

Lasers: ook voor archeo- en ecologen

Lasers ontstonden uit natuurkundig onderzoek, maar zijn tegenwoordig ook onmisbaar in andere takken van de wetenschap. Zo helpen ze archeologen met het vinden van verborgen steden, en maken ecologen veelvoudig gebruik van lasers om op afstand toezicht te houden op begroeiing over grote oppervlaktes.

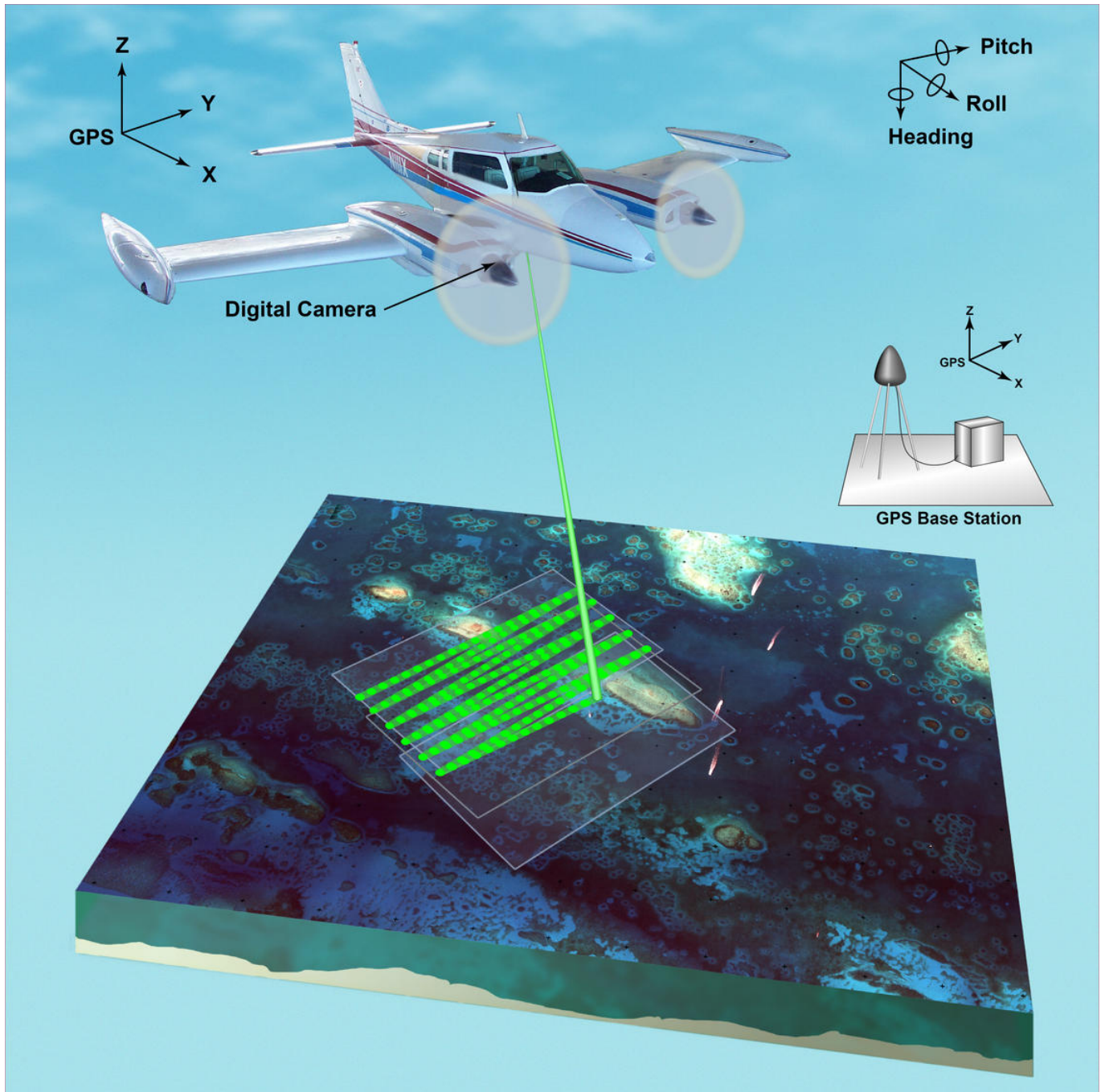
Albert Einstein publiceerde in 1917 zijn theorie over gestimuleerde (licht)emissie van atomen, wat in 1960 leidde tot de realisatie van de eerste laser. Zoals in het [eerste artikel](#) uit dit tweeluik beschreven werd, vonden lasers al vrijwel meteen een toepassing als een manier om (lange) afstanden te meten. Deze techniek heet LiDAR, oftewel **L**ight **D**etection **a**nd **R**anging. LiDAR, geboren in de natuurkunde, heeft zich snel uitgespreid en wordt tegenwoordig door veel andere vakgebieden omarmd. In dit artikel zal ik een aantal van zulke toepassingen toelichten.

Vliegende sensoren

Veel van de vroege ontwikkeling van LiDAR werd uitgevoerd door NASA in de jaren zeventig. Naast het meten van de afstand tussen de aarde en de Maan, beschreven in het [vorige artikel](#), werkte de ruimtevaartorganisatie hard om LiDAR-systemen te verkleinen en mobiel te maken, zodat metingen ook gedaan zouden kunnen worden vanuit bijvoorbeeld vliegtuigen en satellieten.

Het meten van afstanden vanuit een vliegend object is echter ingewikkelder dan vanuit de stilstaande laserbronnen die voor de maanmetingen gebruikt werden. Voor een dergelijke meting moet je namelijk heel precies weten wat de (tijdsafhankelijke) positie van de vliegende lichtbron in de lucht is, hoe die beweegt ten opzichte van het object waarnaar je de afstand wilt meten (bijvoorbeeld de grond), en in welke richting het laserlicht wordt uitgezonden. In bijvoorbeeld een vliegtuig bestaat een LiDAR-systeem daarom uit een

laserbron die met een laser over de grond heen en weer scant, een GPS-ontvanger die de exacte locatie van het vliegtuig bijhoudt, een zogeheten 'Inertial Measurement Unit' (IMU) die met behulp van gyroscopen en versnellingsmeters de kanteling van het vliegtuig meet, en een computer al die data registreert en verwerkt.

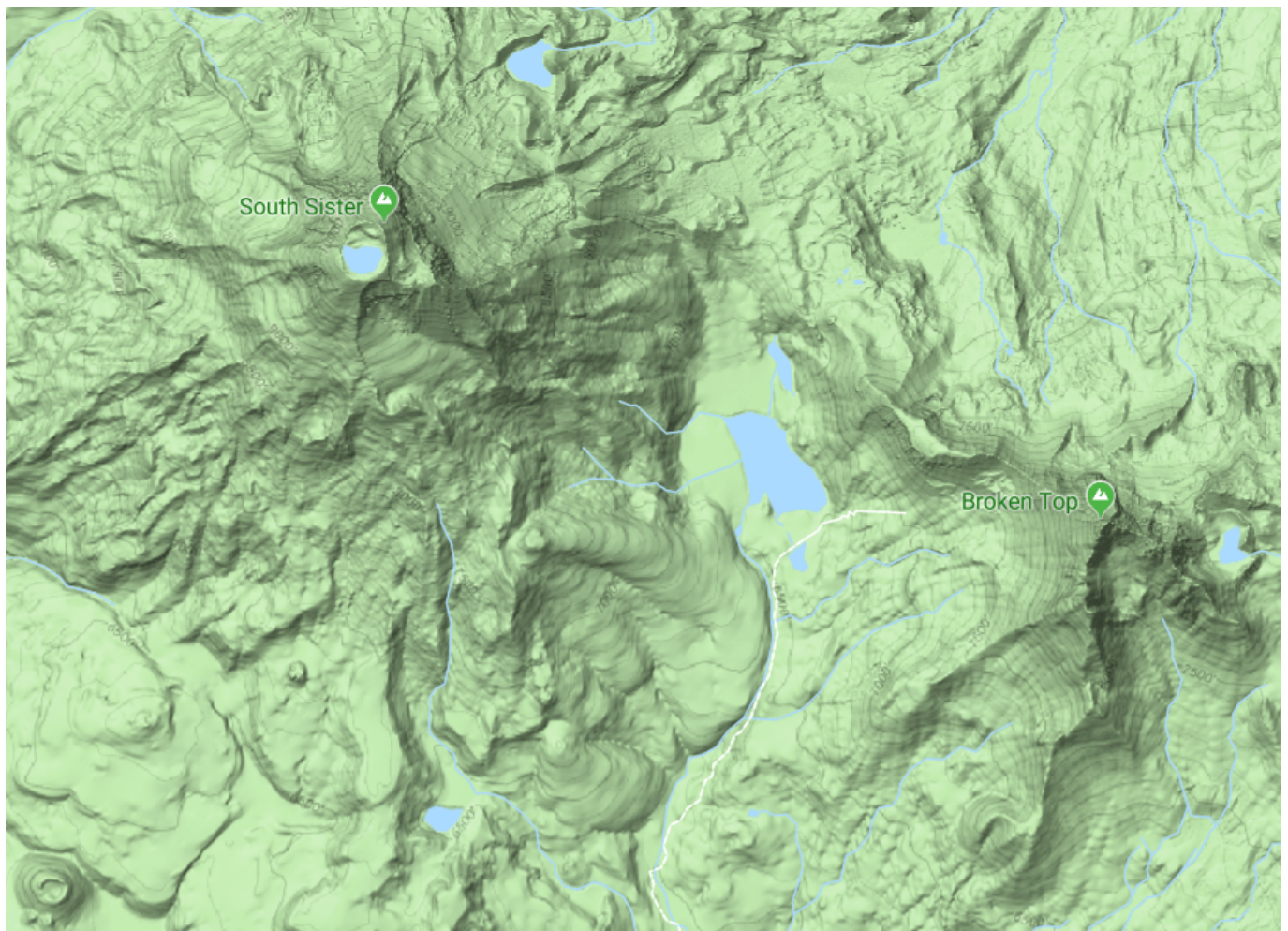


Afbeelding 1. Een LiDAR-vliegtuig. Naast de heen-en-weerbewegende laser is er ook apparatuur nodig die de exacte positie en kanteling van het vliegtuig bijhoudt. Vaak wordt een GPS-station op de grond gebruikt als

referentielocatie. Afbeelding van Betsy Boynton, voor de [USGS](#).

Metingen van de aarde

Zodra LiDAR-systemen de lucht in konden, werden ze gebruikt om topografische kaarten met hoge resolutie te maken. Het is dus mede dankzij lasers dat we tegenwoordig zulke gedetailleerde kaarten hebben om mee te navigeren! De resolutie van dit soort metingen blijft verbeteren: in Google Maps kun je bijvoorbeeld goed het verschil zien tussen het detail op locaties waar hoge-resolutie LiDAR-metingen zijn gedaan – meestal vanuit vliegtuigen – en locaties waarop de nieuwste technologieën nog niet zijn toegepast. Vergelijk maar eens de topografie van de Three Sisters-bergen in Oregon (afbeelding 2 hieronder) met die van het [Himalaya-gebergte](#).



Afbeelding 2. Een topografische kaart met hoge resolutie. Hier is de South Sister in Oregon (VS) te zien. Hoge-

resolutiekaarten zoals deze worden gemaakt met LiDAR, meestal vanuit een vliegtuig. De afbeelding is een screenshot van Google Maps.

Gedetailleerde kaarten zijn natuurlijk handig voor bergwandelaars, maar aardwetenschappers hebben ook veel baat bij het gebruik van deze technologie. Zo kunnen ze bijvoorbeeld heel gedetailleerd bijhouden wat er rond tektonische breuklijnen of bij een aardverschuiving gebeurt. LiDAR wordt overigens ook onder water gebruikt, om bijvoorbeeld de zeevloer in te kaart brengen. Meteorologen en climatologen schieten juist liever laserlicht de lucht in, om wolken te bestuderen, windpatronen in kaart te brengen, en atmosferische componenten zoals broeikasgassen te meten.

Hoewel in eerste instantie misschien onverwacht, hebben ook archeologen de lasertechnologie omarmd. Met behulp van LiDAR konden zij in Centraal Amerika bijvoorbeeld 'door het regenwoud heen kijken', en ontdekten ze daar een heel netwerk van verloren steden uit de tijd van de Maya's. Hieruit bleek dat de populatiegrootte van de Maya-beschaving zeer was onderschat, een grote doorbraak! (Lees meer over dit onderzoek in [dit](#) of - uitgebreider - in [dit](#) artikel.) Moderne archeologen gebruiken dus naast [muonen](#) ook lasers!

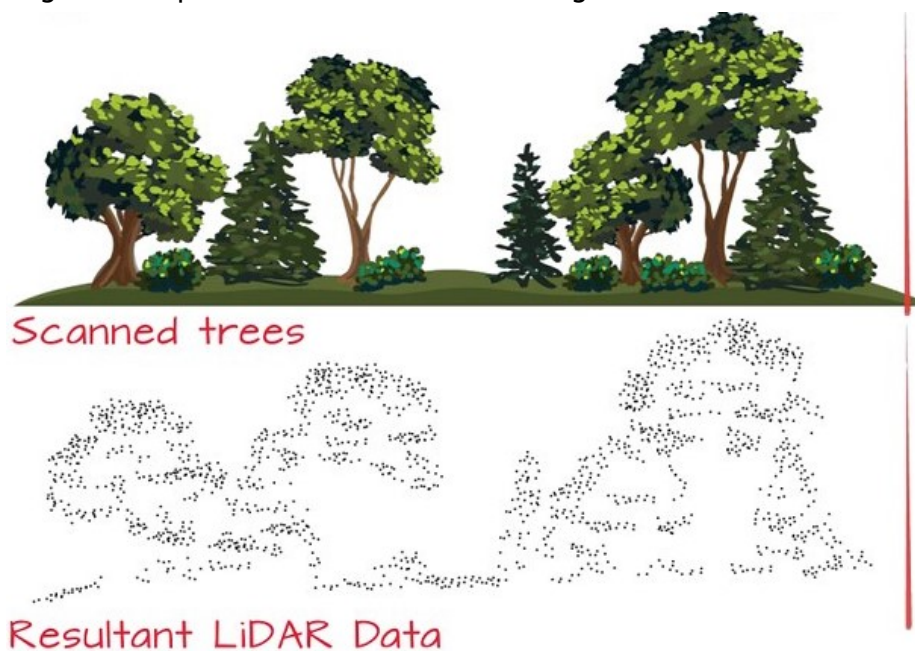
Bomen herkennen

Voor topografen en archeologen zitten bomen voornamelijk in de weg, en worden hun effecten meestal uit de data verwijderd om het onderliggende landschap te reconstrueren. Daarmee wordt natuurlijk ook veel informatie weggegooid. Ecologen gebruiken LiDAR daarentegen juist om begroeiing en landgebruik te meten. Om te begrijpen hoe ze dit doen moeten we ons iets meer verdiepen in hoe de LiDAR-data er eigenlijk uitziet.

Zoals [in het vorige artikel](#) uitgelegd, zendt de laser snelle lichtpulsen uit. Door te meten hoe lang het duurt voor je een weerkaatste lichtpuls detecteert, kun je de afstand achterhalen naar het object dat de lichtpuls heeft geraakt. In werkelijkheid is het echter niet zo eenvoudig als 'één lichtpuls uit, één lichtpuls in'. Als je namelijk een lichtpuls vanuit een vliegtuig naar een boom stuurt, wordt het licht weerkaatst van meerdere hoogtes: vanaf bladeren, takken, bosjes onder de boom en uiteindelijk de grond. Zo krijg je dus meerdere 'lichtpuls in' voor elke 'lichtpuls uit' - zie de video hieronder.

Video: Bomen herkennen met LiDAR. Een uitgezonden laserpuls kan meerdere lichtpulsen terugsturen, hier te zien als 'Returned Energy'. Door de intensiteit van het weerkaatste licht als functie van de tijd bij te houden, is het mogelijk om de structuur van bijvoorbeeld een boom te achterhalen. Video van het [National Ecological Observatory Network](#).

De eerste LiDAR-systemen maten meestal alleen de eerste lichtpuls die terugkwam, zodat de data eruit kwam te zien alsof iemand een 'deken over het landschap had gelegd'. Tegenwoordig worden meestal alle pieken in lichtintensiteit (dus de kruisjes in de video) opgeslagen als datapunt, met een bijbehorende intensiteit-waarde. Zo ontstaat een zogeheten 'puntenwolk' - zie afbeelding 3.



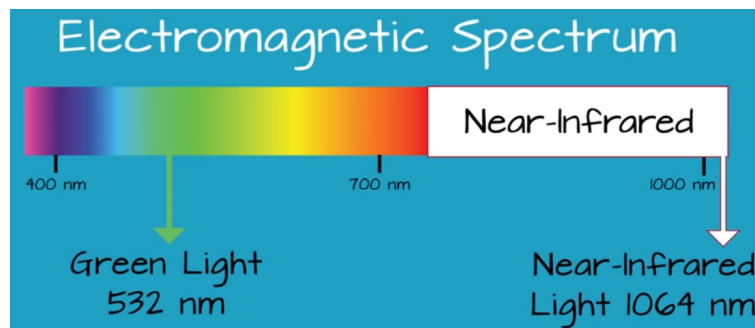
Afbeelding 3. LiDAR-data als een puntenwolk. Ieder stipje in de onderste afbeelding geeft een piek in de intensiteit van het weerkaatste licht weer. Afbeelding: [National Ecological Observatory Network](#).

In zulke puntenwolken kun je eigenlijk al meteen bomen herkennen, en met moderne algoritmes kun je die ook nog eens mooi reconstrueren met een computer - zie bijvoorbeeld [hier](#). Het is ook redelijk eenvoudig om uit zulke puntenwolken automatisch verschillende soorten objecten te herkennen en zo de punten in categorieën in te delen: grond, boom of gebouw. Door te kijken naar de vorm van de grafiek die de intensiteit van het weerkaatste licht als functie van de tijd weergeeft, kun je nog meer leren, zoals wat voor soort bomen ergens staan, hoeveel bladeren die bomen hebben, hoeveel kreupelhout er groeit, of de bomen jong of oud zijn, enzovoort. Ben je nieuwsgierig naar zulke data? [Hier](#) kun

je zelf met een LiDAR-dataset aan de slag.

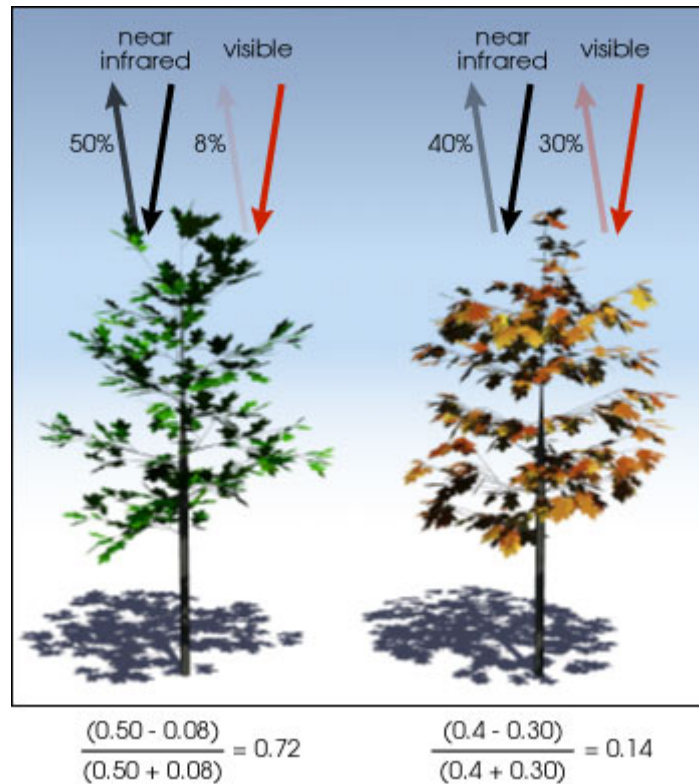
Spelen met golflengtes

Er is nog één parameter die we niet hebben genoemd, namelijk de *golflengte* van het laserlicht dat we gebruiken. Het speciale aan lasers is namelijk dat het uitgezonden licht allemaal dezelfde golflengte heeft – dit in tegenstelling tot alledaagse lichtbronnen zoals de zon of een gloeilamp. Door verschillende soorten lasers te gebruiken, kun je dus de golflengte in een LiDAR-meting variëren. Voor metingen van bodemoppervlakken worden meestal lasers gebruikt met een golflengte van 532 nanometer (groen licht) of met een golflengte van 1064 nanometer (nabij-infrarood).



Afbeelding 4. Het elektromagnetisch spectrum. LiDAR-metingen gebruiken laserlicht met een golflengte van 532 nm of 1064 nm. Afbeelding: [National Ecological Observatory Network](#).

Deze twee golflengtes zijn zo gekozen omdat ze beide sterk weerkaatst worden door planten en de grond. Omdat gezonde planten veel zichtbaar licht absorberen voor fotosynthese, weerkaatsen ze bovendien *minder* zichtbaar licht dan ongezonde planten of gebieden waar niets groeit. Door dus met twee verschillende golflengtes te meten, die in verschillende hoeveelheden geabsorbeerd worden door gezonde (groene) planten en zieke of dode planten, kun je de hoeveelheid en gezondheid van begroeiing van een afstand meten!

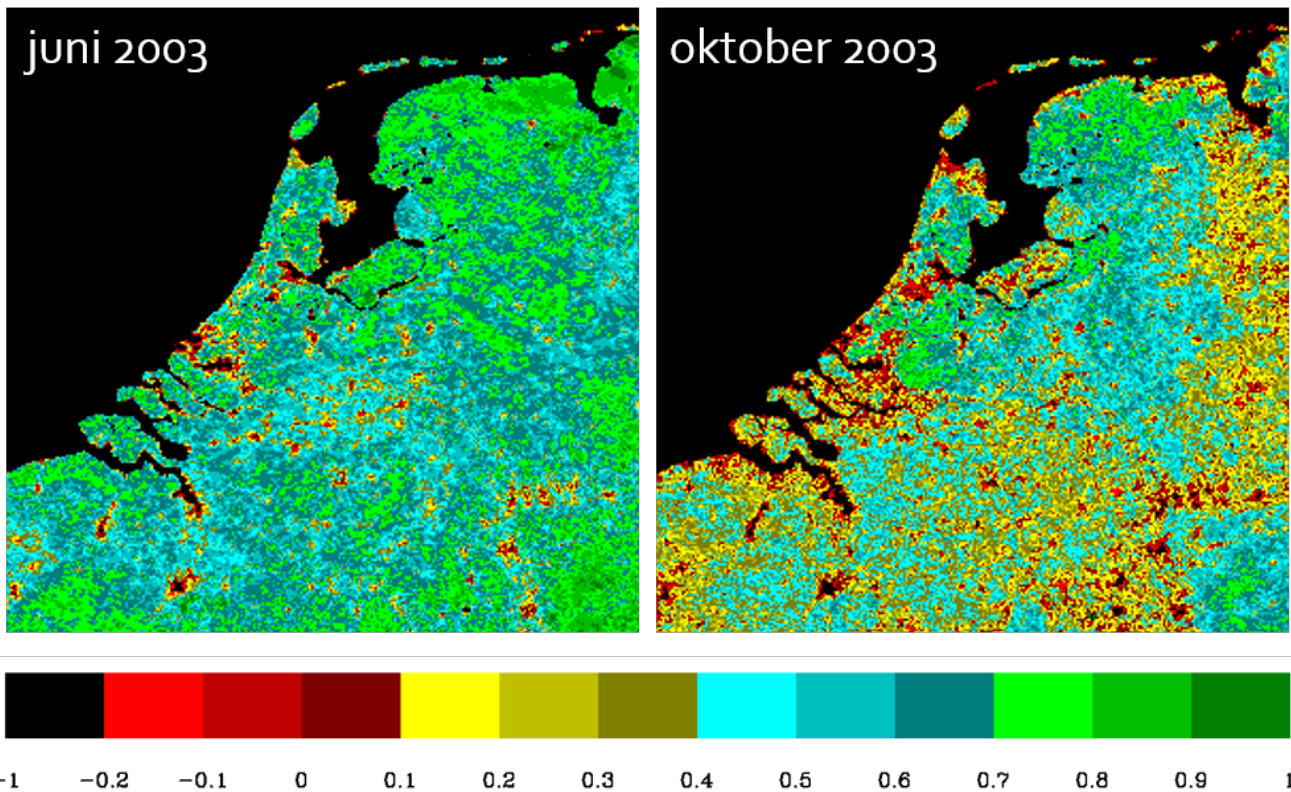


Afbeelding 5. Gezonde bomen weerkaatsen minder zichtbaar licht. Gezonde planten absorberen relatief meer nabij-infrarood en minder zichtbaar licht dan uitgedroogde, zieke, of dode planten. Afbeelding: [Robbert Simmon, NASA](#).

In afbeelding 5 is te zien dat gezonde en ongezonde bomen verschillen in hoeveel groen en nabij-infrarood licht ze weerkaatsen. Onderaan de figuur staan twee berekeningen die de verhoudingen tussen hoeveelheden licht omzetten in een getal; de zogeheten 'Normalised Difference Vegetation Index', oftewel NDVI:

NIR (nabij-infrarood) en VIS (zichtbaar) staan hier voor het percentage van gemeten licht dat met de twee verschillende lasergolfgengtes gemeten wordt. De NDVI kan variëren tussen -1

(helemaal geen infrarood) en +1 (helemaal geen groen licht), waarbij bijvoorbeeld de NDVI van water rond de -1 ligt, die van kale aarde rond de 0, en die van gezonde planten juist dicht bij +1.



Afbeelding 6. NDVI-kaarten van Nederland uit juni en oktober 2003. De kleurschaal geeft de NDVI-waarde aan. Er is duidelijk te zien dat er in oktober, in de herfst dus, minder begroeiing is! Afbeelding: [Gennaro Cappelluti](#).

Metingen zoals deze zijn erg nuttig voor het bijhouden van zowel seizoensgebonden variatie van begroeiing, als van gezondheid van gewassen in de landbouw, ontbossing en overige verandering in landgebruik. LiDAR kan hier meer informatie geven dan satellietfoto's. Illegale houthakkers kappen bijvoorbeeld vaak niet alle bomen, maar halen juist de grootste en oudste bomen als eerste weg en verzwakken daarmee de rest van het bos. De resulterende verdunning van het bos is niet altijd goed te zien op foto's, maar is makkelijk te herkennen in LiDAR-data!

Zelfs Albert Einstein had waarschijnlijk niet kunnen voorspellen dat gestimuleerde emissie van atomen ooit zou leiden tot zo'n nuttige techniek als LiDAR. Als natuurkundige werk je vaak aan fundamentele vraagstukken waarvan de toepassingen niet meteen duidelijk zijn;

gelukkig komt zulk werk soms toch nog goed van pas!