



Potchefstroomse Universiteit
vir Christelike Hoër Onderwys

WETENSKAPLIKE BYDRAES

Reeks H: Inougurele Rede Nr. 135

OUR MODELLE EN DIE LEER VAN FISIKA

Prof. J.J.A. Smit

Inougurele rede gehou op 3 Junie 1994

Departement Sentrale Publikasies

Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys

Potchefstroom

2520

Die Universiteit is nie aanspreeklik vir menings in die publikasies uitgespreek nie.

Navrae in verband met die *Wetenskaplike Bydraes* moet gerig word aan:

**Departement Sentrale Publikasies
Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys
2520 POTCHEFSTROOM Suid-Afrika**

© 1994

ISBN 1-86822-179-2

OOR MODELLE EN DIE LEER VAN FISIKA

1. Inleiding

Daar is by elke mens 'n diepgewortelde behoefte om dinge om hom te verstaan, te begryp, te weet hoe dit werk; om byvoorbeeld te verstaan waarom die sterre fonkel, weerlig eers gesien en die slag daarna gehoor word. Dit is die strewe van Fisika-onderwysers en -dosente om die vak só aan te bied dat leerlinge en studente ook hierdie dinge verstaan. Hierdie voordrag handel oor modelle en die leer van fisika. Met leer bedoel ons hier die leerproses by leerlinge en studente, 'n proses wat lei tot verstaan. Daar is verskillende faktore wat die suksesvolle leer van fisika beïnvloed. Ons sal nie vanaand by almal kan stilstaan nie. Ons sal wel aantoon dat modelle 'n baie belangrike rol in die onderrig van fisika speel en dat 'n goeie kennis van die aard, wese en funksies van modelle in fisika noodsaaklik is vir die verstaan van die vak; dat in die onderrig van die vak die onderwyser en dosent kennis moet dra van persoonlike modelle van leerlinge en studente en dat hierdie persoonlike modelle in ag geneem moet word in die onderrig.

Ons sal begin met gedagtebeelde. Daarna sal aandag aan modelle in fisika, die aard, ontstaan en funksies van die modelle en die kennis wat onderwysstudente van die modelle het, gegee word. Dan beweeg ons na die onderwysterrein waar persoonlike modelle van studente, die konstruktivistiese siening van onderwys en die begrip verstaan, in oënskou geneem sal word. U mag vra wat 'n model is, of wat die definisie van 'n model is. 'n Opmerking oor die moontlike definisies van wat 'n model in fisika is, sal na die bespreking van die funksies van modelle gemaak word. Dit word teruggehou tot dan, omdat u op daardie stadium beter begrip daarvoor sal hê. Die begrip "model" sal, soos die voordrag vorder, ontwikkel word.

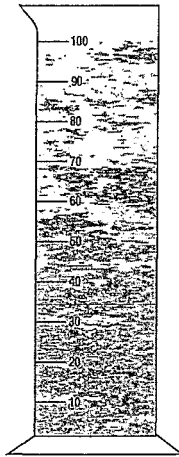
Ons begin met gedagtebeelde.

2. Gedagtebeelde

Die bekende fisikus-filosof van Oxford-Universiteit, Rom Harré, beweer dat daar slegs twee draers van wetenskaplike denke is, naamlik gedagtebeelde en sinne. By sinne sluit hy enkelwoorde en sinsnede in. Om die bewering van Harré te illustreer vra ek u om vir 'n oomblik u oë toe te maak en te dink aan 'n maatsilinder gevul met water. U sal heelwaarskynlik die volgende prentjie in u gedagtes vorm (figuur 1).

So 'n beeld kan in die gedagte verwerk word. Dink hoe die beeld sal verander indien 'n rooi kleurstof by die water gevoeg word.

Gedagtebeelde wat in die langtermyngeheue geberg is, word by die aanhoor van 'n woord of 'n sin of by die lees daarvan verplaas na die korttermyngeheue waar dit dan verder geprosesseer kan word. Die beeld word nie slegs deur eksterne taalprikke gewek nie, maar ook deur interne gesprekvoering. Wanneer mens dink oor 'n saak, is daar 'n gedurige wisselwerking tussen gedagtebeelde en taal.



Figuur 1: Gedagtebeeld gewek deur: "maatsilinder gevul met water".

Op hierdie stadium en met die oog op die bespreking wat volg, twee opmerkings oor gedagtebeelde. Die eerste het betrekking op die ontstaan van gedagtebeelde. Gedagtebeelde word gevorm nie slegs deur die visuele persepsies van voorwerpe as mens daarna kyk nie. Gedagtebeelde kan ook intern geskep word. Niemand van ons het nog ooit 'n skoorsteen met 'n knoop gesien nie, maar ek is oortuig daarvan dat elkeen 'n gedagtebeeld van 'n skoorsteen met 'n knoop kan vorm.

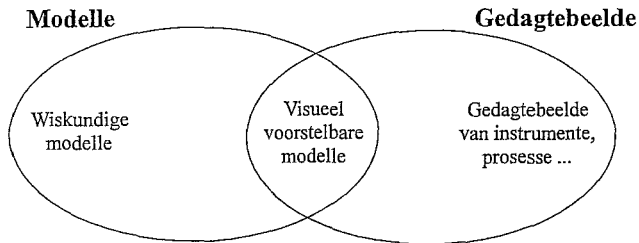
Die tweede opmerking het betrekking op die funksie van gedagtebeelde in menslike kommunikasie. Wanneer twee mense normaalweg kommunikeer, is dit deur medium van taal. Die een spreek woorde en sinne uit wat gedagtebeelde by die ander wek. Die spreker het natuurlik self ook die gedagtebeeld van die onderwerp van bespreking paraat in sy korttermyn-geheue. Dit behoort duidelik te wees dat 'n sinvolle gesprek alleen moontlik is, as beide persone wat aan die gesprek deelneem, ooreenstemmende gedagtebeelde van die onderwerp van bespreking het. In die onderrig van Fisika kan dit gebeur dat studente nie 'n gedagtebeeld van die onderwerp onder bespreking het nie, of dat hierdie gedagtebeeld nie voldoende ontwikkel is om die dosent sinvol te volg nie. Dit is 'n belangrike faktor wat die verstaanproses belemmer.

3. Modelle in Fisika

'n Belangrike klas gedagtebeelde in fisika is modelle. Alle modelle in fisika is egter nie gedagtebeelde nie, en alle gedagtebeelde is nie modelle nie, soos in die diagram getoon word. (figuur 2)

Van die visueel voorstelbare modelle in fisika kan gedagtebeelde gevorm word. Dink maar aan die atoommodelle van Thomson en Bohr of aan die model van 'n watermolekuul. Van wiskundige modelle in fisika kan nie prentjies gemaak word nie. As voorbeeld kan die kwantumeganika aangehaal word. Dit is bloot 'n wiskundige modellering van

submikroskopiese aspekte van die werklikheid. Met verwysing na hierdie afdeling van Fisika het Niels Bohr in 'n brief in 1926 aan Slater dit so gestel: "In my opinion the possibility of obtaining a space-time picture based on our usual conceptions becomes ever more hopeless".



Figuur 1: Verband tussen fisika-modelle en gedagtebeelde.

Navoring na die denke van uitsonderlike fisici soos Einstein en Bohr toon dat hulle visuele denkers was. Dit verklaar die soeke by hierdie fisici na prentjies om prosesse en entiteite in die natuur voor te stel en die ontnugtering van Bohr as hy ontdek dat hy nie meer prentjies kan vorm nie.

Hierdie neiging om prentjies van konsepte in die fisika te probeer vorm is ook by studente en dosente teenwoordig. Ons en ons studente probeer sover as moontlik om in fisika konsepte visueel voor te stel, om prentjies te maak daarvan. Selfs van abstrakte, nie-visueel voorstelbare konsepte soos warmte, energie, tyd ens. probeer ons gedagtebeelde vorm.

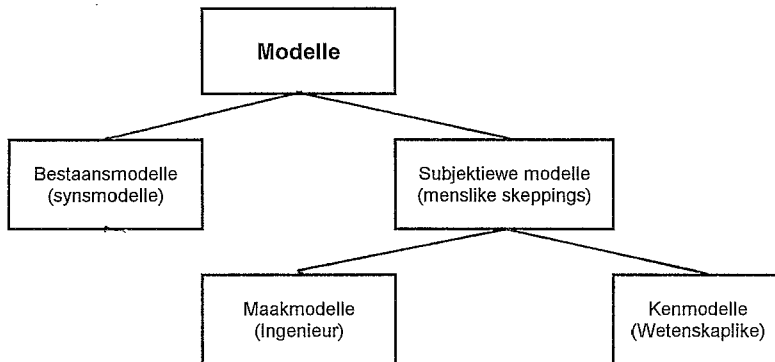
Modelle in fisika toon 'n ontwikkelingslyn van eenvoudige visuele voorstellings na abstrakte wiskundige modelle in sommige gevordere afdelings van Fisika. 'n Voorbeeld is die voorstellings van golwe. Eenvoudige transversale en longitudinale golwe kan maklik voorgestel word, maar die golf in golfmeganika is bloot 'n wiskundige formalisme.

In die onderrig van fisika op laer- en hoërskool en op voorgraadse vlak speel visuele modelle 'n belangrike rol, en die vorming van helder en duidelike voorstellings van die modelle behoort deurgaans aandag te geniet. Visuele modelle is egter nie beperk tot Fisika op hierdie vlakke nie. In gevorderde navorsing word steeds visuele modelle gevorm, soos byvoorbeeld van die sonwind, neutronsterre, gravitasiekolke, ens.

In die bespreking wat volg, sal hoofsaaklik op visuele modelle gefokus word. Ten einde duidelikheid te kry oor die aard, funksies en rol van modelle in die kenteorie van fisika, is dit nodig om eers die klassifikasie van die verskillende soorte modelle in fisika te behandel. Ons sal twee klassifikasies van modelle bespreek. Die eerste is 'n sintese van klassifikasies deur Santema, Klaus en

Harré. Hierdie werk is die afgelope drie jaar te Potchefstroom ontwikkel en verhelder, myns insiens, talle aspekte van die modelbegrip in fisika. Die tweede klassifikasie is onlangs deur Harré, Aronsen en Way gemaak en is vanweë die eenvoud daarvan toepaslik in die onderrig van Fisika.

Ons bepaal eers die aandag by die klassifikasie gegrond op die werk van Santema, Klaus en Harré. Skematies kan die hoofklasse waarin modelle deur Santema en Klaus verdeel word, soos volg voorgestel word (figuur 3).



Figuur 3: Voorstelling van die klassifikasie van modelle volgens Santema en Klaus.

Santema tref eerstens 'n onderskeid tussen bestaans- of synsmodelle en subjektiewe modelle. Synsmodelle kan deur die mens geken maar nie deur die mens geskep word nie. Hierdie modelle is volgens Santema religieus-filosofies van aard. Volgens Plato is synsmodelle (eidé) die modelle waarvolgens die goddelike demiurg die werklikheid geskep het.

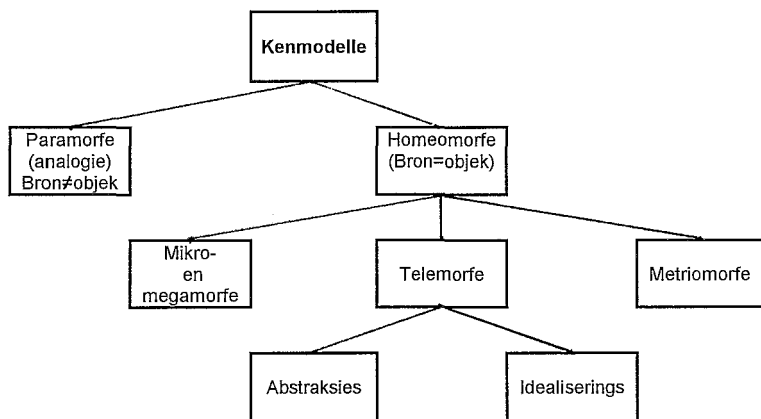
Subjektiewe modelle daarteenoor is menslike skeppings. Daar is volgens Klaus twee klasse subjektiewe modelle, naamlik maakmodelle en kenmodelle. Maakmodelle is die modelle wat deur die mens gebruik word om iets in die praktyk te skep. Die ingenieur maak eers 'n model van 'n vliegtuig en toets dit in byvoorbeeld 'n windtonnel, voordat die werklike vliegtuig gebou word. Dit is belangrik om daarop te let dat die idee vir die model in die brein van die ingenieur ontstaan en die resultaat iets in die werklikheid is.

Kenmodelle is volgens Klaus die wetenskaplike modelle. Dit is modelle wat die mens instaat stel om die natuur te ken of om kennis van die werklikheid te kry.

Die onderskeid tussen maak- en kenmodelle berus op die rigting van die proses waarin die modelle gebruik word. Maakmodelle is van die mens af gerig op die vormgewing van tegniese voorwerpe en prosesse. Kenmodelle

se funksie is na die mens se denke gerig. Dit help die mens om kennis van die werklikheid te kry. Die begrip werklikheid is telkemale al gebruik en verdien op hierdie stadium omskrywing. Filosofe het verskillende standpunte oor wat die werklikheid is. Daar is 'n groep wat beweer dat daar geen eksterne werklikheid bestaan nie. Die werklikheid is volgens hulle slegs 'n persepsie deur die menslike brein. Die Christen-wetenskaplike het geen probleme met wat werklikheid is nie. God is werklikheid en Sy Skepping is werklikheid. Die fisikus bestudeer die stoflike, nie-biotiese deel van die Skepping. In dié proses vorm die fisikus modelle, die kenmodelle met primêre funksie die verkryging van kennis van die Skepping.

Die transparant (figuur 4) dui die verband tussen die verskillende kenmodelle soos Harré dit geklassifiseer het, aan. Ons bespreek nie die taksonomie nie, maar vestig die aandag op die verskeidenheid kenmodelle.



Figuur 4: Die verband tussen die verskillende modelsoorte volgens Harré.

Die tweede eenvoudige klassifikasie van modelle deur Harré, Aronsen en Way verdeel kenmodelle in drie tipes.

Tipe 1-modelle is verteenwoordigers van objekte of entiteite in die natuur wat die fisikus glo werklik bestaan. 'n Fisikus glo dat atome, molekule, mesone, pulsare, sonwinde en neutronsterre bestaan, omdat hierdie objekte eksperimenteel waargeneem kan word. Modelle van hierdie objekte is van tipe 1.

Die tweede tipe model wat Harré en sy medewerkers onderskei, is modelle van hipotetiese entiteite. Die entiteit wat gemodelleer word, kan moontlik bestaan, maar die bestaan daarvan is nog nie eksperimenteel geverifieer nie. Tans is die Higgs-boson nog nie eksperimenteel geverifieer nie. Die model

van dié bosen is 'n voorbeeld van 'n model van Tipe 2. Indien die bestaan van dié hipotetiese entiteit aangetoon word, verander die status van die model daarvan na Tipe 1. As bewys word dat die hipotetiese entiteit nie bestaan nie, bly die model voortbestaan in die geskiedenis van die vak. Voorbeelde van sulke modelle is die fluïde-modelle vir warmte en die termmodelle van Descartes en Maxwell.

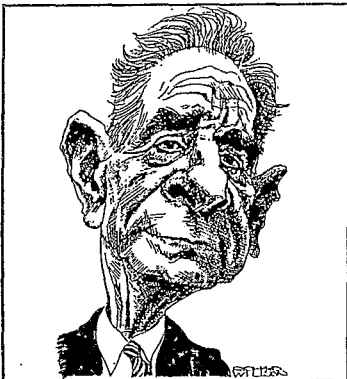
Tipe 3-modelle verteenwoordig nie reële of hipotetiese entiteite nie. Die pasgenoemde historiese modelle vir warmte en die eter sou as voorbeelde van dié tipe model kan dien. Hierdie modelle is bloot deel van die geskiedenis en word nie meer gebruik nie. Sommige tipe 3-modelle word instrumenteel gebruik om sekere funksies te vervul. Die konvensionele stroommodel in elektrisiteit is so 'n model. Die ladings wat voorgestel word van die positiewe na die negatiewe terminaal van die battery te vloei, moet nie as reële of hipotetiese ladings gesien word nie. Dit is bloot 'n modelvoorstelling wat gebruik word om energieoordrag in elektriese stroombane kwantitatief te beskryf.

Ons bespreek vervolgens die aard en ontstaan van modelle in Fisika.

4. Die aard en ontstaan van modelle in Fisika

Uit wat reeds gesê is, is dit duidelik dat modelle in fisika menslike skeppings is, nie die werklikheid self nie, maar hoogstens verteenwoordigers van reële entiteite of verskynsels. Modelle is kreatiewe skeppings van die menslike verstand wat nie uit die data afgelees word nie maar soos Leatherdale dit stel: "The model arises in a moment of insight." Die modelle is nie afbeeldings, kopieë, replikas of werklikheidsgetroue weergawes van reële entiteite nie. Met uitsondering van die wiskundige modelle kan gedagtebeelde van fisikamodelle gevorm word.

Modelle is tydelik van aard. 'n Model word gedurig aan nuwe kennis getoets en, indien nodig, aangepas of selfs verwerp. Gilbert definieer wetenskap dan ook as 'n proses van modelbou, en Sir Carl Popper beweer: "Science is for ever a search, never really a finding. It is a journey, never really an arrival".



"Science is for ever a search, never really a finding, it is a journey, never really an arrival."

Sir Karl Popper

Die welslae van fisika word grootliks bepaal deur die eksakte wiskundige beskrywings van entiteite, verskynsels of prosesse in die natuur. Dit stel 'n eis aan die model. Dit moet so gestruktureer word dat dit wiskundig hanteerbaar is. Die model word dikwels deur benaderings en idealiserings so aangepas dat dit wiskundig hanteerbaar is. Aan die ander kant is dit ook só dat ontwikkelings in wiskunde al plaasgevind het om die model in fisika te beskryf. Soms is meer as een model vir dieselfde entiteit of verskynsel moontlik. Voorkeur word dan aan die eenvoudigste model gegee.

Modelle moet langs ander, geskep vir ander doeleindes, kan bestaan. In die struktuur van fisika moet modelle onderling harmonieer.

Wetenskaplike, of ook genoem kanonieke, modelle is gemeenskapsbesit. Dié modelle word algemeen aanvaar en gebruik deur fisici. Dit is deel van die wetenskaplike kultuur. Alle fisici is veronderstel om ooreenstemmende gedagtebeelde te hê van die visueel voorstelbare modelle. Die modelle het etikette of name wat in kommunikasie 'n belangrike rol speel. As 'n fisikus die naam Bohr-atoommodel hoor, wek dit 'n bepaalde beeld. Hierdie beeld stem ooreen met dié van ander fisici.

Die terme model en teorie word soms verkeerdelik as sinonieme gebruik. Volgens Leubner, D'Espagnat, Kollaard en andere is 'n model altyd deel van 'n teorie. Leubner onderskei in enige volwaardige teorie drie elemente: die eerste is 'n versameling reële verskynsels, beskryf deur eksperimentele waarnemings; die tweede is 'n model of modelle; en die derde is 'n versameling korrespondensiereëls wat die resultate wat deur wiskundige bewerkings van die model afgelei word, koppel aan die werklikheid. 'n Model of modelle is deel van 'n teorie.

5. Die funksies van modelle in Fisika

Wat is die belangrikste funksies van modelle? Soos reeds gestel, is die primêre funksie van enige model in fisika die kenfunksie. Deur die model kry die mens kennis van die werklikheid, van die natuur. Volgens Van Oers is die verteenwoordiging van die werklikheid 'n belangrike kognitiewe funksie van modelle. "Het model konstitueer as het ware een artificiële werklikheid die afsonderlik op het mentale, aanskouwelijke of materiële niveau te ondersoeken is". Dit is om dié rede dat modelle so 'n essensiële hulpmiddel vir die uitvoering van gedagte-eksperimente is.

In die geval van die analoogmodelle identifiseer Mary Hesse 'n positiewe, 'n negatiewe en 'n neutrale analogie tussen die model en die objek van modellering. Die positiewe analogie gee die eienskappe van die model en objek wat ooreenstem, en die negatiewe die verskille. Die neutrale analogie is die eienskappe van die model en die objek waarvan ons kennis ontoereikend is om dit as positiewe of negatiewe analogie te klassifiseer. Die neutrale analogie lewer idees vir navorsing.

Modelle beskryf verskynsels, prosesse en objekte in die natuur. Die beskrywings geskied op grond van kennis wat die wetenskaplike reeds oor 'n

aspek van die werklikheid het. 'n Model bring orde in bestaande inligting. Park stel dit so: "It summarizes a number of observations that may be vast". Tycho Brahé het duisende waarnemings van die planete se beweging gemaak en dit opgeteken. Dit was amorf brokkies inligting wat, hoewel dit sistematies opgeteken was, geen patroon gehad of 'n struktuur vertoon het nie. Johannes Kepler het die model grondliggend aan die data ingesien. Die planete beweeg in elliptiese bane om die son, met die son in een van die brandpunte.

'n Belangrike funksie van modelle is die verklaring van verskynsels. Fraunhofer-lyne in die sonspektrum word verklaar deur twee modelle: 'n model van die son, en 'n atoommodel. Die wetenskaplike verklaring van natuurverskynsels word altyd gedoen in terme van 'n model of modelle.

Modelle speel 'n sleutelrol in die voorspelling van iets wat nog nie voorheen waargeneem is nie. Talle voorbeelde van sulke voorspellings is opgeteken in die geskiedenis van fisika. Die planeet Neptunus is voorspel uit waarnemings wat op 'n model gegrond was. So ook is talle elementêre deeltjies voorspel op grond van modelle.

Die bekende Franse teoretiese fisikus en filosoof, Pierre Duhem, het aan die begin van hierdie eeu die standpunt gehuldig dat modelle nie essensieel is in die ontwikkeling van fisika nie. Sy beswaar was dat modelle kunsmatig is en neig om die verstand af te lei van die soeke na logiese orde. Hy het modelle beskou as "mental crutches for feeble minds". Daar is tans geen twyfel meer oor die fundamentele rol van modelle in die ontwikkeling en struktuur van fisika nie.

Op hierdie stadium kan ons aandag aan die definisie van 'n model gee.

Dat die definisie van wat 'n model is 'n komplekse vraagstuk is, behoort duidelik te wees as ons dink aan die talle modelsoorte in die verskillende klassifikasies wat behandel is. Kollaard beweer: "Wanneer men alle betekenissen, die aan het begrip 'model' toegekend worden op één noemer zou brengen, dan ontstaat een omschrijving, die door z'n grote ruimheid vrijwel nietszeggend is". 'n Voorbeeld van so 'n definisie is dié van Apostel: "Any subject using a system A that is neither directly or indirectly interacting with a system B, to obtain information about the system B, is using A as a model for B". Hierdie definisie is so ruim dat 'n telefoongids as 'n model vir die telefoonsisteem van 'n gebied beskou kan word.

6. Gegradueerde onderwysstudente se kennis van modelle

Dit behoort op hierdie stadium duidelik te wees dat kennis van die aard en funksies van modelle nodig is vir die verstaan van Fisika. Omdat dit noodsaaklik is dat 'n onderwyser die vak wat hy onderrig, goed verstaan, is in 1991 'n ondersoek na finalejaar-Natuur- en Skeikundeonderwysstudente se kennis van modelle gedoen. Vyftien universiteite in Suider-Afrika is by die ondersoek betrek. Al 196 studente wat aan die ondersoek deelgeneem het,

was gegradeerdes met hoogste kwalifikasies in Fisika, wat gewissel het van eerstejaar- tot M.Sc-vlak.

Interessante bevindinge in die ondersoek, wat die groep studente se siening van modelle weerspieël, was:

- Modelle is afbeeldings, refleksies, werklikheidsgetroue weergawes, replikas, namaaksels of voorbeelde van werklike dinge. Die model lyk met ander woorde soos dit in die natuur wat gemodelleer word.

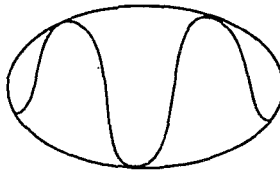
Daar is deur 'n groot persentasie van die studente aangevoer dat die model van 'n bepaalde objek of entiteit vas en onveranderlik is. As rede vir hierdie stelling is aangevoer dat die onderliggende werklikheid vas en onveranderlik is. Dit is logies dat studente wat 'n model sien as 'n afbeelding van die werklikheid, so sal dink.

Modelontwikkeling is deur respondente wat hierdie beskouing huldig, gesien as 'n verfyning van die model namate kennis oor die objek van modellering toeneem.

Die implikasies van die wanopvattinge as gevolg van 'n gebrek aan kennis van die aard en funksies van modelle het duidelik geblyk uit 'n afdeling van die ondersoek wat oor die modellering van lig en optiese verskynsels handel het.

Ongeveer die helfte van die respondente het die modelvoorstelling dat lig uit golwe en deeltjies bestaan. Daar is drie gedagtebeelde met hierdie voorstelling geassosieer.

Die een is dat lig as golfpakkies voorgestel kan word. Etlike studente het die golfpakkies geskets (figuur 5).



Figuur 5. Voorstelling van 'n golfpakkie deur studente.

'n Tweede voorstelling deur respondente was dat lig 'n golfbeweging is wat in 'n see van fotone voortplant, en 'n derde dat fotone in beweging 'n transversale golf beskryf in ooreenstemming met die beweging van die beeld op die skerm van 'n ossiloskoop as 'n wisselspanning met lae frekwensie aan die intree verbind is.

Hierdie saamgestelde model van lig is 'n direkte gevolg van die siening dat 'n model 'n afbeelding of werklikheidsgetroue weergawe is. Studente met hierdie siening sal noodwendig 'n eenheidsmodel van entiteite soos lig probeer vorm.

Dit is duidelik dat onderwysstudente met so 'n beperkte visie op die aard, wese en funksies van modelle dit moeilik sal vind om hulle vak só te onderrig dat leerlinge dit werklik sal verstaan.

In 'n pas afgelope ondersoek na probleme met die verstaan van elektrisiteit op skool, is hierdie vermoede bevestig. Leerlinge van onderwysers, wat nie duidelikheid oor die aard en funksies van modelle in elektrisiteitsleer het nie, ondervind probleme om dié afdeling te verstaan.

Navorsing het ook getoon dat 'n hoë persentasie Natuur- en Skeikunde-onderwysers handboekgebonde is. Die skoolhandboeke is hulle hoofbron van kennis.

'n Analise van skoolhandboeke toon twee belangrike leemtes met betrekking tot modelle. Wanvoorstellings van die aard en aanwending van modelle word in sommige Natuur- en Skeikunde-handboeke gemaak. Alle handboeke wat tans op skool gebruik word, en ook universiteitshandboeke, toon 'n gebrek aan die ontwikkeling van die modelbegrip op die niveau waarop dit in hierdie voordrag gedoen is. Die rede hiervoor kan moontlik in die ontwikkeling van fisika gesoek word. Fisika soos ons dit tans aan ons universiteite ken, het ontwikkel uit wat klassiek bekend gestaan het as natuurfilosofie. Natuurfilosofie kan as die moeder van die moderne fisika beskou word. In natuurfilosofie het die aard van kennis oor die natuur aandag gekry. Die moderne fisika is sterk op die eksakte kwantitatiewe beskrywing van die natuur afgestem. Die definisies is operasioneel, en die filosofie van fisika is afgeskei van die vak self. Die kind, fisika, het sy moeder, die filosofie, vergeet en in die proses self skade gelei.

Dit word aanbeveel dat op toepaslike stadia in die onderrig van fisika, studente blootgestel word aan kennis met betrekking tot die aard en funksies van modelle. Finalejaar-Natuur- en Skeikunde-onderwysstudente word reeds sedert 1993 die geleentheid gebied om vertrouwd te raak met modelle. Die verbetering in die verstaan van Fisika deur die studente is merkwaardig. In voorgraadse onderrig en in wetenskapleer behoort ook meer aandag as tans aan modelle gegee te word.

7. Persoonlike modelle

Op die onderrigterrein van fisika het die onderwerp persoonlike modelle van studente die afgelope dekade sterk na vore getree. Dat hierdie modelle by die onderrig en leer van fisika in ag geneem moet word, word tans wêreldwyd aanvaar.

Wat hierdie persoonlike modelle is, kan só verduidelik word:

Elke kind groei op in 'n bepaalde fisiese omgewing en kry indrukke uit die omgewing. Uit dié indrukke word veralgemenings gemaak, veralgemenings wat hom help om op 'n naïewe wyse dinge om hom te verklaar en te begryp. Hierdie veralgemenings staan bekend as kinders se persoonlike modelle, kinders se idees, naïewe konsepte, alternatiewe raamwerke, prekonsepsies of miskonsepsies. Dit is tans die onderwerp van talle studies, en baie is reeds oor die onderwerp bekend.

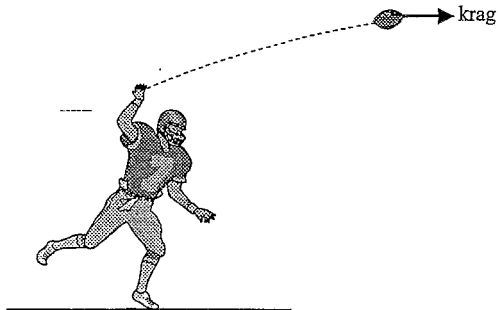
Persoonlike modelle toon in baie gevalle ooreenstemming met opvattinge oor die natuur wat filosowe soos Aristoteles gehad het. Voorbeelde van persoonlike modelle is talryk. Ons noem drie. As daar beweging is, moet daar 'n krag teenwoordig wees om die beweging in stand te hou. Swaar liggame val vinniger as ligter liggame, en as 'n groot liggaam en 'n klein liggaam kragte op mekaar uitoefen, is die krag van die groot liggaam op die kleinere groter as dié van die kleinere op die grotere. Die oorsprong van hierdie drie persoonlike modelle kan maklik ingesien word. In die fisiese leefwêreld van die kind is wrywingskragte en lugweerstand altyd teenwoordig. As hy 'n karretjie stoot, moet hy bly stoot, anders hou dit nie aan beweeg nie. Hy neem ook waar dat ligte voorwerpe soos blare stadiger val as swaar voorwerpe soos klippe. Uit ervaring weet hy dat 'n groter seun as hyself sterker is as hy. Al hierdie indrukke waaraan hy gedurig blootgestel is, dra daartoe by dat diepgewortelde persoonlike modelle oor sy fisiese leefwêreld by die kind ontwikkel. In totaliteit vorm hierdie naïewe idees of persoonlike modelle 'n alternatiewe raamwerk, 'n raamwerk wat die kind gebruik om sin en betekenis aan sy fisiese leefwêreld te gee. Blootstelling aan Fisika tydens formele onderrig ontwikkel 'n tweede raamwerk van kennis by die kind: die raamwerk van die wetenskaplike.

Die kind het nou twee kennisraamwerke waarmee dieselfde verskynsels in die natuur beskryf, verklaar of voorspel kan word, nl. sy eie, verkry oor baie jare en uit harde ervaring, en dié van die wetenskaplike wat in die klaskamer of laboratorium tot 'n mate op hom afgedwing is.

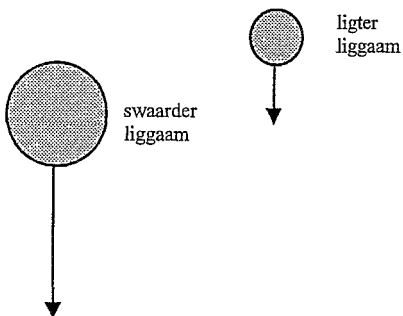
Ter illustrasie van 'n alternatiewe raamwerk kan die drie voorbeelde van persoonlike modelle met betrekking tot beweging, vrye val en die wisselwerking tussen twee liggame, wat pas aangehaal is, gebruik word (figuur 6). Dit vorm deel van 'n alternatiewe raamwerk tot Newton se drie bewegingswette.

Binne onderrigverband gebruik die leerling die wetenskaplike kennissisteem, omdat dit van hom verwag word. Hy verstaan dit egter nie altyd nie. Deur navorsing is bevind dat buite onderrigkonteks en nadat die skool verlaat is, die wetenskaplike kennis vervaag en daar weer met die persoonlike alternatiewe raamwerk gewerk word. Persoonlike modelle blyk besonder onderrigbestand te wees. Probeer studente gerus oortuig dat die pad waarop 'n motor ry, 'n krag op die motor uitoefen, en dat hierdie krag die motor laat versnel. Hulle persoonlike model is dat net lewende voorwerpe, voorwerpe wat kan beweeg, kragte kan uitoefen. 'n Motorkar kan volgens dié

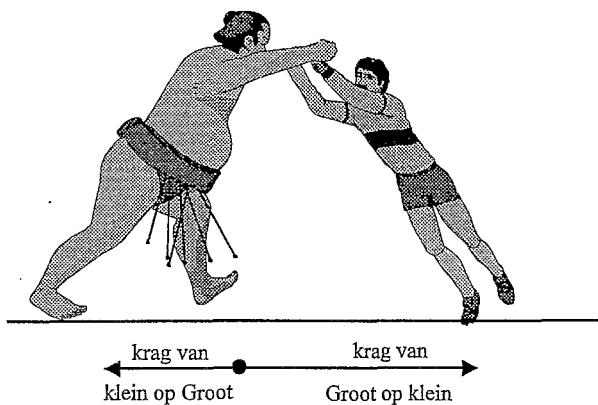
1. As daar beweging is, moet daar 'n krag teenwoordig wees om die beweging in stand te hou



2. Swaar liggame val vinniger as ligter liggame



3. Groot liggam oefen groter krag as klein liggam uit



Figuur 6: Persoonlike modelle

model 'n krag uitoefen, maar dat 'n pad 'n krag kan uitoefen, aanvaar studente nie maklik nie.

Persoonlike modelle en raamwerke ontstaan nie slegs in die ervaringswêreld van die kind buite die klaskamer nie, maar ook in die onderrigsituasie.

8. Konstruktivistiese onderrig

Hoe moet onderrig word sodat die leerling werklik verstaan? Die konstruktivistiese benadering tot onderrig bied 'n oplossing. Dié benadering bepaal dat in ooreenstemming met Ausubel se leerteorie die onderwyser eers moet vasstel wat die kind van 'n onderwerp weet en dan die onderrig daarvolgens beplan. Konstruktiviste sien leer nie as die oordrag van kennis nie, maar as 'n proses waar die leerder self aktief nuwe kennis integreer by bestaande kennisraamwerke. Leer is 'n persoonlike interne aktiwiteit deur die leerder, wat beïnvloed word deur interne faktore soos bestaande kennis, behoefte, belangstelling, fisiese en emosionele toestand en eksterne faktore soos omgewing en kommunikasiehelderheid. Onderrig word as blootstelling aan kennis op 'n gesistematiseerde wyse gesien, en nie as die oordra of transmissie van kennis nie.

In konstruktivistiese onderrig word leerlinge se persoonlike alternatiewe raamwerke in ag geneem. In tradisionele onderrig is dit nie gedoen nie.

Rosalind Driver van Leeds-Universiteit, een van die wêreldleiers op die terrein van fisika-onderrig, skets drie stappe in 'n konstruktivistiese onderrigstrategie.

Die eerste stap is die identifisering van die persoonlike idees of modelle wat leerlinge van 'n onderwerp het.

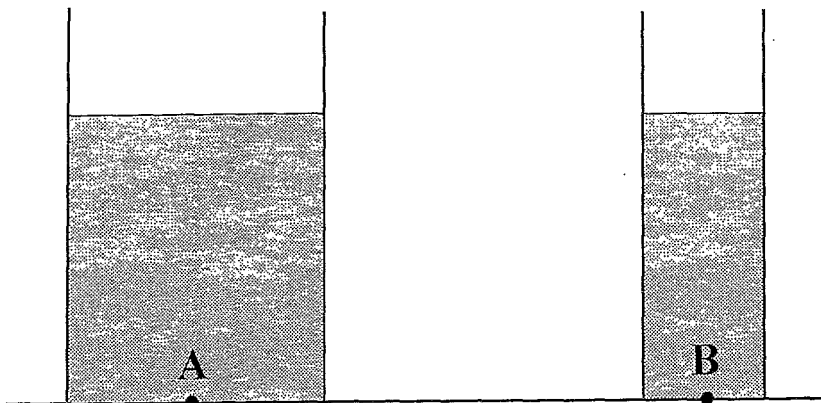
Die tweede is om kognitiewe konflik by leerlinge te wek deur 'n situasie te skep waarin die persoonlike model op 'n logiese wyse gediskrediteer word.

Die laaste stap is om die wetenskaplike opvatting oor die saak as substituuat vir die persoonlike model aan te bied en deur inoefening te integreer met die leerling se reeds gevestigde kennisraamwerke.

Ter illustrasie van hoe die konstruktivistiese strategie in die praktyk toegepas kan word, die volgende voorbeeld:

Voorbeeld

'n Wanopvatting of persoonlike model van leerlinge met betrekking tot die druk in vloeistowwe is dat die druk op die bodem van 'n groot houer met vloeistof groter is as dié op die bodem van 'n klein houer gevul tot op dieselfde hoogte met dieselfde soort vloeistof.



Wanopvatting: $P_A > P_B$

Figuur 7: 'n Wanopvatting is dat die vloeistofdruk by A groter is as by B.

Leerlinge en studente beweer heel dikwels dat die vloeistofdruk by A groter is as by B. Kognitiewe konflik kan geskep word deur aan leerlinge te vra wat sal gebeur as die punte A en B met 'n pypie deur die bodems van die houer verbind word. Om die ervaring meer deel van die fisiese leefwêreld van die kind te maak, is dit verkieslik dat dit eksperimenteel gedoen word. Leerlinge wat dié wanopvatting huldig, sal voorspel dat vloeistof sal oorfloei van die groot na die klein houer. 'n Styging in die vloeistofvlak van die klein en 'n daling in die vlak in die groot houer behoort waargeneem te word. 'n Eksperiment toon dat niks gebeur nie. Die resultaat skep kognitiewe konflik by dié leerlinge. Die eie opvatting word bevraagteken, en in die plek daarvan kan die wetenskaplike opvatting gestel word om die waarneming te verklaar. Eksperimente soos hierdie waarin die sogenaamde VVV- (Voorspel, Waarneem, Verklaar) stappe gevolg word, is belangrike hulpmiddels om kognitiewe konflik te skep.

Konstruktivistiese onderrig lei tot beter verstaan van fisika en word tans internasionaal aanvaar. In ons skole, kolleges en universiteite word die transmissiemodel van onderrig nog die meeste gebruik (figuur 8). 'n Goeie punt om met konstruktivistiese onderrig te begin is om in voor- en indiensopleidingsprogramme aan onderwysers en studente blootstelling aan konstruktivistiese onderrig te gee. Afgesien van die kennis van en oefening in die toepassing van konstruktivistiese onderrig dra die voorbeeld van die dosent ook gewig en is dit een van die faktore wat grootliks bepaal hoe die student uiteindelik in 'n klas gaan optree. Dit is 'n aanvaarde feit dat studente wat tot die onderwys toetree, hulle onderrig skoei op die model waarvolgens hulle self onderrig ontvang het.



Figuur 8: Transmissiemodel van onderrig

9. Verstaan

Die begrip verstaan is in hierdie rede dikwels gebruik, en vrae wat mag opduik, is: Wanneer verstaan mens iets? Wat verstaan ons onder die begrip verstaan?

Daar is die afgelope vyf jaar baie werk gedoen wat handel oor die verstaan van die natuurwetenskappe en in besonder die verstaan van Fisika. In boeke oor dié onderwerp word lang besprekings oor die begrip verstaan gevoer. Volgens White is verstaan 'n wollerige en relatiewe begrip. Daar is verskillende vlakke van verstaan. As 'n eerstejaarstudent sekere insigte in 'n onderwerp toon, kan gesê word dat sy die onderwerp goed verstaan. As 'n nagraadse student dieselfde insigte toon in die onderwerp kan gesê word dat hy dit swak verstaan. Perkins en ook Vreken stel dat iemand 'n onderwerp verstaan as hy kennis van die onderwerp kan toepas in nuwe situasies, instaat is tot verifikasie van kennis met betrekking tot die onderwerp, die onderwerp kan verduidelik, dit in konteks met ander onderwerpe kan bring, en veralgemenings en uitbreidings kan maak.

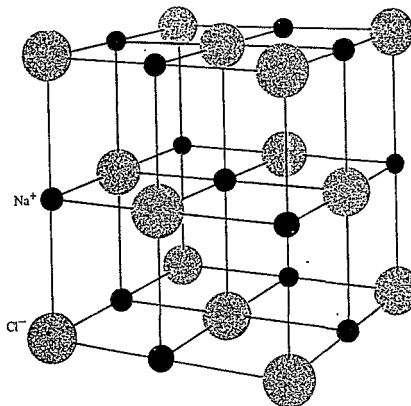
Verstaan is meer as ken. Ken dui 'n toestand van besit aan, die besit van kennis. Verstaan gaan verder as ken.

In 'n onlangse boek "Probing Understanding" bespreek White en Gunstone metodes en tegnieke om die verstaan van begrippe in die natuurwetenskappe te meet. Hulle toon aan dat dit moeilik is om verstaan

objektief te meet. Uit dié werk is dit duidelik dat iemand wat 'n bepaalde begrip beter as iemand anders verstaan, meer verbande tussen die begrip en ander begrippe insien.

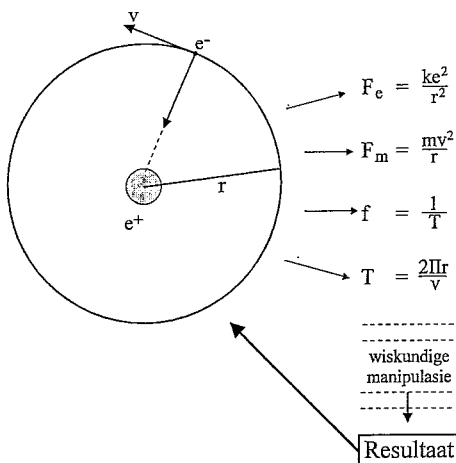
Verstaan word met **insig** in verband gebring. Iemand wat 'n onderwerp goed verstaan, het insig in die onderwerp. Insig het letterlik betrekking op gedagtebeelde. Iemand met **insig** in 'n onderwerp kan duidelike, samehangende gedagtebeelde oor die onderwerp vorm.

Die skep van helder, korrekte gedagtebeelde in Fisika word aan bande gelê deur etlike faktore. In die onderrig word van sketse in handboeke, transparante en die skryfbord gebruik gemaak. Dit is tweedimensionele voorstellings van dikwels komplekse driedimensionele objekte. Om driedimensionele beelde van tweedimensionele sketse te maak vereis 'n bepaalde vaardigheid, 'n vaardigheid waarvoor 'n aansienlike persentasie universiteitstudente in die natuurwetenskappe en ingenieurswese nie beskik nie. Tuckey en Selvaratnam het aangetoon dat hierdie vaardigheid ontwikkel kan word.



'n Faktor wat die verstaan van fisika op universiteitsvlak sterk beïnvloed is die dosent se hantering van die verband tussen die model en die wiskunde geassosieer met die model. dit kan so aan die hand van 'n voorbeeld verduidelik word (figuur 9).

Wette in Fisika en wiskundige verbande word in verband met die visuele model gebring. Wiskundige manipulasie lei tot 'n resultaat wat eienskappe van die model, wat nie aanvanklik bekend was nie, bied. Hierdie resultaat moet weer in terme van die model geïnterpreteer word.



Figuur 9. Die verband tussen 'n model en wiskunde

Die kardinale rol van die model word hierdeur geïllustreer. Die model wat in die voorbeeld gebruik is, is eenvoudig, maar daarsonder, of indien dit nie korrek en duidelik voorgestel was nie, verloor die wiskunde ook grootliks betekenis en verstaan studente dit nie. In fisika-onderrig word dikwels groot klem op die kwantitatiewe aspekte van die wiskundige manipulasies gelê, terwyl die kwalitatiewe aspekte, die model, op die agtergrond bly. Die invloed hiervan op verstaan deur studente is logies.

10. Samevatting

Wat gesê is, kan só saamgevat word:

In die onderrig en leer van Fisika word daarna gestreef dat studente en leerlinge die vak moet verstaan. Hiervoor is duidelike gedagtebeelde, kennis van die aard en funksies van modelle in die vak en kennis van die persoonlike modelle wat deel van alternatiewe kennis raamwerke vorm, nodig.

Die moderne konstruktivistiese opvatting van leer sien die leerproses as 'n proses waarin die leerder nuwe kennis integreer met sy reeds bestaande kennisstrukture. In dié proses is dit dikwels nodig om die persoonlike kennisstrukture te wysig of te vervang. Die persoonlike model word vervang met die kanonieke model.

Navorsingsresultate toon dat finalejaar-Natuur- en Skeikunde-onderwysstudente, almal gegradueerdes, se kennis van die aard en funksies

van modelle in fisika ontoreikend is vir die onderrigtaak. Hierdie aspek van fisika behoort op die toepaslike stadia in voorgraadse onderrig aandag te kry. Konstruktivistiese onderrig vind betreklik min plaas. Op alle vlakke van die onderwys behoort hierdie onderrigstrategie, wat fokus op die verstaan van fisika, gepromoveer te word.

Ek sluit af:

Onderwys is 'n wonderlike professie om in te staan. Dit is die professie waarin die breine van ons jong mense ontwikkel word, waardeur die denke van die toekomstige geslag gevorm word. Dit is 'n uiters verantwoordelike taak, 'n taak waarvoor die opvoeder hom gedurig moet slyp, slyp deur op deurlopende wyse sy kennis van die werking van die menslike brein en van die leer- en daarby passende onderrigprosesse te verbreed en te verdiep.

Dit is my innige hoop en ek sal my dan ook daarvoor beywer dat die werk wat binne EBONS gedoen word, daartoe sal bydra dat Wetenskaponderwys 'n wetenskap word wat gepraktiseer word.

Dankbetuigings:

Ek bedank die Raad van die Universiteit vir die vertroue wat hulle in my gestel het deur my te benoem as hoogleeraar.

Ook hulle van wie sommige vanaand hier teenwoordig is, wat my 'n liefde vir fisika gegee het en my persoonlike modelle omvorm het tot wetenskaplike modelle, nie slegs op die terrein van die fisika nie, maar ook op ander lewensterreine.

My vrou en kinders vir talle opofferings terwille van my loopbaan. My Moeder, wie ongelukkig nie vanaand teenwoordig kan wees nie, vir haar ondersteuning oor baie jare.

VERWYSINGS

AUSUBEL, D.P. 1968. **Educational Psychology: a cognitive view.** New York. Holt, Reinhart & Winston.

D'ESPAGNAT, B. 1983. **In Search of Reality.** Springer-Verlag. New York.

DRIVER, R. 1985. Cognitive psychology and pupil's frameworks in mechanics. In: **The many faces of teaching and learning mechanics.** Proceedings of a conference on physics education. P. Lijnse (red.) W.C.C.-Utrecht. The Netherlands.

DRIVER, R. 1988. Changing conceptions. **Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen.** 6(3).

- DUHEM, P. 1977. **The Aim and Structure of Physical Theory.** Atheneum. New York.
- GILBERT, S.W. 1991. Model building and a definition of Science. **Journal of Research in Science Teaching.** 28(1). 73-99.
- HARRÉ, R. 1970. **The Principles of Scientific Thinking.** University of Chicago Press. Chicago.
- HARRÉ, ARONSEN & WAY. 1991. Persoonlike mededeling.
- HESSE, M. 1966. **Models and Analogies in Science.** University of Notre Dame Press. Notre Dame. Indiana.
- KOLLAARD, U.H. 1991. **Didactish Vertalen.** Vrije Universiteit. Amsterdam.
- LEATHERDALE, W.H. 1974. **The role of Analogy, Model and Metaphor in Science.** North-Holland Publishing Company. Amsterdam.
- LEUBNER, C. 1989. **The Structure of Physical Theories** (ongepubliseerd). University of Innsbruck, Innsbruck, Austria.
- MURDOCH, D. 1987. **Niels Bohr's Philosophy of Physics.** Cambridge University Press. Cambridge.
- PARK, D. 1988. **The How and the Why.** Princeton University Press. Princeton. New Jersey.
- PERKINS, D. 1992. **Schools of Thought.** (Voor Publikasie Manuskrip.)
- SANTEMA, J.H. 1978. **Modelle in de Wetenskap en de toepassing ervan.** Delftse Universitaire Pers. Delft. Nederland.
- SMIT, J.J.A. 1992. Modelle in die Onderrig van Fisika of Tersiere Vlak. RGN-verslag. Potchefstroom.
- SMIT, J.J.A. en Nel, S.J. 1994. opvattinge van Modelle in Elektriesiteitsleer gehuldig deur Natuur- en Skeikundeonderwysers in die RSA. RGN-verslag. Potchefstroom.
- VAN OERS, B. 1987. **Activiteit en Begrip.** Proefskrif. Vrije Universiteit. Amsterdam.
- VREKEN, N.J. 1980. **'n Onderzoek na die Huidige Praktijk in die Onderrig van Fisika aan Voorgaande Studente.** Proefskrif. PU vir CHO. Potchefstroom.
- WHITE, R.T. 1988. **Learning Science.** Basil Blackwell. Oxford.
- WHITE, R.T. & GUNSTONE, R. 1992. **Probing Understanding.** Falmer Press, London.