

Anvendelse af spektral billedteknologi i fysik- undervisning og projekter

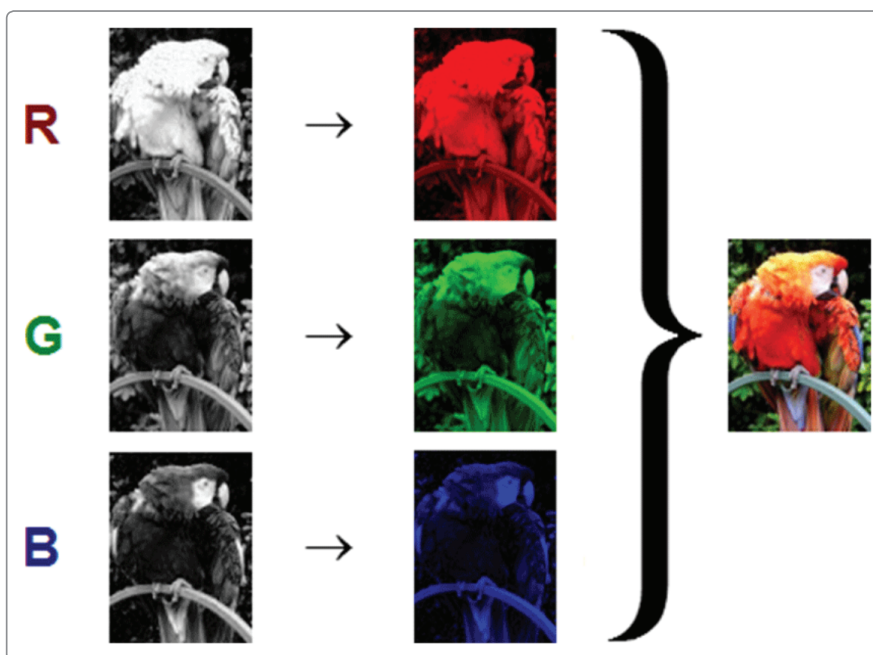
HANS CHRISTIAN WESTTOFT, Rungsted Gymnasium

Fysik kan arbejde med data, der er relevante for en række forskellige fag både i den daglige undervisning, i fællesfaglige forløb og i SRP-projekter. Denne artikel giver en oversigt og beskrivelse af en række forskellige muligheder med fokus på anvendelse af spektral billedteknologi.

Farvebilleder af planeter, galakser og tåger med det fysiske undervisningsteleskop

For at lave et farvebillede skal der observeres gennem tre filtre svarende til rød, grøn og blå som illustreret på figur 1 af en papegøje. De tre filtre kan være R-, V- og B-filtrene fra figur 2, men hvis man gerne vil lave et farvebillede, der viser en måne foran planeten Jupiter, har man dog brug for at benytte det infrarøde I-filter, som fx kan erstatte R-filtret, da det indeholder nogle af de samme bølglængder. På figur 3 og 4 ses det, hvordan man ved at ændre bl.a. kontrasten af de optagne filterbilleder fra det Fjernstyrede UndervisningsTeleskop (FUT) kan få lavet et RGB-billede af Eta Carinae-tågen med langt flere detaljer og dybde. Til at lave billedet er anvendt programmet JS9 direkte i en internetbrowser – js9.si.edu.

Man kan selv bestille observationstid med det Fjernstyrede UndervisningsTeleskop (FUT) på linket fut.phys.au.dk, lige-



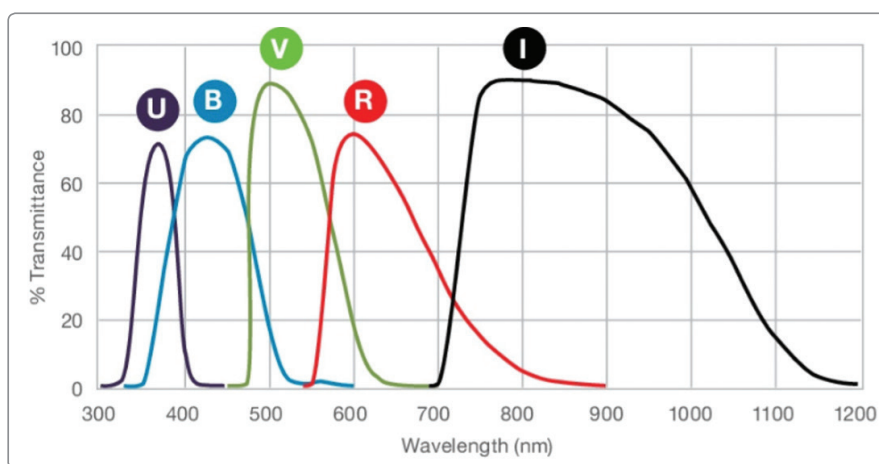
Figur 1
Konstruktion af farvebillede ud fra tre billeder taget med rødt, grønt og blå filter.

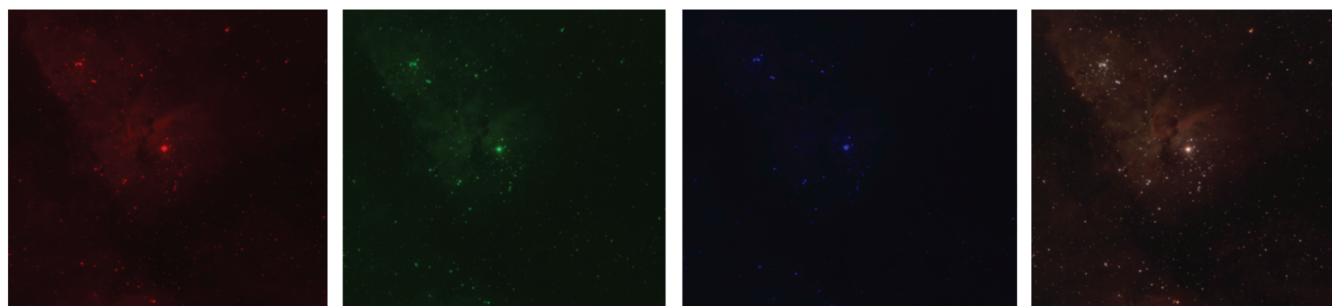
som forfatteren til artiklen og Rungsted Gymnasiums Astronomiske Observationsklub gjorde med billederne af Eta Carinae-tågen. Man kan også downloade filer fra hjemmesiden, da alle filerne er frit tilgængelige efter oprettelse af en bruger. På hjemmesiden er der også projekter om fremstilling af HR-diagram af stjernehob og tidsserie af lysstyrkemålinger.

Spektrale billeder fra James Webb-teleskopet

Det seneste års tid er der blevet udgivet en lang række billeder fra James Webb-teleskopet, som giver idéer om hvilke muligheder teleskopet giver i forhold til det tidligere Hubble-teleskop. Det er illustreret på figur 5 med billeder af Sombrero galaksen (M104), hvor man til venstre ser et billede fra Hubble fra 2004 (hubblesite.org/contents/media/images/2003/28/1415-Image.html) taget med rødt, grønt og blå filter, mens billedet til højre er frembragt ud fra billeder taget med filtre i det infrarøde område med James Webb (science.nasa.gov/missions/webb/hats-off-to-nasas-webb-sombrero-galaxy-dazzles-in-new-image). Det er altså ikke det samme lys de to teleskoper anvender til at lave billedet, og derfor ses der også noget forskelligt på billederne.

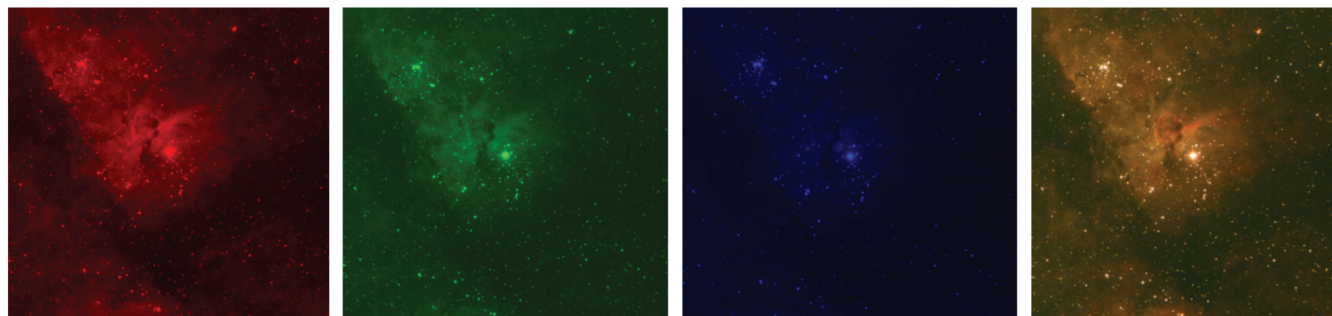
Figur 2
Transmission på y-aksen og bølglængden i nanometer på x-aksen for de tre farvefiltre samt ultraviolet og infrarød.





Figur 3

Billeder fra det fysisk undervisningsteleskop af Eta Carinae tågen NGC3372 taget med de tre filtre R, V og B fra venstre og et RGB billede ud fra de tre filterbilleder til højre.



Figur 4

Billederne fra figur 3 justeret i forhold til contrast og bias af Eta Carinae tågen NGC3372.



Figur 5

Til venstre ses et billede konstrueret fra Hubble-teleskopet i det synlige område af Sombrero-galaksen, mens billedet til højre er konstrueret med filtre i det infrarøde af James Webb ved 7,7 μm som blåt, 11,3 μm som grønt og 12,8 μm som rødt.

Har man selv mod på at lave billeder ud fra billeder taget med James Webb-teleskopet, så er det muligt, da store mængder filer ligger frit til gængeligt på linket mast.stsci.edu/portal/Mashup/Clients/Mast/Portal.html under missionsnavnet JWST. På figur 6 ses et billede af Stephans-kvintet fremstillet med js9.si.edu af forfatteren. De tre billeder, der er anvendt til at fremstillet billedet, er taget med NIRCarn og de tre filtre F277W, F356W og F444W.

Figur 6

Et billede af Stephans-kvintet fremstillet af forfatteren ud fra billeder fra James Webb-teleskopet.



Multi- og hyperspektrale billeder og matematik

I modsætning til de billeder, vi har kigget på indtil videre, som kun er fremstillet ud fra tre filtre, så vil multispektrale billeder indeholde et større antal billeder taget med forskellige filtre, mens hyperspektrale vil give et billede taget ved alle bølgelængder inden for et område fx 400 til 1200 nm, hvilket er illustreret på figur 7 til venstre. Til højre på figur 7 ses fire forskellige måder at scanne på, når man optager hyperspektrale billeder.

Et projektemne for SRP i matematik og fysik handler om, hvordan man kan anvende PCA (Principal Component Analyse), som er et multivariat statistisk analyseværktøj, der kan hjælpe en med at finde interessante tendenser i et hyperspektralt spektrum.

En beskrivelse af, hvordan det udføres i praksis, kan ses og udføres på data-

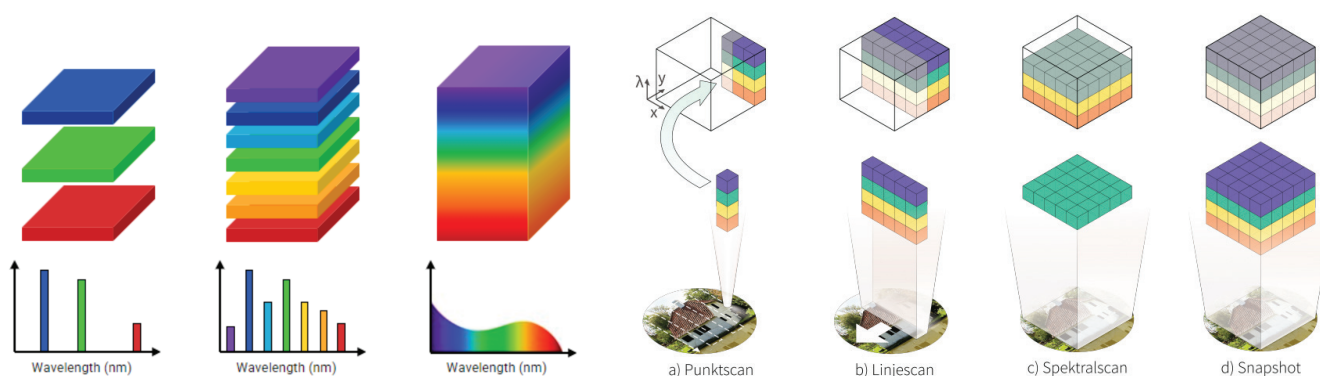
sæt på linket mathworks.com/help/imageref/hyperpca.html. På figur 9 ses de otte første normaliserede PCA-komponentbilleder af en sommerfugl (Papilio Bromius). Billederne er arrangeret således, at den største mængde af varians (eller information) i det originale datasæt er indeholdt i det første komponentbillede, og mængden af varians falder med hvert komponentbillede, og mængden af støj vokser med hvert komponentbillede. Nu kan man konstruere et billede af sommerfuglen ud fra billeder taget med R-, B- og V-filtre eller inkludere et eller flere billeder fra figur 9.

Der findes en lang række hjemmesider med introduktion til PCA-metoder, og to mulige, der kan hjælpe, er medium.com/intuition/mathematical-understanding-of-principal-component-analysis-6c761004c2f8 og medium.com/@RobuRishabh/principal-component-analysis-pca-64501738bf2a.

Hvad gemmer malerierne?

Man kan også kombinere fysik og billedkunst ved at undersøge malerier med forskellige metoder og undersøge lagene i kunstværker. Det er illustreret på figur 10, hvor det er ekstra tydeligt, at der er malet en ekstra arm på det hyperspektrale billede, som også giver en bevægelse af hoften. Nogle af de samme ting ses i røntgenbilledet, som dog er markant sværere at optage, hvilket på figuren illustreres ved, at man kun kan optage en fjerdedel af maleriet ad gangen.

På figur 11 kan man se eksempler på nogle af de pigmenter der er fundet i lagene på Vilhelm Lundstrøms 'Nature morte'. Man kan opleve det selv på Brandts Kunstmuseum indtil udstillingen lukker den 30. marts 2025 eller på linket brandts.dk/presse/lundsstroms-evighedsbla.

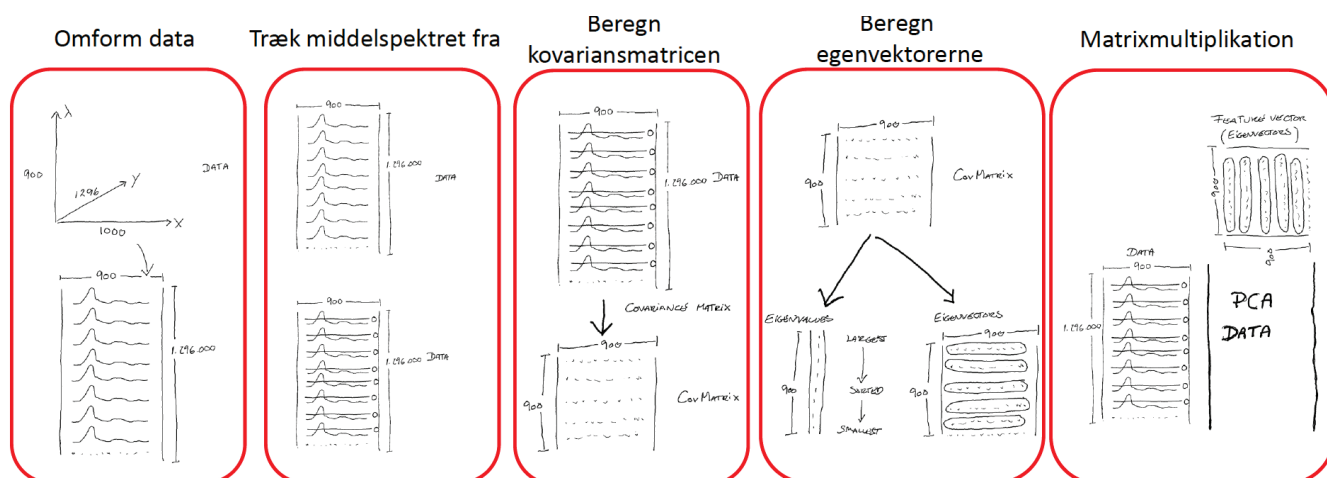


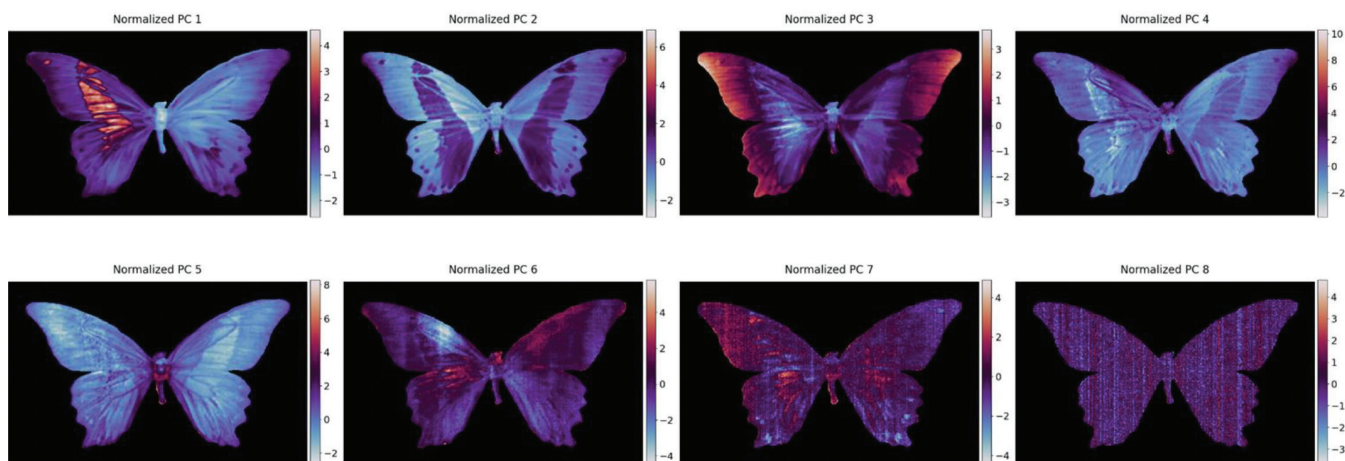
Figur 7

Illustrationen til venstre viser forskellen mellem RGB, multi- og hyperspektrale billeder, mens illustrationen til højre viser fire af de mest gængse hyperspektrale billedeteknikker. a) Spektret i hver pixel optages individuelt. b) Spektret af en hel række pixels optages samtidig. c) Alle pixels måles på samme tid, men kun for én spektral kanal ad gangen. d) Spektret i alle pixels optages på én gang.

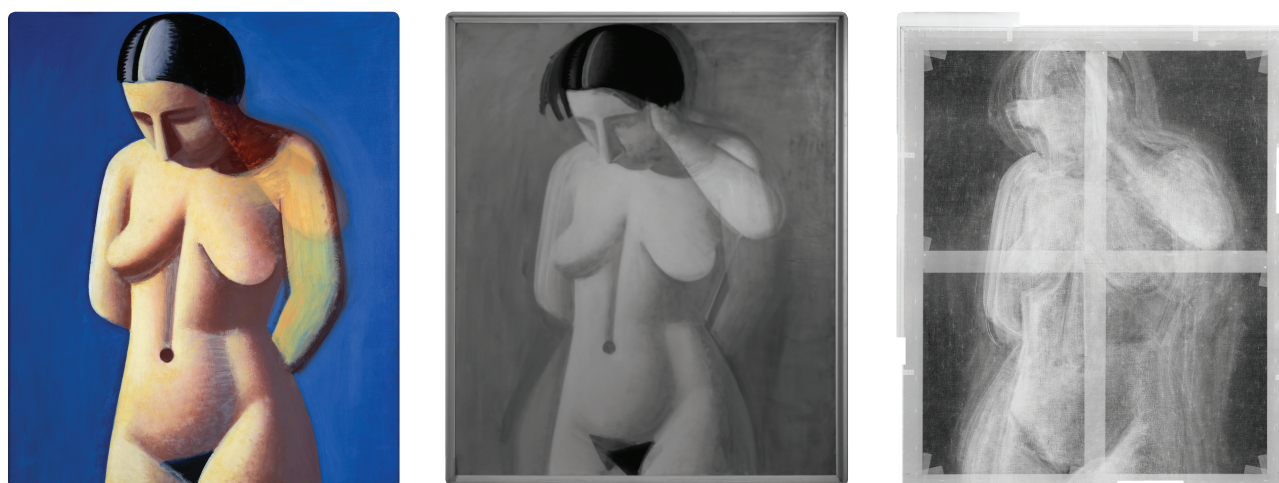
Figur 8

Gennemgang af PCA-metoden på et hyperspektralt billede.

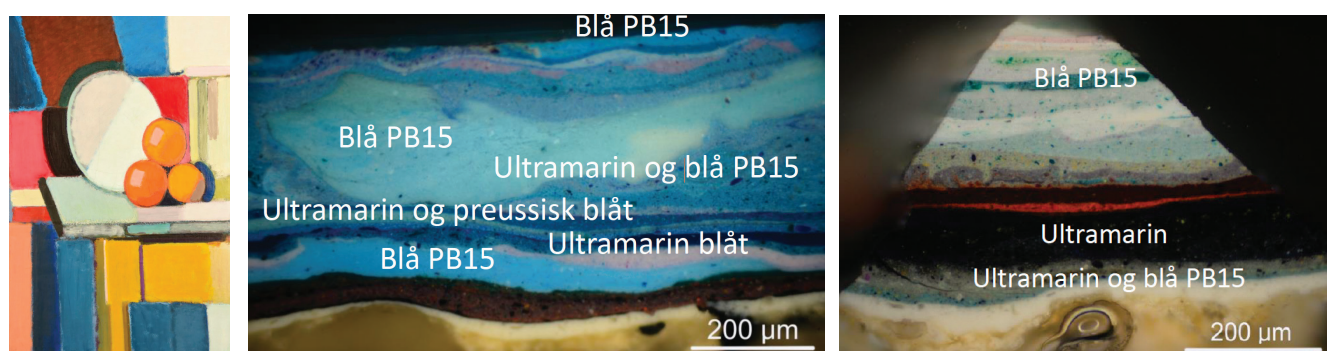




Figur 9
De første 8 komponentbilleder efter en PCA af en sommerfugl taget med et hyperspektralt kamera.



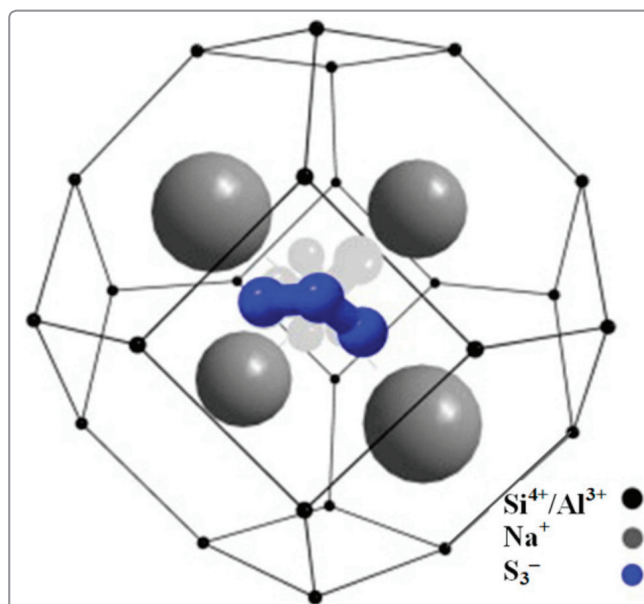
Figur 10
Tre udgaver af Vilhelm Lundstrøm 'Modelbillede' (1928–29) taget med almindeligt kamera (tv), hyperspektralt billede ved 1550 nm (midt), røntgenbillede (th).



Figur 11
Vilhelm Lundstrøm 'Nature morte' (1945) ses til venstre, midt for ses lagene af en prøve taget i det øverste venstre hjørne af 'Nature morte' og til højre ses lagene fra en prøve taget fra nederste højre hjørne af 'Nature morte'.

Hvorfor betyder pigmenterne så meget?

Et godt eksempel på samarbejde mellem kemi og fysik er pigmenter, da selv små ændringer i kemisk sammensætning og formaling kan give forskellige farvenuancer. Et eksempel er det blå pigment ultramarin, som ses i lagene på Vilhelm Lundstrøms maleri 'Nature morte' på figur 11, og har den kemiske sammensætning givet som $\text{Na}_{6-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_{2-4}$. Det fremstilles ved at knuse, formale og rense råmaterialet for at adskille de andre mineraler fra mineralet lazurit. Det er i modsætningen til mange andre farvede forbindelser ikke undergruppe-metalioner, som giver anledning til farven, men S_3^- -ionen indeholdende en ledig elektron, der giver en kraftig absorption ved bølgelængder omkring 615 nm, og disse ioner er bundet omkring fire natriumioner i krystalstrukturen som det ses på figur 12.



Figur 12

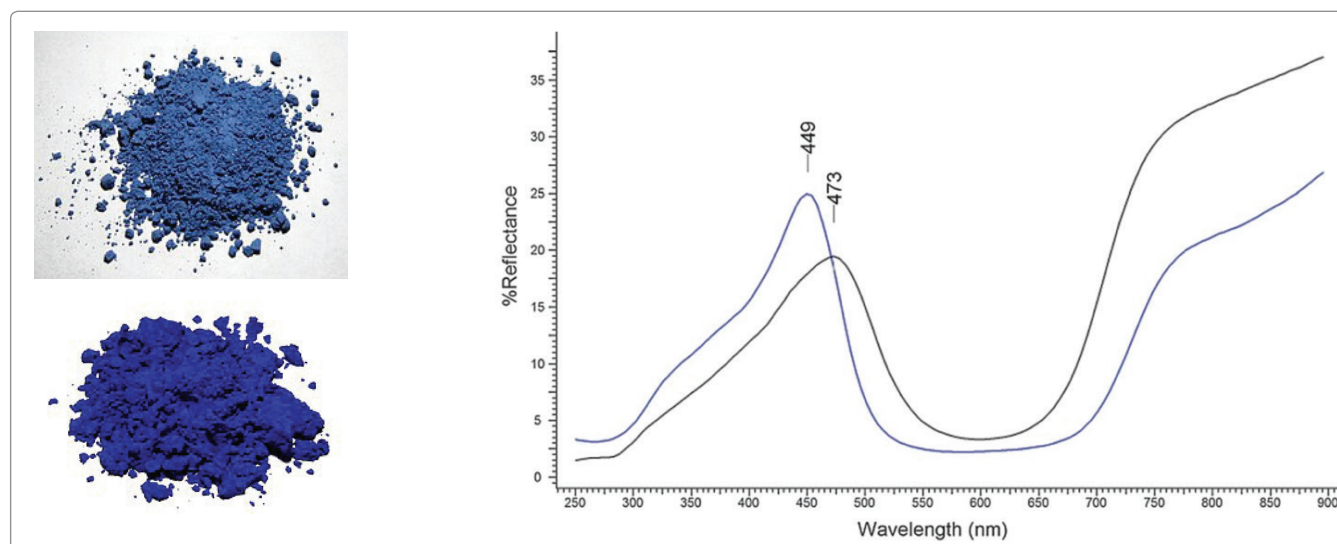
Et uddrag af krystalstrukturen for ultramarin fra artiklen 'Synthesis of Ultramarine from Reservoir Silts', Yin-Hsiu Hsiao et al, *Minerals* 2017, 7(5), 69.

I bogen *Kend kemien 2* af Henrik Parbo, Anette Nyvad og Kim Kusk Mortensen kan man læse mere om uorganiske pigmenter. På figur 13 ses et eksempel på billeder af naturlig og syntetisk ultramarin sammen med refleksionsspektre som indikerer, at syntetisk ultramarin har en mere levende blå, da partiklerne i syntetisk ultramarin er mindre og mere ensartede end partiklerne i naturlig ultramarin.

Satellitbilleder og naturgeografi

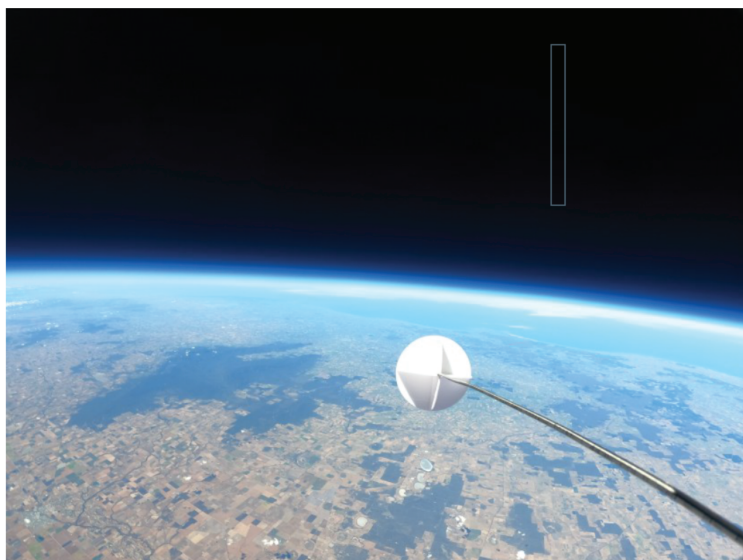
Et muligt samarbejde mellem fysik og naturgeografi er konstruktion af RGB-billeder fra satellitter, da vegetation reflekterer stråling i de nær-infrarøde bølgelængder meget kraftigt og gør nær-infrarøde billeder særdeles gode til kortlægning af vegetation. Det ses blandt andet i *Geografisk orientering*, 44. årgang nr. 3, august 2014 (geografforbund.dk/media/2083/go3-2014-web.pdf)

med et RGB-billede af Danmark taget af Quickbird-satellitten og er vist til venstre på figur 15. På figuren ses også et billede af den stratosfæriske luftballon som skal tage hyperspektrale billeder af jorden for det tysk-svenske rumprogram REXUS/BEXUS som studerende for AU og SDU, under projektnavnet Heimdal, blev udvalgt som deltagere i



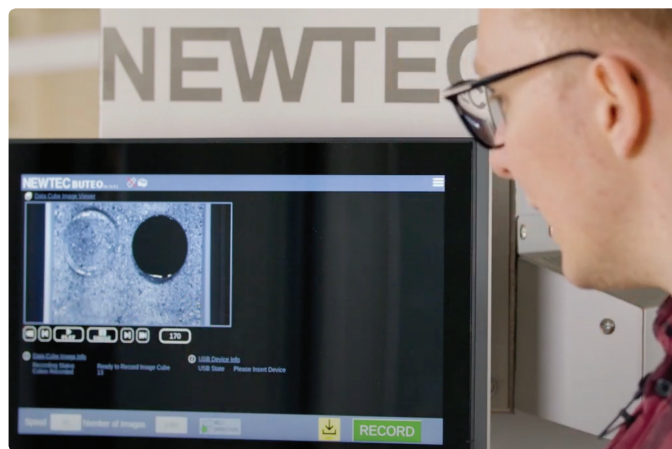
Figur 13

Til venstre ses øverst naturlig og nederst syntetisk ultramarin, mens der til højre er vist en graf med den procentvise refleksion for prøver af naturlig (sort) og syntetisk (blå) fremstillet ultramarin. Grafen er fra artiklen 'Non-invasive differentiation between natural and synthetic ultramarine blue pigments by means of 250–900 nm FORS analysis', M. Aceto et al, 2013, *Analytical Methods*.



Figur 14

Til venstre ses et oversigtsbillede fra Quickbird-satellitten fra maj i 2008. Billedet er taget over Danmark og vist som almindelig rød, grøn, blå (RGB) farvebillede og til højre et billede af luftballonen, som skal tage hyperspektrale billeder for bl.a. Heimdal-projektet.



Figur 15

Til venstre to opløsninger af henholdsvis frugtfarve og kobbersulfat, som ser ens ud med et almindeligt kamera, mens til højre ses de samme opløsninger ved en bølglængde i det nær-infrarøde område taget med et hyperspektralt kamera.

som et ud af 9 projekter (ufm.dk/forskning-og-innovation/rumområdet/aktuelt/nyheder/2024/danish-heimdal-project-selected-for-a-flight-on-a-stratospheric-balloon-or-sounding-rocket).

Bogen "Fysik i rummet – raketter, satellitter og jordobservation" fra fysik i det 21. århundrede til fysik A af Steen Eiler Jørgensen og Jakob Kirknæs giver en god introduktion til teorien bag jordobservationer med satellitter og en bred anvendelse af satellitmålinger.

Besøg på Universitet

SDU udbyder allerede et SRP-projekt med titlen "Spektroskopi og hyperspektralt kamera" (sdu.dk/da/om-sdu/institut-ter-centre/fysik_kemi_og_farmaci/gymnasier/outreachfysik/srpfysik/srphyperspek), hvor eleverne kan udføre en øvelse hvor de skal tage, behandle og analysere spektrale billeder. Eleverne har mulighed for at få sparring med forskeren bag forløbet Bjarke Jørgensen, Head of Research, Newtec Engineering A/S, og Mads Juul Ahlebak (SDU) har lavet en meget illustrative video af, hvad og hvordan metoden kan anvendes (youtube.com/watch?v=f1Lf0kQVGyo).

Den kan blandt andet anvendes til i det infrarøde område at skelne mellem to ens lyseblå opløsninger i synligt lys, som det ses på figur 15, men også om der er anvendt gødning på en mark og frasortering af dårlige kartofler. Mens man godt kan se forskel mellem de to lyseblå opløsningers absorptionsspektrum ved anvendelse af et spektrofotometer, så kan hyperspektrale kameraer hjælpe med at bestemme den kemiske sammensætning samt diverse tilsætningsstoffer i vores plastikaffald, hvis opløsningen bliver endnu bedre.