaart wordt onderscheid gemaakt tussen loofbos, naaldbos en gemengd bos³. Deze drie bostypen hebben verschillende bijgroei- en houtoogstkenmerken. Zo hebben naaldbossen een hogere mate van bijgroei en houtoogst dan loofbos en gemengd bos. Het is daarom niet alleen de totale oppervlakte van bos dat houtvoorziening beïnvloedt, maar ook de omvang en verdeling tussen de verschillende bostypen.

Ecosysteemkwaliteit van bossen

De mate van bijgroei en houtoogst van bos zijn een direct gevolg van de ecosysteemkwaliteit, refererend naar de staat en het functioneren van de bossen. Een centrale maatstaf hiervoor is de boniteit van een locatie. Dit weerspiegelt de standplaatsgeschiktheid: de mate waarin de lokale omstandigheden geschikt zijn voor de groei. Dit is afhankelijk van het type bos: zo floreren naaldbossen onder andere ecologische condities dan loofbossen. De boniteit hangt direct samen met de ecosysteemkwaliteit van bossen. Zo spelen abiotische factoren als klimaat, bodemkwaliteit, de aanwezigheid van nutriënten en hydrologische factoren een rol bij de groei, gezondheid en kwaliteit van bomen. Ook hebben biotische factoren zoals de leeftijdsstructuur en vitaliteit van een bos een belangrijke rol op de groeisnelheid en kwaliteit van hout. Deze ecosysteemkwaliteitsfactoren kennen grote geografische verschillen en daarom niet los gezien worden van de omvang en samenstelling van bossen.

³ Momenteel zijn we bezig met een revisie om de onvolkomenheden uit eerdere versies van de ecosysteemtypenkaart te verbeteren. Onderdeel hiervan is tevens de uitsplitsing van bos naar loofbos, naaldbos en gemengd bos conform de Eurostat-richtlijnen. Deze cijfers zijn nog niet gepubliceerd.



Figuur 2. Systemanalyse voor de producerende ecosysteemdienst: houtvoorziening, waarbij de ingekleurde blokjes al geïmplementeerd zijn in het huidige NKR-systeem en de witte nog niet. De pijlen geven aan hoe de verschillende thema's aan elkaar linken.

Sociaaleconomische factoren

Sociaaleconomische factoren spelen zowel een directe als indirecte rol voor de omvang van de ecosysteemdienst. Eigendom van bosgebieden, in combinatie met natuur- en landschapsbeheer beïnvloeden de omvang, inrichting en ecosysteemkwaliteit van bosgebieden. Dit kan zich uiten in veranderingen in landgebruik, zoals (her)bebossing of ontbossing, in de verbetering of verslechtering van ecosysteemkwaliteit, en variaties in economische exploitatie. Daarnaast bepaalt de beschermde status van een bos, in samenhang met kapvergunningen en regelgeving, of houtooft wel (forest available for wood supply - FAWS) of niet (forest not available for wood supply - FNAWS) is toegestaan in een gebied. Ook maatschappelijke en culturele waarden beïnvloeden hoe bosesystemen worden gebruikt en in hoeverre de nadruk ligt op natuurbescherming of op economisch gebruik. De vraag naar hout, bijvoorbeeld voor materiële of energetische toepassing, speelt hierbij een belangrijke rol.

Milieudruk

Milieudruk speelt een belangrijke rol in het functioneren van bossen en werkt daarmee indirect door in houtproductie. Waar sociaaleconomische factoren vooral bepalen waar en hoe mensen bossen gebruiken, beïnvloeden drukfactoren de staat van het ecosysteem zelf, en daarmee de kwaliteit, beschikbaarheid van de houtkap en de groei van bossen (uitgedrukt als Net Primary Production, NPP).

Veranderingen in klimaat, zoals toenemende droogte, mogelijke vermindering van zonuren en hogere temperaturen, hebben directe gevolgen voor de vitaliteit van bossen. Droogtestress kan leiden tot verminderde groei, bladverlies en verhoogde gevoeligheid voor ziekten en plagen. Dit kan leiden tot productieverlies. Een ander gevolg zou kunnen zijn dat er andere bomen worden aangeplant in de productiebossen. Dat kan vervolgens weer leiden tot een aanpassing van de biodiversiteit, waardoor bomen en planten weer anders kunnen gaan groeien.

Stikstofdepositie en bodemverzuring werken door in de soortensamenstelling en bodemkwaliteit. Dit kan leiden tot minder diverse en minder veerkrachtige ecosystemen, waarbij bepaalde plantensoorten domineren en andere verdwijnen. Dit kan weer een effect hebben op de houtproductie.

Op landschapsniveau speelt versnippering een belangrijke rol. Door verstedelijking en infrastructuur worden bosgebieden kleiner en minder verbonden. Dit heeft gevolgen voor de ecosysteemkwaliteit, bijvoorbeeld doordat soorten zich minder goed kunnen verplaatsen en ecosystemen kwetsbaarder worden. Ook is er hierdoor een hoger risico op sterfte van bomen, waarmee versnippering ook effect heeft op het aanbod van geschikt hout voor productie (Feleha et al, 2025).

Milieudruk werkt daarmee door op zowel de kwaliteit als de omvang van bossen, en beïnvloedt via deze weg de levering van ecosysteemdiensten. Veranderingen in vitaliteit, structuur, soortensamenstelling en ruimtelijke samenhang vertalen zich uiteindelijk in verschillen in gebruik, beleving en aantrekkingskracht van bosgebieden. Dit onderstreept dat houtproductie niet los te zien is van de onderliggende ecologische processen en drukfactoren die op het bosesysteem inwerken. **Figuur 2** illustreert hoe deze verschillende hoofdfactoren van houtvoorziening onderling verbonden zijn en elkaar hierdoor beïnvloeden.

3.1.2 Houtvoorziening binnen NKR

Variabelen binnen NKR

Op dit moment wordt binnen de NKR de omvang van de ecosysteemdienst houtvoorziening berekend op basis van de Nationale Bosinventarisatie (NBI), de ecosysteemtypenkaart en Top10NL-terreindata. De NBI is de belangrijkste bron van bos- en hout-gerelateerde informatie in Nederland, waarbij boskenmerken in het veld worden gemeten op basis van steekproeven. De NBI levert meetgegevens op van de bijgroei, houtoogst en het aandeel FAWS en FNAWS, die worden gebruikt bij de berekening van de ecosysteemdienst. De toepassing van NBI-data hebben voor NKR echter drie nadelen:

1. De steekproeven zijn alleen representatief voor heel Nederland, waardoor regionale uitsplitsingen niet betrouwbaar zijn.
2. De NBI wordt om de vijf jaar uitgevoerd, waardoor tussenliggende jaren moeten worden geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd.
3. De exacte steekproeflocaties zijn niet bekend, wat de ruimtelijke modellering van de ecosysteemdienst bemoeilijkt.

Vanwege deze beperkingen is de modellering van houtvoorziening binnen NKR beperkt tot het nationale ruimtelijke schaalniveau. De cijfers worden echter wel uitgesplitst naar de ecosysteemtypen naaldbos, loofbos en gemengd bos.

Trendanalyse

Een trendanalyse is verkennend van aard. De cijfers kunnen helpen om mogelijke samenhangen tussen ecosysteemdiensten en onderliggende factoren zichtbaar te maken, maar zijn niet bedoeld om harde causale conclusies te trekken. Daarvoor zijn de beschikbare tijdreeksen, ruimtelijke detaillering en gegevens over ecosysteemkwaliteit en milieudruk momenteel nog te beperkt.

Tabel 1 geeft een overzicht van alle variabelen die ten grondslag liggen aan de berekening van houtvoorziening binnen de NKR. Op basis van deze cijfers kan een eerste trendanalyse uitgevoerd worden om (mogelijke) correlaties te onderzoeken tussen ecosysteemdienst en de onderliggende omgevings- en ecosysteemkwaliteitsfactoren. De variabelen die worden gebruikt voor de berekening van de ecosysteemdienst zijn uitgesplitst naar loofbos, naaldbos en gemengd bos. Voor gemengd bos wordt uitgegaan van een gemiddelde van loofbos en naaldbos, waarbij dus wordt aangenomen dat dit type bos uit gelijke delen (50%) loof- en naaldhout bestaat. Er wordt voor de berekening van de productie nog een correcte gedaan voor gebieden in bossen die geen bomen bevatten, bijvoorbeeld paden.

Tabel 1 laat zien dat het areaal, de bijgroei en de houtoogst verschillen per bostype, maar dat de trends grotendeels gelijk zijn. Voor naaldbos is er sprake van een daling in bosareaal, bijgroei en houtoogst. Bij loofbos en gemengd bos neemt het areaal toe, maar bijgroei en oogst niet. Deze ontwikkelingen leiden tot een afname van de fysieke waarde van de ecosysteemdienst houtvoorziening. Deze afname verloopt lineair, als gevolg van de toegepaste lineaire interpolatie en extrapolatie van bijgroei en houtoogst op basis van twee bosinventarisaties. De monetaire waarde van houtvoorziening stijgt, door een toenemende prijs van hout-op-stam. Deze prijs kan echter niet worden uitgesplitst naar bostype. Voor de verdeelsleutel van FAWS en FNAWS is momenteel slechts één steekproefpunt beschikbaar, waardoor veranderingen nog niet in modellering meegenomen kan worden.

In de huidige NKR wordt er voor het bepalen van de houtproductie geen gebruik gemaakt van variabelen die te maken hebben met ecosysteemkwaliteit of met de relevante sociaaleconomische factoren (**Figuur 2**). Informatie over dood hout of vraag naar hout is wel beschikbaar vanuit de conditietabellen of vanuit de Nationale Rekeningen, maar dit is op dit moment niet geïntegreerd met de variabele houtproductie. Vanuit de meest recente NBI is echter wél informatie beschikbaar over de ecosysteemkwaliteit (Tabel 2). Uit deze indicatoren blijkt dat Nederlandse bosgebieden tussen de zesde en zevende bosinventarisatie gemiddeld ouder zijn geworden en een grotere hoeveelheid dode biomassa bevatten. Deze ontwikkeling correleert met de afname van de gemiddelde bijgroei en wordt toegeschreven aan de bevordering van meer natuurlijk bosbeheer (Schelhaas et al., 2022).

Tabel 1. Data van de onderliggende onderdelen van houtvoorziening⁴⁵.

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Trend
Variabelen										
Areaal (km ²)	Totaal	3.630	3.637	3.646	3.644	3.644	3.655	3.641	3.658	
	Loofbos	1.345	1.342	1.349	1.353	1.355	1.360	1.348	1.369	
	Naaldbos	917	912	902	897	890	888	885	879	
	Gemengd bos	1.368	1.383	1.395	1.394	1.399	1.407	1.408	1.410	
Bijgroei (m ³ /ha)	Totaal	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3	6,3	
	Loofbos	6,6	6,6	6,5	6,5	6,5	6,4	6,4	6,4	
	Naaldbos	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	
	Gemengd bos	7,1	7,0	6,9	6,8	6,6	6,5	6,4	6,3	
Oogst (m ³ /ha)	Totaal	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	
	Loofbos	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	
	Naaldbos	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1	
	Gemengd bos	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1	
Aandeel FAWS (%)	Totaal	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	
Aandeel FNAWS (%)	Totaal	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	
Hout-op-stam prijs (€ per m ³)	Totaal	41,4	38,2	41,4	32,9	43,4	46,8	53,5	56,3	
Ecosysteemdienst: houtvoorziening										
Fysieke waarde (x1000 m ³)	Totaal	1962	1923	1882	1841	1801	1762	1715	1682	
	Loofbos	631	620	611	602	592	581	565	561	
	Naaldbos	556	538	517	503	487	472	458	443	
	Gemengd bos	775	765	754	736	722	709	692	678	
Monetaire waarde (mln euro)	Totaal	81	74	78	61	78	82	92	95	
	Loofbos	26	24	25	20	21	22	25	25	
	Naaldbos	23	21	22	17	26	27	30	32	
	Gemengd bos	32	29	31	24	31	33	37	38	

⁴ StatLine - Ecosysteemomvang; ecosysteemtypen, regio

⁵ StatLine - Aanbod van ecosysteemdiensten; fysiek en monetair, regio

Tabel 2. NBI factoren over ecosysteemkwaliteit (Schelhaas et al., 2022)

NBI-indicator	NBI-6 (2012-2013)	NBI-7 (2017-2021)
Gemiddelde ouderdom bos (jaar)	59	65
Dode voorraad, staand (m ³ /ha)	6,1	10,0
Dode voorraad, liggend (m ³ /ha)	6,6	9,2

3.1.3 Ontbrekende indicatoren

De systeemanalyse toont aan dat voor de twee belangrijkste parameters van houtvoorziening – bijgroei en houtoogst – data beschikbaar is via de NBI. Deze data zijn echter beperkt geschikt voor gedetailleerde ruimtelijke en temporele modellering. Een verbetering is mogelijk door toevoeging van ecosysteemkwaliteitsfactoren, die momenteel ontbreken binnen NKR. De NBI bevat hiervoor relevante informatie, maar deze kent ook beperkingen in ruimtelijke dekking en actualiteit. Ondanks deze beperkingen blijft de NBI de best beschikbare bron voor bosgegevens in Nederland. Daarom moet er actief samengewerkt worden met Probos (de uitvoerende organisatie van de NBI) om de toepassing van deze data in NKR te verbeteren. Daarbij wordt ook afstemming gezocht met andere Europese statistieken, zoals de bosbouwrekeningen. In dit kader is onder meer een nieuwe verdeelsleutel voor FAWS en FNAWS ontwikkeld, die binnen NKR zal worden toegepast (Teeuwen & Velthuis, 2024).

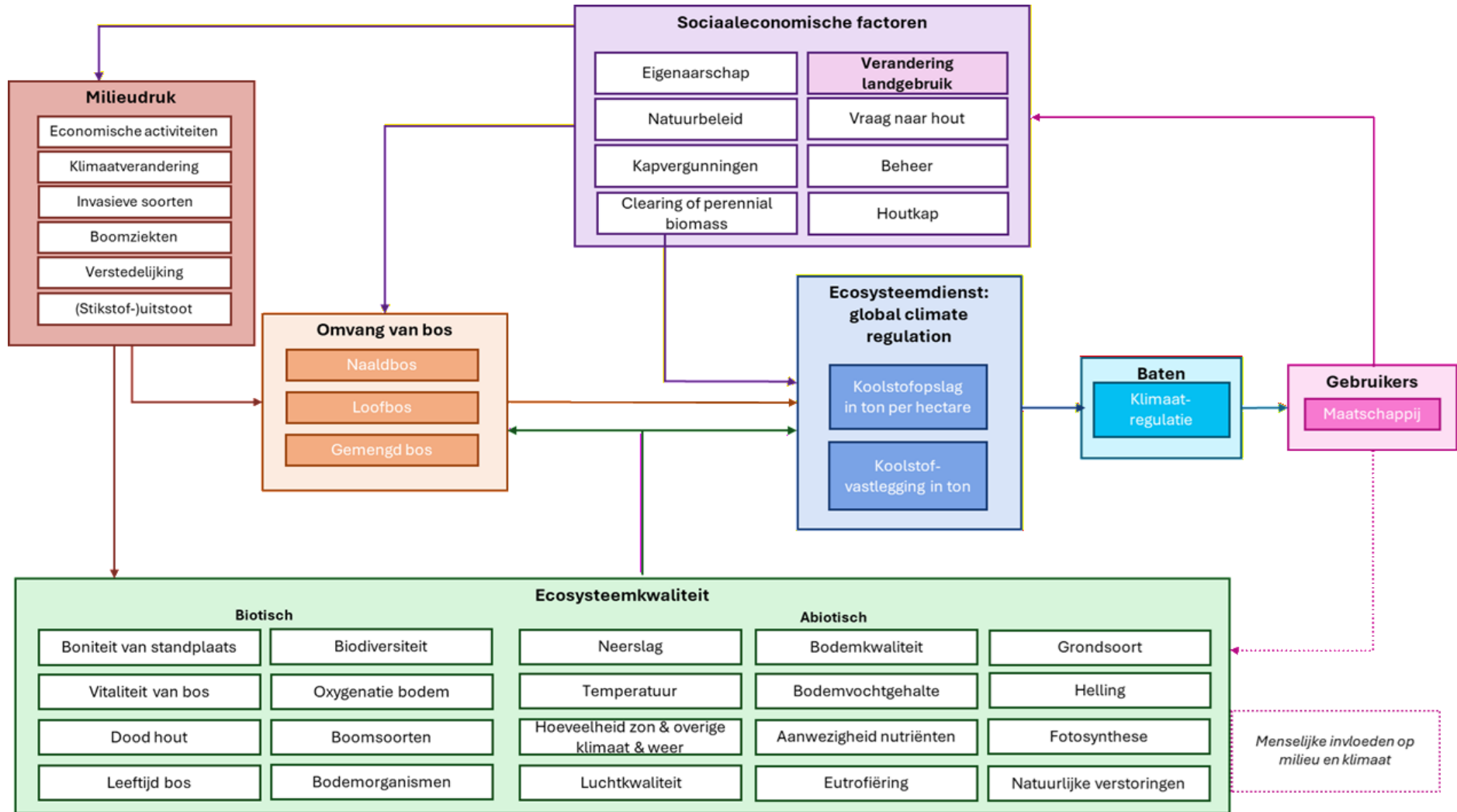
Een andere databron die gebruikt kan worden om de groei van bosbouw te monitoren is de Netto Primaire Productie (NPP). Er zijn ruimtelijke databronnen beschikbaar waarin het aantal gram koolstof per m² per jaar beschikbaar is voor rasters. Deze databronnen moeten nog geïntegreerd worden met de overige factoren die effect hebben op de houtproductie, maar zijn geschikt voor een verdeling van de houtproductie op een ruimtelijk niveau.

Verder wordt in het kader van de Europese verordening dit jaar een deel van de ontbrekende ecosysteemkwaliteitsindicatoren ontwikkeld. Deze betreffen dood hout, de boomkronendichtheid en de index van de broedvogels in bossen. Deze indicatoren bieden informatie over de staat van boscystemen, en kunnen daarmee bijdragen aan de modellering of verklaring van houtvoorziening. Daarnaast ontbreken momenteel sociaaleconomische factoren in de modellering van houtvoorziening, alsook geschikte studies met informatie over de relatie tussen sociaaleconomische factoren, milieudruk en houtvoorziening. Data over landeigendom of natuurbeheer zou dit kunnen verbeteren. Momenteel loopt er een pilot-onderzoek naar de toepassing van Kadasterdata binnen NKR. De bevindingen uit dit onderzoek kunnen bijdragen aan een betere modellering van ecosysteemdiensten.

Concluderend kan de modellering van de ecosysteemdienst houtvoorziening verbeterd worden door het integreren van data over ecosysteemkwaliteit en sociaaleconomische factoren. Om de samenhang en afruilen tussen de ecosysteemdienst en de genoemde componenten goed te kunnen analyseren, is echter een (meer) gedetailleerdere ruimtelijke en temporele modellering noodzakelijk – iets wat momenteel nog onvoldoende ontwikkeld is. De prioriteit voor vervolgonderzoek moet daarom ook liggen bij een verbeterde toepassing van NBI-data, eventueel aangevuld met andere databronnen, om de bijgroei en houtoogst beter te kunnen modelleren. Hierdoor wordt het ook mogelijk om de effecten van ecosysteemkwaliteit en sociaaleconomische omstandigheden op houtvoorziening (en vice versa) beter in kaart te brengen.

3.2 Regulerende ecosystemendiensten: Koolstofvastlegging en –retentie

Dit hoofdstuk bevat de systeemanalyse van de ecosystemedienst koolstofvastlegging- en retentie. Dit kan gezien worden als twee losse diensten, maar voor het doel van de systeemanalyse voldoet het om deze diensten samen te nemen. Eerst worden alle belangrijke factoren van deze dienst beschreven in de systeemweergave. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de factoren die momenteel onderdeel zijn binnen NKR, inclusief beschikbare cijfers. Tot slot worden de ontbrekende factoren in kaart gebracht.



Figuur 3. Systemanalyse voor de regulerende ecosysteemdiensten: Koolstofvastlegging en -retentie (toegesplitst op bossen), waarbij de ingekleurde blokjes al geïmplementeerd zijn in het huidige NKR-systeem en de witte nog niet. De pijlen geven aan hoe de verschillende thema's aan elkaar linken.

De ecosysteemdiensten koolstofvastlegging en koolstofretentie beschrijven de bijdrage van ecosystemen, en in dit rapport specifiek bossen, aan het wereldwijde systeem van koolstofregulatie. Hierdoor wordt in het systeem van de SEEA de gebruiker aangeduid als 'overheid'. Het gaat hierbij om regulerende ecosysteemdiensten, waarbij de bijdrage van ecosystemen aan het welzijn van mens en natuur centraal staat. Doordat de hoeveelheid broeikasgassen, waaronder CO₂, in de atmosfeer leidt tot *global warming* wordt de vasthoudingsdienst ook wel *global climate regulation* genoemd.

Het is goed om te benoemen dat de ecosysteemdienst koolstofvastlegging als doel heeft de netto vastlegging te meten. Dit houdt in dat de negatieve bijdragen van bossen aan koolstofopname (zoals houtkap, celademhaling, emissies uit de bodem en ecosysteemverstoringen) ook bijgeteld moeten worden in de berekening. Dit betekent dat deze ecosysteemdienst in sommige ecosystemen negatief kan zijn. Het wordt – in Europa - aangenomen dat de koolstofopname in bossen hoger is dan de koolstofuitstoot, en daarmee de dienst koolstofvastlegging positief is, al zijn er signalen dat bossen misschien niet meer de *carbon sinks* zijn die ze eerst waren (ESA, 2025). Juist milieudruk is een grote oorzaak voor de afname van het koolstofopnemend karakter van bossen in Europa en de rest van de wereld.

Binnen de ecosysteemdienst koolstofvastlegging wordt onderscheid gemaakt tussen koolstof opgeslagen in biomassa en koolstof opgeslagen in de bodem (Soil Organic Matter, SOM). Bossen zijn een belangrijk ecosysteem voor de opslag van koolstof in biomassa. Van de totale hoeveelheid koolstof die in biomassa in Nederland is opgeslagen, bevindt zich 65 procent in bosccosystemen. Voor de opslag van koolstof in de bodem zijn bossen relatief minder belangrijk. Van de totale hoeveelheid koolstof die in Nederlandse bodems is opgeslagen, bevindt zich 8 procent in bossen. Dit hangt samen met het feit dat een groot deel van de bodemkoolstof in Nederland voorkomt in veengebieden, terwijl bossen slechts beperkt op dergelijke bodems voorkomen.

De diensten koolstofvastlegging en koolstofretentie zijn aan elkaar gerelateerd. Vastlegging van koolstof leidt uiteindelijk tot retentie. In vastlegging wordt er gekeken wat de *flow* van jaar-op-jaar is, en bij retentie naar de voorraad van alles wat is opgenomen in biomassa en de bodem.

De bijdrage van bossen aan deze koolstofvastlegging wordt binnen de NKR zowel in fysieke als in monetaire termen beschreven. Voor zowel koolstofvastlegging als retentie wordt dit weergegeven in ton. Om aan te sluiten bij de richtlijnen van Eurostat moet dit aantal ton gedeeld worden door het aantal hectaren areaal van het ecosysteem. Voor koolstofretentie zijn er alleen fysieke resultaten beschikbaar. CBS heeft nog geen doorvertaling naar monetaire waarden.

Als onderdeel van de systeemanalyse worden de factoren die van invloed zijn op deze ecosysteemdiensten in kaart gebracht. De resultaten hiervan zijn weergegeven in **Figuur 3**, waarin de samenhang tussen het boscysteem en het aanbod van koolstofvastlegging en – retentie schematisch is weergegeven. In de volgende paragrafen worden deze factoren verder uitgewerkt.

Er is een hoge mate van correlatie tussen de factoren die van invloed zijn op de houtproductie en de factoren die van invloed zijn op koolstofvastlegging. Dit komt voort uit het feit dat koolstofvastlegging en houtproductie (op langere termijn) wezenlijk hetzelfde proces zijn. De koolstof die een boom vastlegt wordt namelijk grotendeels omgezet in hout. Daaruit volgt dus ook dat factoren die van invloed zijn op de houtproductie invloed hebben op koolstofvastlegging. Een wezenlijk verschil is dat een bos in een boekhoudkundig opzicht alleen hout kan produceren wanneer bomen (potentieel) ook zullen worden gekapt, terwijl

koolstofvastlegging en –vasthouding juist de groei en het blijven staan van de bomen beschrijft. Desalniettemin zijn de variabelen die onder de groei van de bossen liggen belangrijk voor zowel houtproductie en de koolstofdiensten. Bij een duurzame houtproductie, waarbij er niet veel gekapt wordt, zal er ook genoeg koolstof vastgehouden blijven (Biber et al, 2020).

Omvang van bossen

De omvang van bosgebieden vormt een belangrijke basis voor de mate waarin de koolstofdiensten geleverd worden. Hoe meer bossen en bomen er zijn, des te meer koolstof deze bomen hebben opgevangen en worden vastgelegd. Ook de leeftijd van het bos is belangrijk. Jongere bossen nemen per jaar meer koolstof op, maar oudere bomen hebben in totaal een hogere koolstofopslag (Birdsey et al, 2025). Dit volgt ook uit de verhouding tussen de diensten dat vastlegging de jaarlijkse *flow* is en retentie de voorraad van koolstof voorstelt.

Binnen de NKR wordt de omvang van bosgebieden afgeleid uit de ecosysteemtypenkaart, waarin onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende bostypen. Deze omvang vormt de ruimtelijke basis voor de verdere modellering en toedeling van koolstofvastlegging en -vasthouding. Hierbij wordt meer koolstofopname toebedeeld aan loofbossen dan aan naaldbossen. Gemengde bossen zitten hier tussenin.

Ecosysteemkwaliteit van bossen

Zoals genoemd in het hoofdstuk over houtproductie, is de mate van bijgroei en houtoogst van bos een direct gevolg van de ecosysteemkwaliteit, refererend naar de staat en het functioneren van de bossen. Een centrale maatstaf hiervoor is de boniteit van een locatie. Dit weerspiegelt de standplaatsgeschiktheid: de mate waarin de lokale omstandigheden geschikt zijn voor de groei. Dit is afhankelijk van het type bos: zo floreren naaldbossen onder andere ecologische condities dan loofbossen. De boniteit hangt direct samen met de ecosysteemkwaliteit van bossen. Zo spelen abiotische factoren als klimaat, bodemkwaliteit, de aanwezigheid van nutriënten en hydrologische factoren een belangrijke rol bij de groei, gezondheid en kwaliteit van bomen. Ook hebben biotische factoren zoals de leeftijdsstructuur en vitaliteit van een bos een belangrijke rol op de groeisnelheid en kwaliteit van hout. Verder kan de biodiversiteit van een bos de groei helpen of beperken. Deze ecosysteemkwaliteitsfactoren kennen grote geografische verschillen en kunnen in de context van houtvoorziening en daarmee ook de koolstofvastlegging en -vasthouding daarom niet los gezien worden van de omvang en samenstelling van bossen.

Sociaaleconomische factoren

Sociaaleconomische factoren spelen zowel een directe als indirecte rol voor de omvang van de ecosysteemdienst. Eigendom van bosgebieden, in combinatie met natuur- en landschapsbeheer beïnvloeden de omvang, inrichting en ecosysteemkwaliteit van bosgebieden. Dit kan zich uiten in veranderingen in landgebruik, zoals (her)bebossing) of ontbossing, in de bevordering of verslechtering van ecosysteemkwaliteit, en variaties in economische exploitatie. Daarnaast bepaalt de beschermde status van een bos, in samenhang met kapvergunningen en regelgeving, of houtoogst wel (FAWS) of niet (FNAWS) is toegestaan in een gebied. De omvang van de kap heeft natuurlijk een effect op de omvang van het bos, en daarmee ook de hoeveelheid vastgehouden koolstof. Ook maatschappelijke en culturele waarden beïnvloeden hoe bosesystemen worden gebruikt en in hoeverre de nadruk ligt op natuurbescherming of op economisch gebruik. De vraag naar hout, bijvoorbeeld voor materiële of energetische toepassing, speelt hierbij een belangrijke rol.

Milieudruk

Milieudruk speelt een belangrijke rol in het functioneren van bossen en werkt daarmee indirect door in de mate van koolstofopname en koolstofopslag. Waar sociaaleconomische factoren vooral bepalen waar en hoe mensen bossen gebruiken, beïnvloeden drukfactoren de staat van het ecosysteem zelf, en daarmee de groeisnelheid en de kwaliteit van de bomen.

Veranderingen in klimaat, zoals toenemende droogte, mogelijke vermindering van zonuren en hogere temperaturen, hebben directe gevolgen voor de vitaliteit van bossen. Droogtestress kan leiden tot verminderde groei, bladverlies en verhoogde gevoeligheid voor ziekten en plagen. Dit kan leiden tot een krimp in de groei van bomen, en daarmee de koolstofopname. Het is ook mogelijk dat bomen sneller sterven hierdoor. Een ander gevolg zou kunnen zijn dat er door klimaatverandering een andere biodiversiteit in de bossen gaat zijn, wat weer een invloed kan hebben op de samenstelling van bomen en planten die koolstof opvangen en vasthouden.

Stikstofdepositie en bodemverzuring werken door in de soortensamenstelling en bodemkwaliteit. Dit kan leiden tot minder diverse en minder veerkrachtige ecosystemen, waarbij bepaalde bomen- en plantensoorten domineren en andere verdwijnen. Dit kan weer een effect hebben op de koolstofbalans, aangezien verschillende bomen verschillende koolstof opvangende kwaliteiten kunnen hebben.

Op landschapsniveau speelt versnippering een belangrijke rol. Door verstedelijking en infrastructuur worden bosgebieden kleiner en minder verbonden. Dit heeft gevolgen voor de ecosysteemkwaliteit, bijvoorbeeld doordat soorten zich minder goed kunnen verplaatsen en ecosystemen kwetsbaarder worden. Hierdoor vindt er minder natuurlijke koolstofopvang plaats.

Milieudruk werkt daarmee door op zowel de kwaliteit als de omvang van bossen, en beïnvloedt via deze weg de levering van ecosystemendiensten. Veranderingen in vitaliteit, structuur, soortensamenstelling en ruimtelijke samenhang vertalen zich uiteindelijk in verschillen in gebruik, beleving en aantrekkingskracht van bosgebieden. Dit benadrukt dat koolstofopvang niet los te zien is van de onderliggende ecologische processen en drukfactoren die op het bosecosysteem inwerken. **Figuur 2** illustreert hoe deze verschillende hoofdfactoren van houtvoorziening onderling verbonden zijn en elkaar hierdoor beïnvloeden.

3.2.1 Koolstofvastlegging en retentie binnen NKR

Variabelen binnen NKR

De huidige methodiek binnen NKR maakt in een directe zin weinig gebruik van de factoren die invloed hebben op de diensten koolstofvastlegging en –opslag. Hierbij is het goed om eerst te kijken naar koolstofvastlegging. Op het huidige moment wordt er gebruik gemaakt van *lookup tables* per ecosysteem. Hier wordt ervan uitgegaan dat een hectare loofbos 1,8 ton koolstof per jaar opneemt, een hectare dennenbos 0,5 ton koolstof per jaar en gemengde bossen daartussen zitten, met 1,1 ton koolstof per jaar. Deze cijfers betreffen de netto koolstofvastlegging. Daarbij is er dus rekening gehouden met in het bijzonder sterfte en oogst (Arets, 2018).

In deze *lookup tables* wordt er dus niet gekeken naar de situatie per gebied, maar worden gemiddelde waarden over heel Nederland in ogenschouw genomen. Deze totale waarden zijn daarmee wel gebaseerd op gemiddelde klimaat-, ecosysteem- en sociaal-economische factoren in Nederland. Op basis van deze *lookup tables* is er echter geen manier om te analyseren wat er gebeurt met de koolstofopslag en -vastlegging als er iets verandert wat invloed heeft op de koolstofopslag en -vastlegging. De enige manier om dit nu mee te nemen is het aanpassen van de gegevens in de *lookup tables* wanneer er nieuwe kerncijfers in de literatuur zijn.

Voor koolstofopslag (biomassa) wordt er ook gebruik gemaakt van *lookup tables*. Hierbij zijn de waarden 106,9 ton koolstof per hectare voor loofbos, 59,3 ton koolstof per hectare voor naaldbos en 88,3 ton koolstof per hectare voor gemengde bossen. Deze waarden zijn gebaseerd op basisjaar 2012 en vervolgens doorgerekend naar vastleggingscijfers uit Arets 2018.

Voor koolstofopslag in de bodem zijn er databronnen die op een gedetailleerd niveau de koolstof in de bovenste 30 cm en meter beschikbaar hebben (Van Tol-Leender et al., 2019). Voor diepten beneden de meter is de GeoTOP beschikbaar (TNO-GDN, 2025). Hierbij zijn de bodemtypen beschikbaar, en kan op basis van het veen geschat worden hoeveel koolstof er in de bodem is. Hierdoor kan de totale koolstofopslag van de boscosecosystemen berekend worden.

CBS en WUR zijn aan het kijken of er vervolgstappen kunnen worden gemaakt met de koolstofvastlegging en –vasthoudingsdiensten. Een van de problemen met het gebruik van de *lookup tables*, voor zowel vastlegging als vasthouding is dat de waardes binair zijn. Een plek in Nederland is of wel een bos, of geen bos. Zoals eerder genoemd is er een wezenlijk verschil in koolstofopslag of een bos jong is of al volwassen is.

Ook zijn er op dit moment verschillen tussen de resultaten in NKR en de resultaten die uit LULUCF komen (Van Baren et al, 2024). Er wordt gekeken voor vastlegging of de NKR-resultaten herijkt kunnen worden naar de totalen van LULUCF, maar er zijn verschillen in de aannames die onder het model zitten, waaronder welke ecosysteem de dienst kunnen leveren. Voor koolstofretentie wordt er in principe niet gekeken naar verandering van de methode. Als er data beschikbaar komen over leeftijd van bossen, kan het zijn dat dit toch het geval wordt.

Trendanalyse

Net als bij de analyse van houtvoorziening is deze trendanalyse verkennend van aard en bedoeld om mogelijke samenhangen zichtbaar te maken, niet om causale verbanden vast te stellen.

Tabel 3 laat de resultaten zien vanuit koolstofopslag en –vastlegging. Aangezien op dit moment enkel areaal leidend is voor de numerieke resultaten uit de diensten, is de ontwikkeling van de diensten gelijk aan de ontwikkeling in het bosareaal. Een uitzondering is koolstofopslag in de bodem, die uitgaat van geografische data op een laag niveau, maar ook hier is een sterke correlatie te zien met het areaal. Voor koolstofopslag zijn alleen fysieke waarde beschikbaar, aangezien CBS de doorrekening naar monetaire waarden nog niet heeft bepaald.

Tabel 3. Data van de onderliggende onderdelen van koolstofvastlegging en -retentie⁴⁵.

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Trend
Variabelen										
Areaal (km ²)	Totaal	3.630	3.637	3.646	3.644	3.644	3.655	3.641	3.658	
	Loofbos	1.345	1.342	1.349	1.353	1.355	1.360	1.348	1.369	
	Naaldbos	917	912	902	897	890	888	885	879	
	Gemengd bos	1.368	1.383	1.395	1.394	1.399	1.407	1.408	1.410	
Koolstofvastlegging (ton/ha)	Totaal	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
	Loofbos	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	
	Naaldbos	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
	Gemengd bos	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
Koolstofopslag (ton/ha)	Totaal	87,9	87,9	88,0	88,1	88,1	88,2	88,1	88,3	
	Loofbos	106,9	106,9	106,9	106,9	106,9	106,9	106,9	106,9	
	Naaldbos	59,3	59,3	59,3	59,3	59,3	59,3	59,3	59,3	
	Gemengd bos	88,3	88,3	88,3	88,3	88,3	88,3	88,3	88,3	
Prijs per ton koolstof (scenario hoog)	Totaal	182	188	195	202	209	216	224	232	
Ecosysteemdienst: koolstofvastlegging										
Fysieke waarde (x1000 ton)	Totaal	438	440	441	442	442	444	442	445	
	Loofbos	242	242	243	244	244	245	243	246	
	Naaldbos	46	46	45	45	44	44	44	44	
	Gemengd bos	150	152	153	153	154	155	155	155	
Monetaire waarde (mln euro)	Totaal	79	84	86	89	92	96	99	103	
	Loofbos	44	46	47	49	51	53	54	57	
	Naaldbos	8	9	9	9	9	10	10	10	
	Gemengd bos	27	29	30	31	32	33	35	36	
Ecosysteemdienst: koolstofopslag										
<i>Totale opslag</i>										
Fysieke waarde (mln ton)	Totaal	100,6	101,2	101,9	102,4	102,8	103,5	103,6	104,6	
	Loofbos	46,5	46,6	47,0	47,4	47,6	48,0	47,9	48,8	
	Naaldbos	19,5	19,4	19,2	19,1	19,0	19,0	19,0	18,9	
	Gemengd bos	34,7	35,3	35,7	35,9	36,2	36,5	36,7	36,9	
<i>Waarvan opslag in biomassa</i>										
Fysieke waarde (mln ton)	Totaal	33,5	34,0	34,6	35,0	35,5	36,1	36,4	37,0	
	Loofbos	15,2	15,4	15,7	16,0	16,3	16,6	16,7	17,2	
	Naaldbos	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	
	Gemengd bos	12,7	13,0	13,2	13,4	13,6	13,8	14,0	14,2	
<i>Waarvan opslag in bodem</i>										
Fysieke waarde (mln ton)	Totaal	67,1	67,2	67,3	67,3	67,3	67,5	67,2	67,5	
	Loofbos	31,3	31,2	31,3	31,4	31,3	31,4	31,2	31,6	
	Naaldbos	13,8	13,7	13,6	13,5	13,4	13,4	13,3	13,2	
	Gemengd bos	22,0	22,3	22,5	22,5	22,6	22,7	22,7	22,7	

3.2.2 Ontbrekende indicatoren

In de huidige NKR zijn geen variabelen beschikbaar over de ecosysteemkwaliteit of de relevante sociaaleconomische factoren. Het streven is om leeftijd van het bos mee te nemen voor koolstofvastlegging. Er zijn verder veel indicatoren die theoretisch goed zijn om mee te nemen in het model, maar dan moet de informatie wel beschikbaar zijn. Het lijkt er niet op dat er binnenkort grote veranderingen in het model worden toegevoegd, maar als er iets beschikbaar is met informatie uit de literatuur welk effect het heeft op de koolstofdiensten, kan dit bekeken worden. Ook de variabelen die in de condition accounts worden meegenomen, dood hout, broedvogels in bossen en boomkroondichtheid, zouden gebruikt kunnen worden om het model te verbeteren. Hierbij moet er wel onderzoek gevonden die het effect van deze variabelen op koolstofopslag en -opname verklaart.

Een andere databron die gebruikt kan worden om de omvang en groei van bosbouw te monitoren is de Net Primary Production. Er zijn ruimtelijke databronnen beschikbaar waarin het aantal gram koolstof per m² per jaar beschikbaar is voor rasters. Deze databronnen moeten nog geïntegreerd worden met de overige factoren die effect hebben op de koolstofopname, maar zijn geschikt voor een verdeling van de koolstofopname op een ruimtelijk niveau. Dit kan verder dan weer geïntegreerd worden met de dienst voor koolstofretentie.

3.3 Regulerende ecosysteemdienst: Bestuiving

Dit hoofdstuk bevat de systeemanalyse van de ecosysteemdienst bestuiving. In de systeemweergave worden eerst alle belangrijke factoren van deze dienst beschreven. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de factoren die momenteel onderdeel zijn binnen de NKR en welke factoren van belang zijn in hoe de dienst uitgerekend wordt volgens de Europese richtlijn. Tot slot worden ontbrekende factoren in kaart gebracht.

3.3.1 Systeemweergave

De regulerende ecosysteemdienst bestuiving geeft de bijdrage van ecosystemen aan de opbrengst van landbouwgewassen die afhankelijk zijn van bestuiving door bestuivers. Het model wat gebruikt wordt voor de berekening van deze dienst is gebaseerd op het Lonsdorf et al. (2009) model. Dit is een veelgebruikt model om de ecosysteemdienst bestuiving te modeleren. Voor de NKR is het model uitgebreid om de bijdrage van ecosystemen aan de levering van bestuiving in de gewassen te bepalen⁶. Binnen de NKR wordt deze ecosysteemdienst gekwantificeerd op basis van een combinatie van de geschiktheid van ecosystemen om nestgelegenheid en bloemvoedsel te leveren aan wilde bestuivers, de verspreiding van bestuivers over het landschap en de mate dat de oogst van een gewas afhankelijk van bestuiving door insecten. Deze opzet heeft veel overeenkomsten met het model dat voorgesteld wordt in de Eurostat-richtlijnen, maar is niet precies hetzelfde. Een verschil is, dat in het Nederlandse model de verspreiding van de bestuivers vanuit de geschikte ecosystemen berekend wordt met een ruimtelijk expliciet model waarbij de bijdrage aan bestuiving afneemt met toenemende afstand tot het gewasperceel. In de Eurostatrichtlijnen ontvangen alle bestuivingsafhankelijke gewassen binnen het bereik van ecosystemen die geschikt zijn voor bestuivers 100% bestuiving en gewassen buiten bereik 0% bestuiving. Beide modellen hebben een component waarin de geschiktheid van ecosystemen voor het leveren van bestuivers berekend wordt aan de hand van de geschiktheid als nestgelegenheid en voor het leveren van voedsel van bloemen. Voor de Europese richtlijn wordt deze (waar mogelijk) nog aangevuld met gegevens over waar bijen voorkomen ("species distribution models").

⁶ (tech doc. NKR) (<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/natuur-en-milieu/natuurlijk-kapitaal/technische-toelichting>)

De overige verschillen komen we op terug in paragraaf 3.3.3 ontbrekende factoren. De baten van de bestuiving van bestuivingsafhankelijke gewassen wordt uitgedrukt in vermeden opbrengstverlies in ton (fysiek) en euro (monetair). Als onderdeel van de systeemanalyse binnen de NKR zijn alle relevante componenten in kaart gebracht die een rol spelen bij de bestuiving dienst. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in **Figuur 4**. De figuur laat zien dat de levering van deze ecosysteemdienst door bossen⁷ wordt beïnvloed door vier hoofdfactoren: 1) de omvang van bossen; 2) de ecosysteemkwaliteit van bossen, 3) de sociaaleconomische factoren; en 4) de milieudruk. Van deze vier factoren worden de donkergekleurde blokjes meegenomen in het model, terwijl de witgekleurde blokjes niet meegenomen worden, of in geval van ecosysteemomvang wel meegenomen wordt maar niet de focus op ligt in deze rapportage. In de volgende paragrafen gaan we dieper in op de factoren.

Omvang van bossen

De omvang van bossen heeft een positieve relatie met de levering van de dienst bestuiving. Bossen zijn een habitat voor wilde bestuivers. Bossen voorzien in hoge mate in nestgelegenheid zowel in kleine holtes in bomen als holtes in de bodem. Daarnaast herbergen ze bloemen die als voedselbron dienen voor wilde bestuivers.

Ecosysteemkwaliteit van bossen voor bestuivers

De kwaliteit van bossen om als bronhabitat van bijen en hommels te dienen is afhankelijk van de beschikbaarheid van nestgelegenheid en aanwezigheid van bloemen die als voedsel dienen voor wilde bestuivers. De bestuiving dienst is ook afhankelijk van abiotische factoren als temperatuur en neerslag. Bijen en hommels zijn actiever op warme en droge dagen. Daarnaast bepaalt ook instraling de activiteit van bestuivers, op zonnige dagen zijn bestuivers ook al bij lagere temperaturen actief. Daarnaast is ook de connectiviteit van geschikte habitats voor bestuivers in het landschap van belang. Bossen die in verbinding staan met ander bossen of andere geschikte habitats voor bestuivers kunnen in potentie meer bestuivers herbergen dan een geïsoleerd stukje bos in verder ongeschikt habitat voor bestuivers.

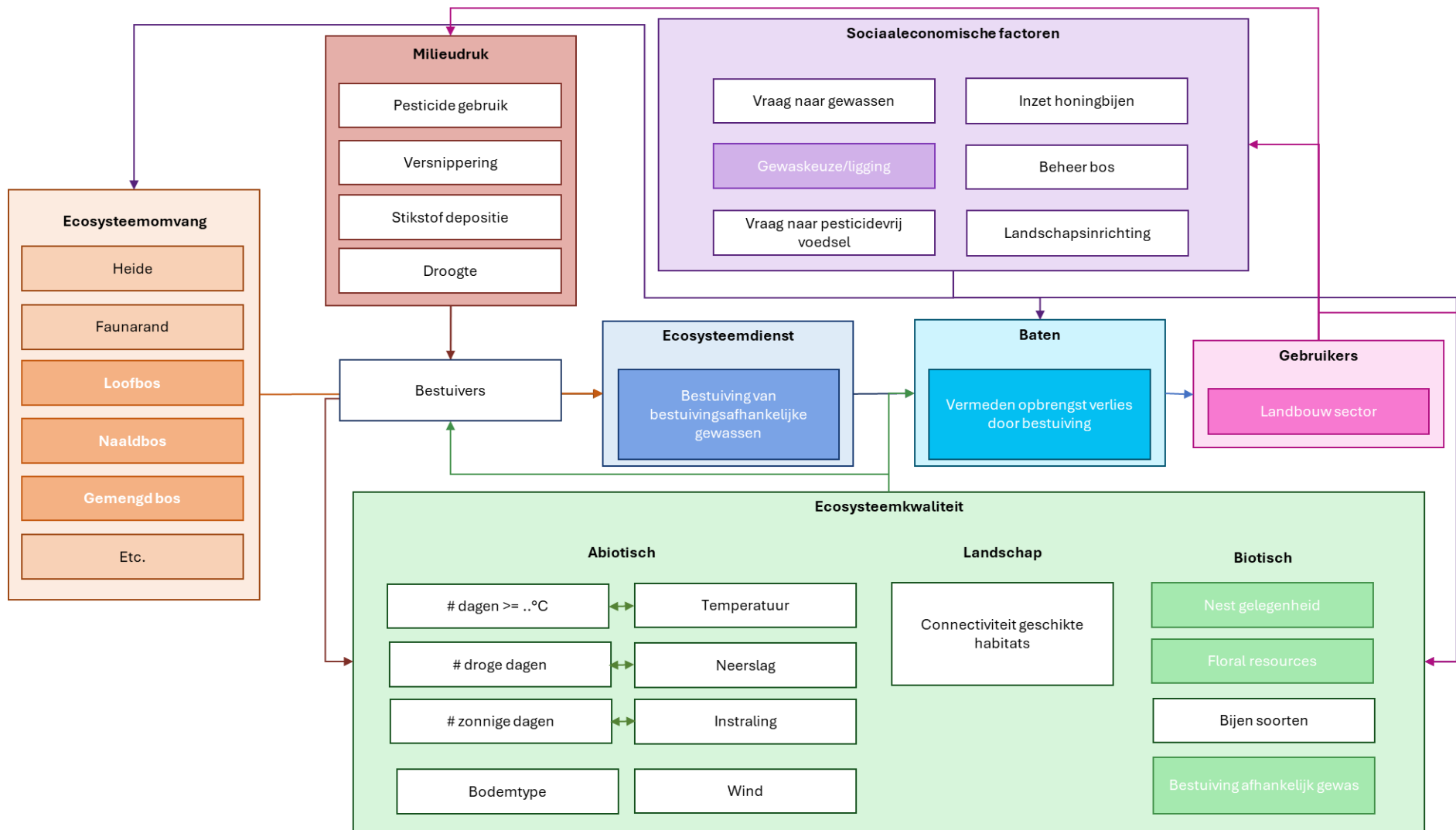
Sociaaleconomische factoren

Het beheer van het bos en de inrichting van het landschap zijn sociaaleconomische factoren die het aanbod van de bestuivingsdienst kunnen beïnvloeden. Daarnaast zou de vraag naar pesticidevrij voedsel via de milieudruk pesticide gebruik en het effect daarvan op de ecosysteemkwaliteit herbergen van bijensoorten ook effect kunnen hebben op het aanbod van bestuivers vanuit bos. De vraag naar gewassen vanuit de maatschappij, en de gewaskeuze door de boeren bepalen waar er bestuiving nodig is. Daarnaast speelt voor de dienst ook de nabijheid van de ecosystemen, zoals bos, die bestuivers leveren tot de gewassen die bestuiving nodig hebben een rol. Bestuivers zijn zogenaamde 'central place foragers' wat betekent dat ze vanuit een vaste plek (hun nest) uitvliegen om te foerageren en daar ook weer naar terug keren. Als gevolg hiervan worden gewassen die dicht bij ecosystemen met geschikte nestgelegenheden vaker bezocht dan gewassen verder weg. In de ecosysteemdienst wordt nadrukkelijk gekeken naar de bijdrage van wilde bestuivers aan bestuiving van gewassen. De inzet van honingbijen in beheer van een imker wordt hierbij niet meegenomen. De inzet van honingbijen kan wel de vraag naar bestuiving door wilde bestuivers verlagen. In gebieden met weinig andere bloem voedselbronnen kan de inzet van honingbijen voor extra concurrentie om voedsel zorgen (milieudruk).

⁷ De focus in deze rapportage ligt op de levering van diensten door bossen. Er zijn echter meerdere ecosystemen die de ecosysteemdienst bestuiving leveren.

Milieudruk

Pesticidegebruik, versnippering, stikstof depositie en droogte, zijn als belangrijke milieudrukfactoren geïdentificeerd. Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in de landbouw beschermt niet alleen het gewas tegen plagen, ziektes en concurrentie met onkruid maar heeft ook een ongewenste invloed op nuttige insecten als bestuivers en natuurlijke vijanden van plagen. Deze invloed kan direct zijn door direct contact met het pesticide in het gewas, maar ook indirect door effect op vegetatie en de abundantie van insecten populaties in natuurlijke habitats in het agrarisch landschap. Ook stikstof depositie en droogte hebben een indirect effect op bestuivers omdat ze de compositie van de vegetatie dan wel de voedselbeschikbaarheid door de vegetatie beïnvloeden. Biodiversiteit is het hoogst in vegetaties met een lage beschikbaarheid van stikstof. Versnippering van geschikte habitats voor bestuivers in het landschap, beïnvloed de geschiktheid van het landschap voor duurzame aanwezigheid van wilde bestuivers.



Figuur 4. Systeemanalyse van ecosystemedienst bestuiving (toegesplitst op bossen), waarbij de ingekleurde blokjes al geïmplementeerd zijn in het huidige NKR-systeem en de witte nog niet. De pijlen geven aan hoe de verschillende thema's aan elkaar linken.

3.3.2 Bestuiving binnen NKR

Variabelen binnen NKR

Binnen de NKR wordt de bijdrage van semi-natuurlijke ecosystemen aan bestuiving van gewassen berekend in vijf stappen. De eerste stap bepaald de capaciteit van het landschap om bestuivers te leveren. De mate van geschiktheid voor nesten en het herbergen van bloemen die als voedsel dienen voor wilde bestuivers (wat valt onder ecosysteemkwaliteit) dienen als proxy voor de aanwezigheid van bestuivers in bossen. Loofbos wordt, op heide na, meegenomen als meest geschikt habitat voor bestuivers. Ook gemengd bos is een belangrijke habitat voor bestuivers. Voor het toekennen van de geschiktheid wordt de ecosysteemtype kaart gecombineerd met kengetallen over de geschiktheid van ecosystemen om bestuivers te leveren. De tweede stap bepaald de vraag naar bestuiving door gewassen. In deze stap wordt de kaart met gewaspercelen gecombineerd met de mate waarop de oogst afhangt van bestuiving door wilde bestuivers. Gewassen als koolzaad zijn bijvoorbeeld maar voor minder dan 5% van de oogst afhankelijk van bestuiving door insecten, terwijl de oogst van appels of pompoenen heel sterk afhangen van bestuiving door insecten. In de derde stap wordt een ruimtelijk verspreidingsmodel gebruikt om de bestuiving in de gewaspercelen te berekenen. In een vierde stap worden de baten, het vermeden opbrengstverlies in de gewaspercelen, bepaald aan de hand van de berekende mate van bestuiving en gegeven mate van afhankelijkheid van de oogst van bestuiving. In een laatste stap wordt vervolgens berekend wat de bijdrage van de verschillende ecosystemen is geweest aan het vermeden opbrengstverlies. In het huidige model wordt het landschap kwaliteitskenmerk connectiviteit van geschikte habitats niet meegenomen, ook worden abiotische kwaliteitskenmerken die van invloed zijn op de activiteit van wilde bestuivers zoals temperatuur, neerslag en instraling niet meegenomen. De sociaaleconomische factor gewaskeuze (uitgedrukt in ruimtelijke indeling van de gewassen) wordt wel meegenomen en bepaald mede de vraag naar de dienst bestuiving. Ook wordt de landschapsinrichting via de omvang van de ecosystemen meegenomen. De factor vraag naar pesticidevrij voedsel kan nog niet meegenomen worden omdat biologische landbouw nog niet apart onderscheiden wordt.

Vergelijking NKR met Eurostat richtlijn

Het NKR-model voor de bestuivingdienst komt in grote mate overeen met wat beschreven wordt in de Eurostat richtlijnen. De richtlijn van Eurostat volgt in hoofdlijnen dezelfde vijf stappen, echter zit er nog wel verschillen in de implementatie ervan. In de eerste stap die de capaciteit van het landschap om bestuivers te leveren bepaald, wordt een combinatie gemaakt van de methode die in de NKR gebruikt wordt waarin ecosystemen worden gekoppeld aan geschiktheid voor nestgelegenheid en bloemen als voedselbron, en kaarten over abundantie van bestuivers (gebaseerd op "species distribution models"). De relatieve weging van deze twee methoden hangt af van de data beschikbaarheid en het vertrouwen in de modellen. Ook zit er nog een extra stap in het koppelen van de ecosystemen aan de geschiktheid voor wilde bestuivers. Omdat het de ecosysteemtype kaart van de EU op level 1, de ecosysteemtypen op hoofdniveau, niet voldoende detail bevat om alle geschikte habitats en ongeschikte habitats goed te onderscheiden, kunnen extra kaartlagen toegevoegd worden waarbij o.a. agrarisch natuurbeheer de geschiktheid lokaal kan verhogen en de aanwezigheid van bijvoorbeeld wegen de geschiktheid kan verlagen. De ecosysteemtypen zoals gebruikt in Nederland hebben grotendeels al voldoende detail niveau om deze aspecten mee te kunnen nemen. Alleen landschapselementen als smalle heggen zijn nog niet allemaal goed in kaart gebracht. Zodra hier data over beschikbaar is nemen we dit mee in de NKR. Ook wordt aan bosranden een hogere geschiktheid toegekend. Daarnaast wordt in de Eurostat richtlijnen de geschiktheid van ecosystemen voor bestuivers nog geschaald aan de hand van een "Foraging activity index"

gebaseerd op gemiddelde maand temperatuur gedurende de dag en de gemiddelde instraling, in de maanden dat de bestuivers actief zijn. Dit gemiddelde wordt berekend over 3 jaar, rondom het rekenjaar. De tweede stap, het bepalen van de vraag naar bestuiving door de gewassen is vergelijkbaar als in de NKR, alleen wordt dit op basis van de MFA-classificatie gedaan, in plaats van via de basisregistratie gewaspercelen. De grootste verschillen zitten in stap 3-5, in deze stappen worden in de Eurostat richtlijnen een vereenvoudiging gedaan dat alle gewasvelden die binnen een bepaalde afstand tot de ecosystemen die bestuivers herbergen de volledig vraag naar bestuiving ontvangen. Terwijl dit in het NKR-model afhankelijk is van het hele lokale landschap en de bijdrage aan bestuiving afneemt met een grotere afstand tot het perceel. Ook modelleren ze minimaal twee soortgroepen bestuivers, bestuivers die op korte afstand gewassen bestuiven en bestuivers die lange afstanden kunnen overbruggen om gewassen te bestuiven. In het bestuiving model in de NKR gaan we uit van een groep bestuivers en is de afstand gebaseerd op de gemiddelde afstand over een grote groep bijen en hommels. Deze afstand is vrij groot en komt meer overeen met de lange afstand bestuivers. Er is in het Europese model de mogelijkheid om meer dan twee soorten bestuivers(groepen) mee te nemen.

Trendanalyse

Conform de eerder beschreven aanpak betreft dit een verkennende trendanalyse waarin mogelijke samenhangen worden onderzocht.

Tabel 4 geeft een overzicht van de ontwikkeling door de tijd van variabelen en indicatoren die van invloed zijn op de ecosysteemdienst bestuiving, aangevuld met extra indicatoren voor ecosysteemkwaliteit die potentieel ook invloed hebben op de levering van de dienst en in het Europese model meegenomen worden. Hieruit blijkt dat het totaal areaal bestuivingsafhankelijk gewas in Nederland redelijk stabiel was, maar in 2023 flink is gestegen. Deze stijging zit met name in het areaal met gewas dat een kleine tot matige afhankelijkheid heeft van bestuiving door wilde bestuivers. Dit is terug te zien in de sterke afname in gemiddelde afhankelijkheid van bestuiving in 2023 van rond de 40 procent van de oogst naar ongeveer 34 procent van de oogst. Het areaal met gewas met een sterke afhankelijkheid van bestuiving laat een licht dalende trend zien. Wanneer gekeken wordt naar de set aan indicatoren voor de ecosysteemdienst is te zien dat het vermeden opbrengstverlies in fysieke waarden sinds 2016 met 17 procent is afgenomen. Dit kan niet verklaard worden door de levering van de dienst in percentage bestuiving of in percentage van het potentiële opbrengstverlies dat vermeden is. Beide indicatoren zijn relatief stabiel en nemen juist iets toe over de jaren met respectievelijk 2,5 procent en 0.8 procent. De daling in fysieke termen is gerelateerd aan de gewaskeuze, de afname van gewas met een sterke afhankelijkheid van bestuiving, zoals appels, die een relatief hoge opbrengst per areaal hebben. De bijdrage van bos aan het vermeden productieverlies in fysieke termen ligt redelijk constant rond de 23 procent van het totale vermeden productieverlies. Ondanks de toename van het areaal bos is door de totale afname de absolute bijdrage toch afgenomen.

Tabel 4. Data van onderliggende variabelen en indicatoren, aangevuld met extra indicatoren voor ecosysteemkwaliteit, van de ecosysteemdienst bestuiving⁴⁵.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Trend
Ecosysteemomvang									
Totaal (km ²)	41542	41542	41543	41543	41543	41543	41543	41543	
Bebouwde omgeving	6676	6679	6708	6737	6762	6784	6816	6839	
Stedelijk groen en recreatie	933	925	921	914	912	894	891	881	
Akker- en tuinbouwgebieden	10630	10626	10676	10667	10558	10563	10630	10653	
Bestuivingafhankelijk gewas (totaal)	384	400	401	408	402	409	389	480	
Gewas met kleine afhankelijkheid	124	134	133	140	141	144	122	188	
Gewas met matige afhankelijkheid	62	67	69	67	64	67	71	97	
Gewas met sterke afhankelijkheid	187	187	188	188	184	182	181	177	
Gewas waar bestuiving essentieel is	11	12	11	12	13	16	16	17	
Graslanden	10469	10469	10377	10359	10445	10424	10342	10267	
Bosgebieden	3630	3637	3646	3644	3644	3655	3641	3658	
Naaldbos	917	912	902	897	890	888	885	879	
Loofbos	1345	1342	1349	1353	1355	1360	1348	1369	
Gemengd bos	1368	1383	1395	1394	1399	1407	1408	1410	
Heide- en stuifzandgebieden	517	516	518	524	529	529	527	533	
Moeras- en veengebieden	355	349	351	353	346	344	344	349	
Rivieren en kanalen	975	978	977	976	982	983	985	988	
Meren en reservoirs	2733	2738	2748	2746	2751	2751	2752	2757	
Duin- en kustgebieden	503	510	508	513	506	498	497	500	
Marien en getijdengebied	4120	4117	4114	4110	4108	4119	4119	4119	
Ecosysteemkwaliteit									
Gem. afhankelijkheid gewas (%)	40,0	39,1	39,1	38,7	38,5	38,5	40,2	34,4	
Temperatuur (°C), gem. april-sept	17,7	17,3	19,2	17,8	18,3	16,6	18,2	18,1	
Neerslagsom (mm), totaal april-sept	249,9	237,5	122,2	277,8	158,8	273	232,6	276,5	
Wind (m/s), gem. april-sept	3,6	3,5	3,5	3,6	3,7	3,5	3,4	3,7	
Instraling (J/cm ²), gem. april-sept	119	118	130	129	133	117	135	130	
Aantal dagen >= 25 °C, april-sept	27	20	45	24	29	17	31	35	
Aantal zonnige dagen, april-sept	83	79	104	92	107	74	115	100	
Aantal droge dagen, april-sept	113	113	137	124	124	113	139	119	
Ecosysteemdienst									
Bestuiving (%)	69,9	70,2	70,0	70,7	70,5	71,0	71,1	72,4	
Percentage van potentiële opbrengst	72,7	73,2	73,1	73,5	73,7	73,7	73,4	73,4	
Vermeden opbrengstverlies (%)	29,1	28,7	28,6	28,5	28,3	28,4	29,5	25,2	
Vermeden opbrengstverlies (kton)									
Totaal	352	292	338	332	319	308	306	293	
Bijdrage naaldbos	6	5	5	5	5	5	5	5	
Bijdrage loofbos	64	51	60	59	56	54	53	51	
Bijdrage gemengd bos	14	12	13	13	12	13	12	12	
Vermeden opbrengstverlies (mln. €)									
Totaal	306	357	374	332	371	374	325	290	
Bijdrage naaldbos	12	13	13	12	12	12	11	9	
Bijdrage loofbos	56	63	67	59	66	66	58	51	
Bijdrage gemengd bos	24	27	28	27	26	26	24	20	

3.3.3 Ontbrekende indicatoren

Uit de systeemanalyse blijkt dat sociaal-economische factoren, milieudruk en landschapskenmerken nog nauwelijks meegenomen worden in de huidige berekening van de ecosysteemdienst bestuiving. Drie van de ontbrekende factoren, inzet van honingbijen, pesticidegebruik en connectiviteit van het landschap hebben mogelijk wel een effect op de levering van de dienst. De inzet van honingbijen verlaagd potentieel de overblijvende vraag naar bestuiving, terwijl pesticide gebruik en verminderde connectiviteit van het landschap (versnippering) het aanbod van wilde bestuivers beïnvloed. Er is echter onderzoek nodig om het effect van pesticide gebruik op wilde bestuivers en het effect van versnippering te kwantificeren. In het Europese model voor de ecosysteemdienst bestuiving worden een aantal variabelen meegenomen die ook relevant kunnen zijn voor het Nederlandse model. Onderzoek laat zien dat bestuivers die kortere afstanden af kunnen vliegen een sterkere relatie hebben met de dichtheid van bestuivers in gewaspercelen (Grondard et al., in prep). Het is aan te bevelen om deze groep bestuivers mee te nemen in de berekeningen. Daarnaast worden in het model kaarten over abundantie van bestuivers (gebaseerd op "species distribution models") meegenomen. Deze zijn nog niet ontwikkeld voor Nederland, maar het op te zetten monitorings netwerk voor bestuivers voor de Natuur Herstel Verordening kan in de toekomst hier wel relevante informatie voor genereren. Ook landschapselementen als smalle heggen zijn nog niet allemaal goed in kaart gebracht. Zodra hier data over beschikbaar is nemen we dit mee in de NKR. In de Eurostat richtlijnen de geschiktheid van ecosystemen voor bestuivers geschaald aan de hand van een "Foraging activity index" gebaseerd op gemiddelde maand temperatuur gedurende de dag en de gemiddelde instraling, in de maanden dat de bestuivers actief zijn. In potentie zou het interessant zijn om mee te kunnen nemen of een jaar een 'goed' jaar was voor bestuiving. Hoe dit berekend zou moeten worden staat nog open. De huidige Europese implementatie, waarin ook instraling en temperatuur van een jaar later dan het rekenjaar meegenomen wordt is niet geschikt voor die toepassing. Idealiter, zou het cijfer een index moeten zijn hoe het rekenjaar zich verhoudt tot een gemiddeld Nederlands jaar.

3.4 Culturele ecosystemendiensten: Natuurtoerisme en recreatie

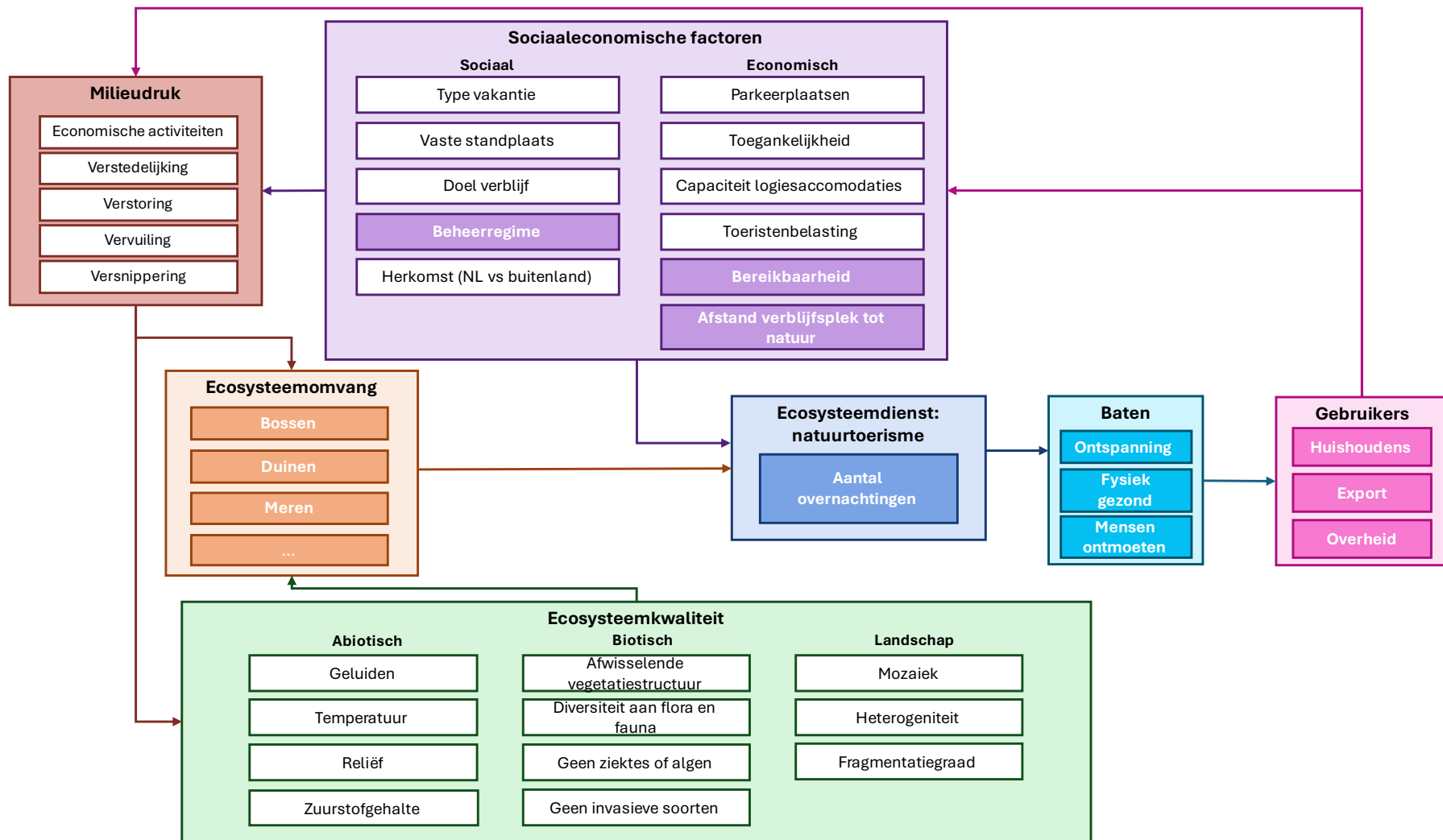
3.4.1 Systeemweergave

De ecosystemendiensten natuurrecreatie en natuurtoerisme beschrijven de bijdrage van ecosystemen, en in dit rapport specifiek bossen, aan het gebruik en de beleving van natuur door mensen. Het gaat hierbij om culturele ecosystemendiensten, waarbij niet-materiële baten centraal staan, zoals ontspanning, gezondheid en het ervaren van natuur.

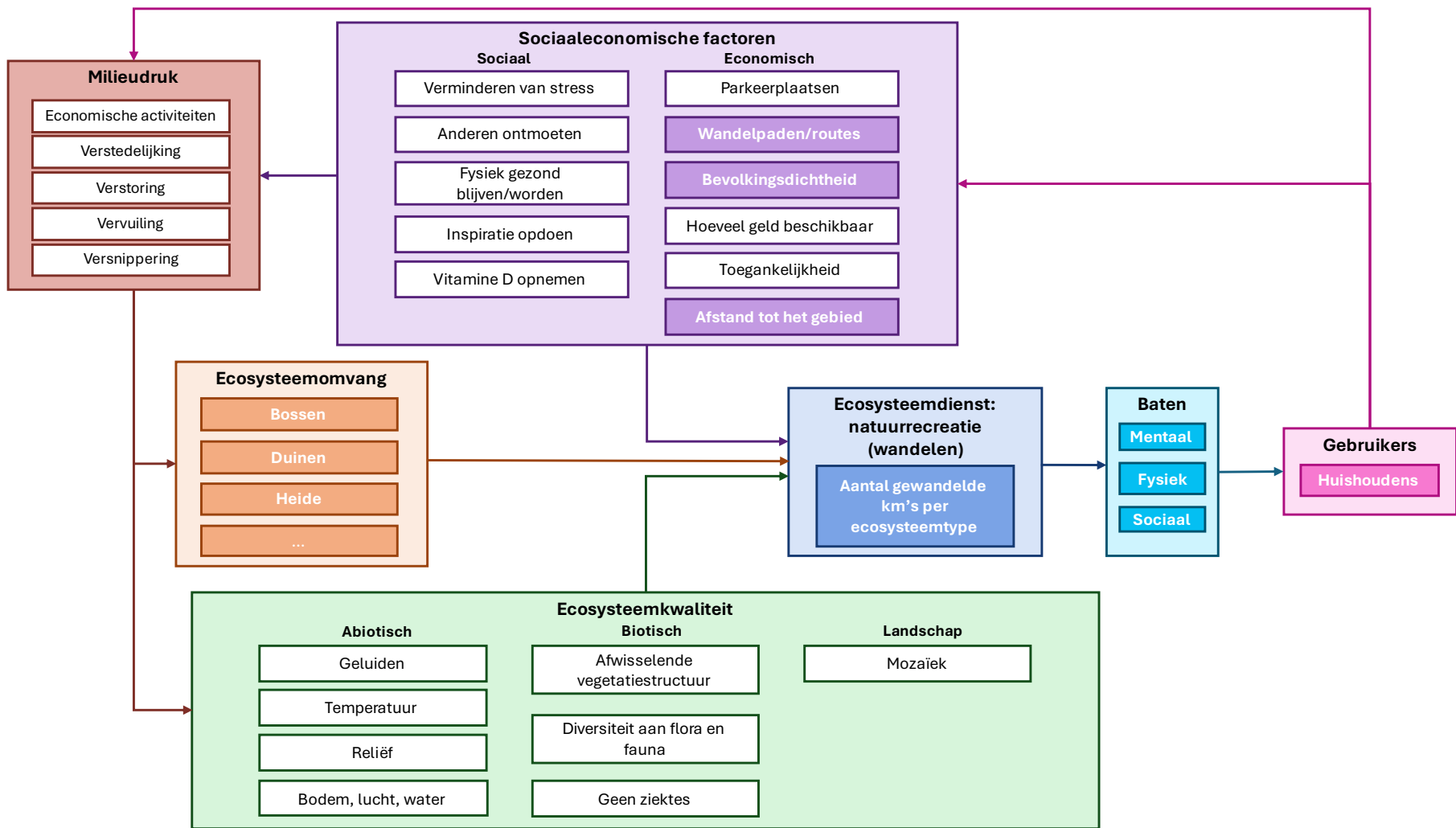
Binnen deze diensten kan onderscheid worden gemaakt tussen kortdurend gebruik, zoals dagrecreatie in de vorm wandelen en fietsen, en meerdaags gebruik in de vorm van toerisme. Beide vormen zijn gebaseerd op dezelfde onderliggende ecosystemen, maar verschillen in schaal en gebruikspatronen. Waar recreatie vaak lokaal en routinematig is, hangt toerisme sterker samen met de keuze voor een bestemming en verblijf.

De bijdrage van bossen aan deze diensten wordt binnen de NKR zowel in fysieke als in monetaire termen beschreven. Voor natuurrecreatie gaat het daarbij om gebruik, uitgedrukt in bijvoorbeeld gewandelde kilometers of aantal activiteiten, terwijl natuurtoerisme wordt benaderd via het aantal verblijven en overnachtingen. In beide gevallen worden deze activiteiten ruimtelijk toegedeeld aan ecosystemen, waaronder bos.

Als onderdeel van de systeemanalyse worden de factoren die van invloed zijn op deze ecosystemendiensten in kaart gebracht. De resultaten hiervan zijn weergegeven in **Figuur 5** en **Figuur 6**, waarin de samenhang tussen het boscysteem en het gebruik voor recreatie en toerisme schematisch is weergegeven. In de volgende paragrafen worden deze factoren verder uitgewerkt.



Figuur 5. Systeemanalyse voor de culturele ecosysteemdienst: natuurtoerisme (toegespitst op bossen), waarbij de ingekleurde blokjes al geïmplementeerd zijn in het huidige NKR-systeem en de witte nog niet. De pijlen geven aan hoe de verschillende thema's aan elkaar linken.



Figuur 6. Systemanalyse voor de culturele ecosysteemdienst: natuurrecreatie wandelen (toegespitst op bossen), waarbij de ingekleurde blokjes al geïmplementeerd zijn in het huidige NKR-systeem en de witte nog niet. De pijlen geven aan hoe de verschillende thema's aan elkaar linken.

Omvang van bossen

De omvang van bosgebieden vormt een belangrijke basis voor zowel natuurrecreatie als natuurtoerisme. Bossen dragen bij aan het welzijn van mensen door het bieden van een aantrekkelijke en toegankelijke omgeving voor ontspanning, wandelen en verblijfsrecreatie. Naast fysieke ruimte spelen ook belevingswaarde, rust en landschappelijke kwaliteit een rol in de aantrekkingskracht van bosgebieden.

De omvang en ruimtelijke spreiding van bossen bepalen in sterke mate de bereikbaarheid en het gebruik van deze vormen van recreatie en toerisme. Grotere en beter verspreide bosgebieden bieden meer mogelijkheden voor recreatief gebruik en trekken doorgaans ook meer bezoekers, zowel lokaal als regionaal. Tegelijkertijd beïnvloedt de ligging ten opzichte van bevolkingscentra en toeristische voorzieningen de mate waarin bossen daadwerkelijk worden bezocht.

Binnen de NKR wordt de omvang van bosgebieden afgeleid uit de ecosysteemtypenkaart, waarin onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende bostypen. Deze omvang vormt de ruimtelijke basis voor de verdere modellering en toedeling van natuurrecreatie en natuurtoerisme.

Ecosysteemkwaliteit van bossen

Niet alleen de aanwezigheid van bos, maar ook de kwaliteit ervan speelt een rol in het gebruik voor natuurrecreatie en natuurtoerisme. Deze invloed werkt echter niet altijd direct of bewust. Bezoekers beoordelen bosgebieden meestal niet op ecologische indicatoren, maar op zichtbare en ervaarbare kenmerken, zoals een groene en levendige uitstraling, variatie in vegetatie en de aanwezigheid van bloemen en dieren. De invloed van ecosysteemkwaliteit op recreatie is daarbij vaak beperkt zolang een bepaald minimumniveau van kwaliteit aanwezig is. Pas wanneer de kwaliteit sterk achteruitgaat, bijvoorbeeld door vervuiling, veel zwerfafval of andere zichtbare aantastingen, kan dit leiden tot een duidelijke afname van het recreatieve gebruik.

Voor dagelijkse recreatie, zoals wandelen, speelt nabijheid een belangrijke rol. Mensen kiezen vaak voor een bos in de buurt, maar kunnen binnen die omgeving wel voorkeuren hebben voor bepaalde delen, bijvoorbeeld plekken die dichter begroeid zijn, meer beschutting bieden of aantrekkelijker ogen. De kwaliteit van het bos beïnvloedt hier vooral de beleving en de keuze op lokaal niveau. Voor recreatieactiviteiten die sterk afhankelijk zijn van specifieke natuurwaarden, zoals vogels kijken of natuurfotografie, is de kwaliteit van het ecosysteem vaak belangrijker dan de nabijheid.

Bij natuurtoerisme spelen andere afwegingen een grotere rol. De keuze voor een locatie hangt vaak samen met de aanwezigheid van accommodaties en voorzieningen. Tegelijkertijd kan de nabijheid van aantrekkelijk bos juist een reden zijn om voor een bepaalde verblijfplaats te kiezen. In dat geval beïnvloedt de kwaliteit van het bos indirect de toeristische vraag, doordat gebieden met aantrekkelijke natuur vaker worden gekozen als bestemming.

Hoewel ecosysteemkwaliteit dus niet altijd bewust wordt beoordeeld, werkt deze wel door in gebruik en beleving. Bossen die er gezond, gevarieerd en aantrekkelijk uitzien, worden vaker bezocht en positiever ervaren. Indicatoren zoals vegetatiekwaliteit, biodiversiteit en productiviteit helpen om deze verschillen in kwaliteit ruimtelijk inzichtelijk te maken en te relateren aan patronen in recreatie en toerisme.

Sociaaleconomische factoren

Naast de kenmerken van het bos zelf spelen sociaaleconomische factoren een belangrijke rol in het gebruik van bossen voor natuurrecreatie en natuurtoerisme. Deze factoren bepalen in sterke mate waar mensen naartoe gaan en in hoeverre bosgebieden daadwerkelijk worden benut.

Daarnaast wordt de omvang van natuurrecreatie en natuurtoerisme beïnvloed door bredere demografische en economische ontwikkelingen. Een groei van de bevolking, bijvoorbeeld door woningbouw in de omgeving van een bosgebied, kan leiden tot meer bezoekers. Ook inkomen, mobiliteit en beschikbare vrije tijd beïnvloeden de mogelijkheden van mensen om deel te nemen aan recreatie en toerisme en bepalen daarmee mede de totale vraag naar deze ecosysteemdienst.

Voor dagelijkse recreatie, zoals wandelen, zijn bereikbaarheid en toegankelijkheid vaak doorslaggevend. De aanwezigheid van wandelpaden, parkeerplaatsen en verbindingen met openbaar vervoer bepaalt of een gebied praktisch bruikbaar is. Ook de ligging ten opzichte van woongebieden speelt een grote rol: mensen kiezen vaak voor een bos in de directe omgeving. Binnen die gebieden sturen infrastructuur en inrichting vervolgens waar mensen precies lopen en hoe intensief bepaalde delen worden gebruikt. Bij natuurtoerisme ligt de nadruk vaker op de combinatie van natuur en verblijf. De aanwezigheid van accommodaties, recreatieve voorzieningen en regionale aantrekkingskracht bepaalt in sterke mate waar toeristen naartoe gaan. Tegelijkertijd kan de nabijheid van aantrekkelijk bos juist een reden zijn om voor een bepaalde locatie of verblijf te kiezen. In dat geval werken sociaaleconomische factoren en ecosysteemkwaliteit samen in de totstandkoming van toeristische stromen.

Daarnaast spelen kenmerken van gebruikers een rol, zoals leeftijd, leefstijl, inkomen en beschikbare vrije tijd. Deze factoren beïnvloeden recreatiegedrag en de keuze voor bepaalde typen gebieden. In de praktijk volgen mensen vaak vaste patronen, waarbij gewoonten, herkenbare routes en bestaande voorzieningen een belangrijke rol spelen. Hierdoor wordt het gebruik van bossen niet alleen bepaald door fysieke geschiktheid, maar ook door hoe gebieden zijn ingericht en ingebed in het dagelijks leven van mensen.

Sociaaleconomische factoren hangen bovendien nauw samen met de inrichting en ontwikkeling van het bosecosysteem zelf. Eigenaarschap, beheerregimes en natuurbeleid bepalen bijvoorbeeld hoe toegankelijk een gebied is, hoe paden worden aangelegd en in hoeverre recreatie wordt gestimuleerd of juist beperkt.

Milieudruk

Milieudruk speelt een belangrijke rol in het functioneren van bossen en kan daarmee indirect doorwerken in natuurrecreatie en natuurtoerisme. Waar sociaaleconomische factoren vooral bepalen waar en hoe mensen bossen gebruiken, beïnvloeden drukfactoren de staat van het ecosysteem zelf, en daarmee de kwaliteit en beschikbaarheid van recreatieve en toeristische gebieden. Milieudruk kan daarbij zowel het gevolg zijn van bredere sociaaleconomische ontwikkelingen, zoals verstedelijking en infrastructuur, als van het gebruik van bossen door recreanten zelf.

Veranderingen in klimaat, zoals toenemende droogte en hogere temperaturen, hebben directe gevolgen voor de vitaliteit van bossen. Droogtestress kan leiden tot verminderde groei, bladverlies en verhoogde gevoeligheid voor ziekten en plagen. Dit beïnvloedt zowel de structuur als de belevingswaarde van bossen: gebieden kunnen opener of juist minder vitaal ogen, wat effect heeft op de aantrekkelijkheid voor recreanten en toeristen. Op langere termijn kunnen deze processen ook leiden tot veranderingen in bosareaal, bijvoorbeeld door afsterving of omvorming van bos.

Stikstofdepositie en bodemverzuring werken door in de soortensamenstelling en bodemkwaliteit. Dit kan leiden tot minder diverse en minder veerkrachtige ecosystemen, waarbij bepaalde plantensoorten domineren en andere verdwijnen. Voor recreatie en toerisme betekent dit vaak een afname van variatie en natuurbeleving, terwijl het ecosysteem tegelijkertijd gevoeliger wordt voor verdere verstoringen.

Ook gebruiksdruk hangt samen met milieudruk. Intensieve recreatie kan leiden tot bodemverdichting, slijtage van paden en verstoring van fauna. Dit beïnvloedt de structuur en functie van het bos, bijvoorbeeld door schade aan vegetatie of veranderingen in het gedrag van dieren. In gebieden met hoge bezoekersdruk kan dit leiden tot een afname van de kwaliteit en daarmee van de aantrekkelijkheid van het gebied, wat op termijn ook gevolgen kan hebben voor het gebruik.

Op landschapsniveau speelt versnippering een belangrijke rol. Door verstedelijking en infrastructuur worden bosgebieden kleiner en minder verbonden. Dit heeft gevolgen voor de ecosysteemkwaliteit, bijvoorbeeld doordat soorten zich minder goed kunnen verplaatsen en ecosystemen kwetsbaarder worden. Tegelijkertijd beïnvloedt versnippering ook de recreatieve waarde: kleinere en geïsoleerde bosgebieden bieden vaak minder mogelijkheden voor langere routes of meerdaags verblijf, wat vooral relevant is voor natuurtoerisme.

Milieudruk werkt daarmee door op zowel de kwaliteit als de omvang van bossen, en beïnvloedt via deze weg de levering van ecosystemendiensten. Veranderingen in vitaliteit, structuur, soortensamenstelling en ruimtelijke samenhang vertalen zich uiteindelijk in verschillen in gebruik, beleving en aantrekkingskracht van bosgebieden. Dit onderstreept dat natuurrecreatie en natuurtoerisme niet los te zien zijn van de onderliggende ecologische processen en drukfactoren die op het boscossysteem inwerken.

3.4.2 Natuurtoerisme binnen NKR

Variabelen binnen NKR

Binnen de NKR wordt natuurtoerisme gebaseerd op gegevens over vakanties en verblijven, waarbij gebruik wordt gemaakt van het Continu Vakantie Onderzoek (CVO) en statistieken over logiesaccommodaties. Het CVO bevat enquêtegegevens over het vakantiegedrag van Nederlandse inwoners, zoals het aantal vakanties, type vakantie, duur en de omgeving waarin deze plaatsvinden.

Op basis van deze gegevens wordt het aantal natuur gerelateerde vakanties bepaald, waaronder natuur-, wandel- en fietsvakanties, en verblijven met een nadruk op ontspanning in een natuurlijke omgeving. Deze vakanties worden vervolgens toegedeeld aan ecosystemetypen, waarbij natuurachtige ecosystemen, waaronder bos, een belangrijk aandeel krijgen.

Voor buitenlandse toeristen wordt gebruikgemaakt van gegevens over logiesaccommodaties. Omdat informatie over hun activiteiten ontbreekt, wordt aangenomen dat hun gedrag vergelijkbaar is met dat van Nederlandse toeristen. Het aantal overnachtingen wordt vervolgens verdeeld over vakantietypen en ecosystemetypen op basis van dezelfde verdelingsleutels.

De ecosystemedienst natuurtoerisme wordt daarmee uitgedrukt in het aantal verblijven en overnachtingen dat aan ecosystemen kan worden toegeschreven. Deze fysieke indicator kan worden gekoppeld aan monetaire gegevens, zoals bestedingen aan verblijven en recreatie, om de economische waarde van de dienst te benaderen.

De methode kent echter enkele beperkingen:

- De ruimtelijke toedeling is gebaseerd op verdelingsleutels en niet op directe observaties van locatiegebruik.
- Activiteiten van buitenlandse toeristen zijn niet direct bekend en worden afgeleid van binnenlands gedrag.
- Factoren zoals infrastructuur, toegankelijkheid en de aanwezigheid van accommodaties worden nog beperkt expliciet meegenomen.

Om de ruimtelijke toedeling te verbeteren wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een 'recreation potential map', gebaseerd op Europese methoden. Deze benadering combineert informatie over de aantrekkelijkheid van ecosystemen en de bereikbaarheid, en kan in de toekomst worden ingezet om natuurtoerisme beter ruimtelijk te modelleren binnen de NKR.

Trendanalyse

Net als bij de voorgaande trendanalyses zijn de resultaten verkennend van aard en bedoeld om mogelijke samenhangen zichtbaar te maken, niet om causale verbanden vast te stellen.

Tabel 5 geeft een overzicht van de ontwikkeling van het areaal per ecosysteemtype en de bijbehorende ecosysteemdienst natuurtoerisme (fysieke en monetaire waarden). Deze cijfers maken het mogelijk om te onderzoeken hoe het gebruik van natuur voor verblijfsrecreatie samenhangt met de ruimtelijke verdeling van ecosystemen. De jaarlijkse cijfers voor natuurtoerisme zijn uitgedrukt in het aantal overnachtingen (fysieke waarde) en bijbehorende bestedingen (monetaire waarde), uitgesplitst naar ecosysteemtype. Trends in ecosysteemkwaliteit zijn hierin niet expliciet opgenomen.

De cijfers zijn gebaseerd op de huidige ecosysteemtypenkaart. Er vindt momenteel een revisie plaats van deze kaart, wat in de toekomst kan leiden tot aanpassingen in de verdeling van natuurtoerisme over ecosystemen.

De fysieke waarde van natuurtoerisme laat in de periode 2016-2023 een fluctuerend beeld zien. Het totaal aantal overnachtingen stijgt van circa 67 miljoen in 2016 naar een piek van bijna 85 miljoen in 2018, gevolgd door een daling richting 2020 (circa 70 miljoen). In 2021 is opnieuw een duidelijke toename zichtbaar (bijna 80 miljoen), waarna het aantal overnachtingen in 2022 afneemt en in 2023 licht herstelt. Deze schommelingen hangen waarschijnlijk samen met externe factoren, waaronder de COVID-19-pandemie, die een verschuiving veroorzaakte in reisgedrag en binnenlands toerisme.

De monetaire waarde van natuurtoerisme laat een duidelijk stijgende trend zien, van circa 3,5 miljard euro in 2016 tot meer dan 5,4 miljard euro in 2023. Deze groei is sterker en consistent dan de fysieke ontwikkeling en wordt mede verklaard door stijgende bestedingen per verblijf, prijsontwikkelingen en veranderingen in type accommodaties en vakanties.

Bosgebieden leveren een belangrijke bijdrage aan natuurtoerisme. Het aantal overnachtingen in bossen stijgt van circa 25 miljoen in 2016 naar ruim 31 miljoen in 2018 en 2021, waarna een daling zichtbaar is in 2022 en een licht herstel in 2023. In monetaire termen neemt het belang van bossen verder toe: de bestedingen stijgen van circa 1,4 miljard euro in 2016 naar ruim 2,2 miljard euro in 2023. Hiermee behoren bossen tot de belangrijkste ecosystemen voor natuurtoerisme.

Tabel 5. Data van de onderliggende onderdelen van natuurtoerisme⁴⁵.

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Trend
Ecosysteemomvang										
Areal (km ²)	Totaal	41 542	41 542	41 543	41 543	41 543	41 543	41 543	41 543	
	Bebouwde omgeving	6 676	6 679	6 708	6 737	6 762	6 784	6 816	6 839	
	Stedelijk groen en recreatie	933	925	921	914	912	894	891	881	
	Akker- en tuinbouwgebieden	10 630	10 626	10 676	10 667	10 558	10 563	10 630	10 653	
	Graslanden	10 469	10 469	10 377	10 359	10 445	10 424	10 342	10 267	
	Bosgebieden	3 630	3 637	3 646	3 644	3 644	3 655	3 641	3 658	
	Heide- en stuifzandgebieden	517	516	518	524	529	529	527	533	
	Moeras- en veengebieden	355	349	351	353	346	344	344	349	
	Rivieren en kanalen	975	978	977	976	982	983	985	988	
	Meren en reservoirs	2 733	2 738	2 748	2 746	2 751	2 751	2 752	2 757	
	Duin- en kustgebieden	503	510	508	513	506	498	497	500	
Marien en getijdengebieden	4 120	4 117	4 114	4 110	4 108	4 119	4 119	4 119		
Ecosysteemdienst: Natuurtoerisme										
Fysieke waarde (x1000 overnachtingen)	Totaal	67 491	81 089	84 923	79 182	69 754	79 783	68 413	71 365	
	Bebouwde omgeving	.	.	.	.	.	.	.	.
	Stedelijk groen en recreatie	.	.	.	.	.	.	.	.
	Akker- en tuinbouwgebieden	411	462	455	410	374	413	343	375	
	Graslanden	12 040	15 252	15 972	16 051	14 103	17 524	15 510	16 509	
	Bosgebieden	25 432	30 273	31 656	30 462	27 336	31 275	26 051	27 472	
	Heide- en stuifzandgebieden	3 465	4 115	4 312	4 143	3 953	4 366	3 542	3 724	
	Moeras- en veengebieden	2 509	3 145	3 301	3 076	2 729	3 376	2 857	3 050	
	Rivieren en kanalen	1 607	2 332	2 484	2 821	2 211	2 105	1 623	1 803	
	Meren en reservoirs	3 205	4 313	4 548	4 420	4 281	3 939	3 277	3 092	
	Duin- en kustgebieden	17 349	19 625	20 623	16 056	13 692	15 347	13 860	14 226	
Marien en getijdengebieden	1 472	1 572	1 573	1 743	1 075	1 437	1 350	1 115		
Monetaire waarde (mln euro)	Totaal	3 452	3 869	4 298	4 407	3 768	5 251	4 960	5 408	
	Bebouwde omgeving	.	.	.	.	.	.	.	.
	Stedelijk groen en recreatie	.	.	.	.	.	.	.	.
	Akker- en tuinbouwgebieden	24	25	25	27	22	28	27	32	
	Graslanden	626	745	785	879	753	1 159	1 105	1 195	
	Bosgebieden	1 414	1 567	1 678	1 880	1 562	2 091	2 015	2 250	
	Heide- en stuifzandgebieden	203	225	249	276	234	293	292	329	
	Moeras- en veengebieden	145	161	166	179	151	225	221	246	
	Rivieren en kanalen	55	63	80	125	103	134	109	141	
	Meren en reservoirs	125	140	172	220	210	253	244	297	
	Duin- en kustgebieden	816	896	1 092	762	696	988	868	834	
Marien en getijdengebieden	43	48	50	59	37	80	79	84		

Naast bossen dragen ook graslanden en duin- en kustgebieden substantieel bij aan natuurtoerisme. Graslanden laten een relatief stabiele groei zien, terwijl duin- en kustgebieden juist gevoeliger zijn voor schommelingen, met een duidelijke daling rond 2020 en een gedeeltelijk herstel daarna. Kleinere ecosystemen, zoals moerasgebieden, heide en waterlichamen, dragen in absolute zin minder bij, maar laten vergelijkbare patronen zien.

De verdeling van natuurtoerisme over ecosystemen laat zien dat niet alleen de omvang van ecosystemen bepalend is voor gebruik, maar ook hun aantrekkingskracht en geschiktheid voor verblijfsrecreatie. Ecosystemen zoals bossen en kustgebieden combineren een relatief groot areaal met een hoge belevingswaarde en goede toeristische infrastructuur, waardoor zij een groter aandeel hebben in het aantal overnachtingen. Daarentegen leveren ecosystemen zoals akkerbouwgebieden, ondanks hun grote oppervlakte, een beperkte bijdrage aan natuurtoerisme.

Hoewel fysieke en monetaire trends in grote lijnen samen oplopen, zijn er duidelijke verschillen zichtbaar. In sommige jaren neemt het aantal overnachtingen af, terwijl de bestedingen blijven stijgen. Dit wijst erop dat veranderingen in prijsniveau, verblijfsduur en type vakanties een belangrijke rol spelen in de ontwikkeling van de monetaire waarde van de ecosysteemdienst.

3.4.3 Naturrecreatie wandelen binnen NKR

Variabelen binnen NKR

Binnen de NKR wordt de ecosysteemdienst naturrecreatie (wandelen) gebaseerd op het ContinuVrijeTijdsOnderzoek (CVTO), aangevuld met mobiliteitsstatistieken van het CBS en ruimtelijke data over paden, ecosystemen en bevolkingsspreiding (CBS en WUR, 2024). Het CVTO vormt de primaire bron en bevat enquêtegegevens over wandelactiviteiten van inwoners, specifiek wandelingen van meer dan 60 minuten in natuurlijke omgevingen.

Op basis van deze gegevens wordt het totale aantal gewandelde kilometers bepaald en vervolgens ruimtelijk toegedeeld aan ecosysteemtypen, waaronder bos. Bossen nemen hierin een belangrijke positie in, omdat zij een groot deel van de wandelactiviteiten aantrekken. De toedeling gebeurt met behulp van een ruimtelijk model dat rekening houdt met factoren zoals padendichtheid, nabijheid van bevolkingscentra en de verdeling van ecosystemen. Hierdoor wordt inzicht verkregen in waar binnen Nederland gewandeld wordt en welk aandeel daarvan aan bosgebieden kan worden toegeschreven.

De beschikbare data zijn echter beperkt in tijd en detail. Het CVTO is slechts beschikbaar voor een beperkt aantal jaren (2015, 2018 en 2023), waardoor tussenliggende jaren worden geschat op basis van trends in wandelgedrag. Daarnaast geven de enquêtegegevens alleen totalen per provincie en omgevingstype, waardoor de exacte locaties van wandelingen niet direct bekend zijn. Ook worden factoren zoals ecosysteemkwaliteit, toegankelijkheid en de inrichting van bosgebieden niet expliciet meegenomen, terwijl deze wel van invloed zijn op waar en hoe intensief in bossen wordt gewandeld.

Trendanalyse

Conform de voorgaande trendanalyses worden de resultaten gebruikt om mogelijke relaties binnen het systeem te verkennen. Verdere analyse is nodig om de sterkte en richting van deze relaties vast te stellen.

Tabel 6 geeft een overzicht van de ontwikkeling van het areaal per ecosysteemtype en de bijbehorende ecosysteemdienst naturrecreatie (wandelen), uitgedrukt in fysieke (gewandelde kilometers) en monetaire waarden. Deze cijfers maken het mogelijk om te onderzoeken hoe het

gebruik van bossen voor recreatie zich ontwikkelt in relatie tot de ruimtelijke verdeling van ecosystemen. Trends in ecosysteemkwaliteit zijn hierin niet expliciet opgenomen.

Het totale bosareaal blijft in de periode 2016–2023 relatief stabiel, met een lichte toename van circa 3 630 km² naar 3 658 km². Dit betekent dat veranderingen in recreatief gebruik van bossen niet worden gedreven door grote veranderingen in omvang, maar eerder samenhangen met veranderingen in gebruikspatronen en externe factoren.

De fysieke waarde van natuurrecreatie laat een duidelijke toename zien in de periode tot 2021, gevolgd door een afname in de jaren daarna. Het totaal aantal gewandelde kilometers stijgt van circa 564 miljoen km in 2016 naar een piek van bijna 1,3 miljard km in 2021, waarna het gebruik afneemt tot circa 1,0 miljard km in 2023. Deze piek in 2021 hangt samen met de COVID-19-pandemie, die leidde tot meer lokaal recreatiegedrag en een toename van individuele buitenactiviteiten.

Bossen vormen binnen deze ontwikkeling het belangrijkste ecosysteem voor wandelen. Het aantal gewandelde kilometers in bosgebieden stijgt van circa 211 miljoen km in 2016 naar 472 miljoen km in 2021, waarna het gebruik afneemt tot circa 374 miljoen km in 2023. Hiermee zijn bossen verantwoordelijk voor een substantieel aandeel van de totale wandelrecreatie en laten zij een vergelijkbaar patroon zien als het landelijke totaal. In vergelijking met andere ecosystemen blijven bossen structureel het meest gebruikte type voor wandelen, wat wijst op een hoge aantrekkingskracht en geschiktheid voor deze vorm van recreatie.

Ook andere ecosystemen, zoals graslanden en duin- en kustgebieden, dragen bij aan wandelrecreatie, maar in mindere mate. Ondanks hun relatief grote oppervlakte leveren akker- en tuinbouwgebieden een beperkter aandeel in het totaal aantal gewandelde kilometers. Dit bevestigt dat niet alleen de omvang van een ecosysteem bepalend is, maar ook de mate waarin het geschikt en aantrekkelijk is voor recreatief gebruik.

De monetaire waarde van natuurrecreatie wandelen volgt een vergelijkbare ontwikkeling als de fysieke waarde, maar met een sterkere stijging. De totale waarde neemt toe van circa 275 miljoen euro in 2016 tot 739 miljoen euro in 2021, waarna een daling optreedt richting 615 miljoen euro in 2023. Voor bossen stijgt de monetaire waarde van circa 103 miljoen euro naar 271 miljoen euro in 2021 en daalt daarna naar circa 228 miljoen euro in 2023. Deze ontwikkeling weerspiegelt zowel veranderingen in gebruik als in bestedingen en prijsniveaus.

Hoewel fysieke en monetaire trends grotendeels samen oplopen, zijn er verschillen zichtbaar in de mate van groei en afname. Dit wijst erop dat naast het aantal wandelactiviteiten ook factoren zoals bestedingen, mobiliteit en prijsontwikkelingen een rol spelen in de monetaire waarde van de ecosystemedienst.

Tabel 6. Data van de onderliggende onderdelen van natuurrecreatie wandelen⁴⁵.

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Trend
Variabelen										
Areal (km2)	Totaal	41 542	41 542	41 543	41 543	41 543	41 543	41 543	41 543	
	Bebouwde omgeving	6 676	6 679	6 708	6 737	6 762	6 784	6 816	6 839	
	Stedelijk groen en recreatie	933	925	921	914	912	894	891	881	
	Akker- en tuinbouwgebieden	10 630	10 626	10 676	10 667	10 558	10 563	10 630	10 653	
	Graslanden	10 469	10 469	10 377	10 359	10 445	10 424	10 342	10 267	
	Bosgebieden	3 630	3 637	3 646	3 644	3 644	3 655	3 641	3 658	
	Heide- en stuifzandgebieden	517	516	518	524	529	529	527	533	
	Moeras- en veengebieden	355	349	351	353	346	344	344	349	
	Rivieren en kanalen	975	978	977	976	982	983	985	988	
	Meren en reservoirs	2 733	2 738	2 748	2 746	2 751	2 751	2 752	2 757	
	Duin- en kustgebieden	503	510	508	513	506	498	497	500	
Marien en getijdengebieden	4 120	4 117	4 114	4 110	4 108	4 119	4 119	4 119		
Ecosysteemdienst: Natuurrecreatie Wandelen										
Fysieke waarde (gewandelde km)	Totaal	564	601	635	664	985	1288	1080	1009	
	Bebouwde omgeving	82	87	93	98	147	193	162	151	
	Stedelijk groen en recreatie	29	31	33	34	51	67	55	51	
	Akker- en tuinbouwgebieden	50	54	57	59	86	112	94	90	
	Graslanden	89	96	101	107	158	207	174	162	
	Bosgebieden	211	224	236	243	361	472	396	374	
	Heide- en stuifzandgebieden	13	14	15	15	23	30	25	24	
	Moeras- en veengebieden	11	11	12	14	20	26	21	20	
	Rivieren en kanalen	10	10	11	11	16	22	18	16	
	Meren en reservoirs	11	12	13	13	20	25	22	20	
	Duin- en kustgebieden	29	31	33	35	51	68	57	52	
Marien en getijdengebieden	28	31	32	33	52	67	55	49		
Monetaire waarde (mln euro)	Totaal	275	303	330	355	516	739	675	615	
	Bebouwde omgeving	40	44	48	52	77	111	101	92	
	Stedelijk groen en recreatie	14	16	17	18	27	38	34	31	
	Akker- en tuinbouwgebieden	24	27	29	32	45	64	59	55	
	Graslanden	43	48	52	57	83	119	109	99	
	Bosgebieden	103	113	123	130	189	271	248	228	
	Heide- en stuifzandgebieden	6	7	8	8	12	17	16	14	
	Moeras- en veengebieden	5	6	6	7	10	15	13	12	
	Rivieren en kanalen	5	5	6	6	8	12	11	10	
	Meren en reservoirs	5	6	7	7	10	15	13	12	
	Duin- en kustgebieden	14	16	17	19	27	39	36	32	
Marien en getijdengebieden	14	16	17	18	27	38	35	30		

3.4.4 Ontbrekende indicatoren

De systeemanalyse laat zien dat natuurrecreatie en natuurtoerisme binnen de NKR momenteel nog beperkt gekoppeld zijn aan de onderliggende kwaliteit en inrichting van bossen. De huidige berekeningen zijn primair gebaseerd op gebruiksdata (zoals wandelkilometers en overnachtingen) en een ruimtelijke toedeling naar ecosysteemtypen. Hoewel dit een solide basis vormt, blijven belangrijke verklarende factoren buiten beeld.

Zo wordt ecosysteemkwaliteit nog niet expliciet meegenomen in de modellering van beide diensten. Kenmerken zoals biodiversiteit, structuurvariatie, mate van natuurlijkheid en de aanwezigheid van bloemen, dieren en water dragen sterk bij aan de beleving van bossen, maar worden niet direct gekoppeld aan het gemeten gebruik. Hierdoor is het lastig om verschillen in aantrekkelijkheid tussen bosgebieden te verklaren en om veranderingen in gebruik te relateren aan veranderingen in het ecosysteem zelf.

Ook de inrichting en toegankelijkheid van bossen zijn slechts beperkt opgenomen. Factoren zoals de aanwezigheid en kwaliteit van wandel- en fietspaden, recreatieve voorzieningen, parkeerplaatsen en de mate van verstoring (bijvoorbeeld door geluid of drukte) spelen een belangrijke rol in waar mensen recreëren en verblijven. Deze elementen sturen niet alleen het gebruik binnen bosgebieden, maar bepalen ook in hoeverre gebieden geschikt zijn voor intensiever toeristisch gebruik.

Daarnaast zijn sociaaleconomische aspecten nog beperkt geïntegreerd in de huidige systematiek. Denk hierbij aan de ligging ten opzichte van woongebieden, de beschikbaarheid van accommodaties, regionale toeristische aantrekkingskracht en verschillen in recreatiegedrag tussen bevolkingsgroepen. Voor natuurtoerisme zijn met name de capaciteit en spreiding van verblijfsaccommodaties van belang, terwijl voor recreatie nabijheid en bereikbaarheid dominant zijn. Het ontbreken van deze factoren maakt het moeilijk om het gebruik van bossen volledig te verklaren.

Een verdere verbetering van de ecosysteemdiensten ligt in het integreren van aanvullende databronnen en indicatoren. Hierbij kan worden gedacht aan gegevens over biodiversiteit, vegetatiestructuur en productiviteit, maar ook aan ruimtelijke informatie over recreatieve infrastructuur en toeristische voorzieningen. Initiatieven zoals de ontwikkeling van een 'recreation potential map' bieden kansen om aantrekkelijkheid en bereikbaarheid van bossen explicieter te combineren in de modellering.

Een meer integrale benadering, waarin ecosysteemkwaliteit, sociaaleconomische factoren en gebruik gezamenlijk worden beschouwd, is essentieel om de rol van bossen in natuurrecreatie en natuurtoerisme beter te begrijpen. Dit vraagt om een verdere verfijning van de huidige methodiek, waarbij zowel de ecologische als de gebruikskomponenten sterker met elkaar worden verbonden.

4. Conclusie

In eerdere analyses binnen de NKR lag de nadruk vooral op afzonderlijke ecosysteemdiensten. In dit rapport is de benadering omgedraaid: niet de dienst, maar het ecosysteem staat centraal. Daarbij is gekozen voor het boscossysteem, omdat bossen meerdere typen ecosysteemdiensten leveren en daarmee geschikt zijn om de samenhang tussen ecosysteemomvang, -kwaliteit, -diensten, sociaaleconomische factoren en milieudruk inzichtelijk te maken.

De analyse van het NKR-systeem in bossen laat zien dat ecosysteemdiensten niet los van elkaar functioneren, maar voortkomen uit dezelfde onderliggende ecologische processen en kenmerken van het boscossysteem. Factoren zoals leeftijdsopbouw, vitaliteit, soortensamenstelling, connectiviteit en beheer blijken relevant voor meerdere ecosysteemdiensten tegelijk, waaronder houtvoorziening, koolstofvastlegging, bestuiving, natuurrecreatie en natuurtoerisme. Hierdoor kunnen veranderingen in het boscossysteem tegelijkertijd effect hebben op meerdere ecosysteemdiensten, zowel positief als negatief. De analyse maakt daarmee zichtbaar waar mogelijke synergiën, afhankelijkheden en afruilen tussen ecosysteemdiensten optreden. De systeemanalyse is daarbij vooral bedoeld om inzichtelijk te maken welke factoren invloed hebben op welke ecosysteemdiensten en hoe deze met elkaar samenhangen. De analyse laat zien welke relaties waarschijnlijk belangrijk zijn, maar zegt nog weinig over hoe sterk deze relaties precies zijn. Om dat te bepalen is aanvullend kwantitatief onderzoek nodig, waarvoor meer gegevens en modellen beschikbaar moeten komen. Een belangrijk knelpunt hierbij is dat voor sommige ecosysteemdiensten nog onvoldoende ruimtelijk gedetailleerde gegevens beschikbaar zijn. Voor houtvoorziening en koolstofvastlegging wordt momenteel bijvoorbeeld grotendeels gewerkt met gemiddelde waarden en lookup-tabellen. Hierdoor is het lastig om deze ecosysteemdiensten ruimtelijk te vergelijken met factoren zoals ecosysteemkwaliteit, milieudruk of sociaaleconomische kenmerken.

Daarnaast laat het rapport zien dat de huidige NKR al een belangrijke basis biedt voor het kwantificeren van ecosysteemdiensten, maar dat de samenhang tussen ecosysteemkwaliteit, gebruik, sociaaleconomische factoren en milieudruk nog beperkt expliciet wordt meegenomen vanwege onvoldoende data. Vooral ecosysteemkwaliteit en milieudruk blijken cruciale schakels binnen het systeem. Factoren zoals stikstofdepositie, versnippering, droogte, klimaatverandering en recreatiedruk beïnvloeden de kwaliteit van bossen en werken daarmee indirect door in vrijwel alle onderzochte ecosysteemdiensten. Tegelijkertijd ontbreken voor veel aspecten van ecosysteemkwaliteit en milieudruk nog voldoende gegevens om deze relaties systematisch te analyseren. Hierdoor is het momenteel nog moeilijk om vast te stellen welke factoren de grootste invloed hebben op veranderingen in ecosysteemdiensten. Verdere ontwikkeling van indicatoren voor ecosysteemkwaliteit en milieudruk lijkt daarom een belangrijke prioriteit voor de verdere ontwikkeling van de NKR.

Tot slot laat deze studie zien dat een integrale systeembenadering een waardevolle aanvulling vormt op de huidige NKR. De analyse maakt inzichtelijk welke factoren van invloed zijn op meerdere ecosysteemdiensten tegelijk en waar mogelijke synergiën en afruilen optreden. Dit onderzoek leidt niet direct tot aanpassingen in de huidige productie van de Natuurlijk kapitaalrekeningen, maar laat wel zien waar verdere ontwikkeling nodig is. Daarbij gaat het met name om het verbeteren van ruimtelijke gegevens voor ecosysteemdiensten, het verder ontwikkelen van informatie over ecosysteemkwaliteit en milieudruk, en het beter benutten van sociaaleconomische gegevens.

Met name het beter verbinden van informatie over ecosysteemdiensten, ecosysteemkwaliteit, milieudruk en sociaaleconomische factoren kan bijdragen aan een meer geïntegreerd beeld van het functioneren en onderhouden van gezonde ecosystemen. Hierdoor wordt niet alleen zichtbaar welke ecosysteemdiensten worden geleverd, maar ook welke factoren deze diensten beïnvloeden en waardoor veranderingen in de tijd worden veroorzaakt. Daarnaast laat de analyse zien dat sociaaleconomische factoren een belangrijke rol spelen in zowel het gebruik van ecosystemen als de vraag naar ecosysteemdiensten. Hoewel dergelijke informatie deels al binnen het CBS beschikbaar is, wordt deze momenteel nog beperkt gekoppeld aan de Natuurlijk kapitaalrekeningen. Hier liggen kansen voor verdere integratie en analyse.

5. Aanbevelingen

Een belangrijke aanbeveling voor vervolgonderzoek is om milieudruk verder expliciet mee te nemen binnen de NKR. Daarbij gaat het niet alleen om het beter in kaart brengen van afzonderlijke drukfactoren, maar ook om het analyseren van de doorwerking van milieudruk op ecosysteemkwaliteit en ecosysteemdiensten. Dit vraagt om meer ruimtelijk en temporeel gedetailleerde data, bijvoorbeeld over stikstofdepositie, droogte, versnippering, pesticidegebruik en andere vormen van menselijke druk. Ook aardobservatie biedt hierbij belangrijke kansen, bijvoorbeeld voor monitoring van vegetatiekwaliteit, bosstructuur en verstoringen in de tijd.

Daarnaast wordt aanbevolen om meer aandacht te besteden aan sociaaleconomische factoren binnen de NKR. Factoren zoals bevolkingsontwikkeling, recreatiegedrag, toegankelijkheid, eigendomsstructuren, beheerregimes en economische ontwikkelingen beïnvloeden zowel het gebruik en beheer van ecosystemen als de vraag naar ecosysteemdiensten. Een betere koppeling tussen ecologische en sociaaleconomische informatie kan bijdragen aan een beter begrip van veranderingen in ecosysteemdiensten en de onderliggende oorzaken daarvan.

Daarnaast wordt aanbevolen om deze systeembenadering verder uit te breiden naar andere ecosystemen, zoals landbouwgebieden, duinen, heide, wetlands en stedelijke ecosystemen. De samenhang tussen ecosysteemkwaliteit, ecosysteemdiensten, sociaaleconomische factoren en milieudruk verschilt namelijk sterk per ecosystemetype. Door meerdere ecosystemen integraal te analyseren kan beter inzicht ontstaan in verschillen, afhankelijkheden en ruimtelijke afwuilen tussen ecosystemen binnen Nederland.

6. Referenties

- Arets, E. (2018). Klimaatcijfers voor natuur. *Cijfers voor koolstofopslag en-vastlegging in Nederlandse Natuur. Wageningen Environmental Research*, 24. <https://edepot.wur.nl/468244>
- Biber, P., Felton, A., Nieuwenhuis, M., Lindbladh, M., Black, K., Bahyl', J., ... & Tuček, J. (2020). Forest biodiversity, carbon sequestration, and wood production: modeling synergies and trade-offs for ten forest landscapes across Europe. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 547696.
- Birdsey, R. A., DellaSala, D. A., Walker, W., & Gorelik, S. (2025). How much more carbon could be protected in mature and old-growth forests of the United States? *Biological Conservation*, 306, 111114.
- Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., Ashmore, M., ... & De Vries, W. (2010). Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications*, 20(1), 30-59.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.
- ESA (2025). *A Troubling shift in Europe's forest carbon balance*. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Space_for_our_climate/A_troubling_shift_in_Europe_s_forest_carbon_balance, geraadpleegd op 24-03-2026
- Feleha, D. D., Tymńska-Czabańska, L., & Netzel, P. (2025). Forest Fragmentation and Forest Mortality—An In-Depth Systematic Review. *Forests*, 16(4), 565.
- Grondard, N., Lof, M., van Bussel, L., Fijen, T., Hein, L. (in prep). Sensitivity of crop pollination ecosystem accounts to modelling tools and input data resolution. *Wageningen Environmental Research*.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, 1(2), e1500052.
- Lonsdorf, E., Kremen, C., Ricketts, T., Winfree, R., Williams, N., & Greenleaf, S. (2009). Modelling pollination services across agricultural landscapes. *Annals of Botany*, 103(9), 1589-1600.
- Schelhaas, M.J., S. Teeuwen, J. Oldenburger, G. Beerkens, G. Velema, J. Kremers, B. Lerink, M.J. Paulo, H. Schoonderwoerd, W. Daamen, F. Dolstra, M. Lusink, K. van Tongeren, T. Scholten, I. Pruijsten, F. Voncken, A.P.P.M. Clerckx (2022). Zevende Nederlandse Bosinventarisatie; Methoden en resultaten. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOT-rapport 142.
- TNO – GDN (2025). *Geological Survey of the Netherlands*. BRO GeoTOP v1.6.1. <https://www.dinoloket.nl/en/subsurface-models/map>; visited 2026-23-01.
- Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). Landscape ecology in theory and practice: pattern and process.
- van Baren, S., Arets, E., & Lesschen, J. P. (2023). Raming van emissies van broeikasgassen en verwijderingen van CO2 door de LULUCF-sector 2021-2040: achtergronddocument bij de Klimaat-en Energieverkenning 2023.
- van Tol-Leender, D., Knotters, M., de Groot, W., Gerritsen, P., Reijneveld, A., van Egmond, F., ... & Kuikman, P. (2019). Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-NL. <https://doi.org/10.18174/509781>