

Leerlingen over Tsjernoby1¹⁾

C.W.J.M.Klaassen, H.M.C.Eijkelfhof, P.L.Lijnse en R.L.J.Scholte
Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
Rijksuniversiteit te Utrecht

Summary

In this article we present the results of a pupils' questionnaire on the Chernobyl-accident. In this questionnaire, completed by 312 fourth form pupils of Dutch HAVO- and VWO-schools, we asked to describe what happened in Chernobyl, why the accident could have consequences in The Netherlands, why some safety-measures were taken and what the meaning of some radiation-terms is. We conclude that, apart from some context-dependent preferences for one term or another, the pupils have an undifferentiated radioactive matter/radiation/radioactivity concept. We also conclude that given the safety-measures pupils generally are able to construct for themselves a satisfactory interpretation of these measures. As for education, we suggest that a more pronounced distinction between open and closed sources of radiation might help pupils to reconsider their existing views on (applications of) radiation.

1. Inleiding

In de vakdidactische literatuur wordt de laatste jaren veel geschreven over de invloed van intuïtieve denkbeelden van leerlingen bij het leren van het schoolvak natuurkunde. Een uitgangspunt bij veel van deze onderzoeken is de constatering dat de alledaagse manier van denken en praten over de wereld waarin we leven, verschilt van de fysische manier. Zulke verschillen zijn bijvoorbeeld geconstateerd op het gebied van de mechanica, de elektriciteit, energie en licht; voor een overzicht verwijzen we naar Driver et al. (1985). Op het gebied van radioactiviteit zijn ons drie onderzoeken bekend waarin zo'n verschil geconstateerd wordt.

In het eerste onderzoek (Riesch en Westphal, 1975) is onderzocht welke modellen leerlingen van 15 jaar hanteren voor de beschrijving van de voortplantingswijze van ioniserende straling. In het tweede onderzoek zijn Eijkelfhof en Wierstra (1986)

nagegaan welke argumenten 5-HAVO-leerlingen gebruiken bij het beoordelen van risico's van ioniserende straling en in hoeverre in deze argumentatie denkbeelden voorkomen die in strijd zijn met het natuurwetenschappelijk gedachtengoed. Verder zijn ze nagegaan in hoeverre deze argumentatie beïnvloed is door de behandeling van het PLON-thema Ioniserende Straling (PLON, 1984). Uit dit onderzoek bleek dat bij leerlingen fysisch onjuiste denkbeelden leefden over radioactiviteit die vrij hardnekkig leken. Als vervolg op het voornoemde onderzoek vatten we het plan op systematisch op zoek te gaan naar denkbeelden over radioactiviteit. Het ongeluk met een kerncentrale te Tsjernobyl in april '86 bood daartoe een gelegenheid. Uitgaande van de veronderstelling dat de denkbeelden van leerlingen direct en indirect beïnvloed zijn door de media, hebben twee van de auteurs (Eijkelhof en Lijnse, 1987) de berichtgeving over het ongeluk in Tsjernobyl geanalyseerd. Dit is dan het derde onderzoek waarin een verschil geconstateerd wordt tussen de alledaagse manier van denken en praten over radioactiviteit, en de fysische manier.

In dit artikel doen we verslag van een onderzoek naar denkbeelden van leerlingen over de gevolgen van het ongeluk in Tsjernobyl. Daartoe hebben we een enquête afgenomen bij 312 4-HAVO/VWO-leerlingen. Onze verwachting hierbij was dat niet alle denkbeelden alleen maar betrekking zullen hebben op de context van het ongeluk in Tsjernobyl, maar dat een aantal ervan ook in andere praktijksituaties een rol zal spelen. Afsluitend zullen we de gevonden denkbeelden vergelijken met de natuurwetenschappelijke manier van beschouwen, en ingaan op de vraag hoe in het onderwijs met zulke denkbeelden van leerlingen rekening gehouden kan worden.

2. Onderzoeksopzet

Afname van de enquête

In totaal is de enquête in oktober 1986 door 312 leerlingen ingevuld. Deze leerlingen waren afkomstig van 4-HAVO klassen (in totaal 8) en 4-VWO klassen (in totaal 7) van zeven scholen. In geen van deze klassen was het onderwerp "radioactiviteit" aan de orde geweest. Hoewel we de scholen niet zo geselecteerd hebben dat de resultaten van de enquête representatief zijn voor de nederlandse 4-HAVO/VWO-populatie, menen we dat we voldoende klassen en scholen hebben geselecteerd om schoolspeci-

fieke factoren te elimineren en om een goed beeld te geven van hoe 4-HAVO/VWO-leerlingen over het ongeluk in Tsjernobyl denken. Niet te vermijden was echter dat sommige leraren gedurende enkele lessen aandacht aan het ongeluk in Tsjernobyl besteed hadden, waardoor leerlingen uit sommige klassen gemiddeld beter op de hoogte waren dan leerlingen uit andere klassen. Alvorens de enquête werd afgenomen bij de leerlingen is er eerst een proefenquête afgenomen bij enkele studenten van een HBO-opleiding die het vak natuurkunde niet in hun examenpakket hadden op HAVO/VWO. Op basis daarvan zijn de vragen bijgesteld.

Aard van de enquête

Omdat ons nog weinig bekend was over denkbeelden van leerlingen met betrekking tot (toepassingen van) ioniserende straling hebben we deze studie een inventariserend karakter gegeven. Naast een gesloten vraag over de mate waarin de berichtgeving over het ongeluk in Tsjernobyl gevolgd en begrepen is, zijn er open vragen gesteld in de enquête over de volgende drie onderwerpen:

- over wat er in Tsjernobyl is vrijgekomen en hoe het komt dat wij in Nederland daar ook gevolgen van hebben ondervonden;
- over het nut van maatregelen en adviezen;
- over de betekenis van enkele stralingstermen.

Analyse van de antwoorden

In eerder onderzoek (Riesch en Westphal, 1975; Eijkelhof en Wierstra, 1986; Eijkelhof en Lijnse, 1987) is het vermoeden uitgesproken dat de fysische termen straling, radioactiviteit en radioactieve stof met elkaar verward worden. Daar deze termen in de media en ook in de natuurkunde veel gebruikt worden, zijn we kwantitatief nagegaan hoe de leerlingen bij de drie groepen vragen deze termen gebruiken.

Vervolgens is bij de vraag hoe het komt dat wij in Nederland de gevolgen van het ongeluk konden ondervinden met name geïnterviewd hoe volgens de leerlingen de afstand van 1500 km overbrugd kon worden. Bij de vragen over de maatregelen is vooral gelet op wat volgens de leerlingen de functie van een maatregel was, en hoe die functie door het uitvoeren van die maatregel bewerkstelligd kon worden. In beide gevallen zijn de antwoorden van de leerlingen geanalyseerd volgens een netwerk-analyse (Bliss et al., 1983). Deze netwerk-analyse hield in dat we categorieën hebben gemaakt en die in een netwerkstructuur

hebben ondergebracht, waarin de onderlinge afhankelijkheid van de verschillende categorieën zichtbaar wordt. Op deze manier hebben we de verschillende aspecten van een antwoord in relatie tot elkaar kunnen analyseren. Door aanpassing van categorieën bleek het mogelijk alle antwoorden van de leerlingen in een netwerk onder te brengen. Op basis van zo'n netwerk is dan een samenvatting van de antwoorden van de leerlingen in hun eigen bewoordingen gemaakt. We achtten de constructie van een netwerk als tussenstap noodzakelijk om ervoor te zorgen dat alle aspecten van de verschillende antwoorden in de uiteindelijke samenvattingen te herkennen zijn. Bij deze analyse ging het er ons niet om vast te stellen hoeveel leerlingen natuurwetenschappelijk goede of foute antwoorden hebben gegeven, maar veeleer om bepaalde denkpatronen van leerlingen op het spoor te komen.

Bij de vragen naar de betekenis van enkele stralingstermen zijn de antwoorden van de leerlingen in categorieën ingedeeld. De netwerken, samenvattingen en categorie-indelingen zijn steeds door één van de onderzoekers gemaakt, terwijl een andere onderzoeker deze heeft becommentarieerd zodanig dat na aanpassing overeenstemming bereikt werd.

3. Termgebruik

Wat kwam er vrij en wat is hierheen gekomen?

In tabel 1 hebben we aangegeven wat volgens de leerlingen uit de reactor in de atmosfeer terecht kwam en wat volgens hen van Tsjernobyl naar Nederland is gekomen. Hierbij merken we op dat 17% van de leerlingen bij een of bij beide vragen meerdere zaken noemt, waardoor de totalen niet tot 100% optellen.

Tot de categorie radioactieve stof hebben we antwoorden als U, Pu, Cs, I, Sr, radioactieve waterdamp, fall-out en besmet materiaal gerekend. Straling wordt door sommige leerlingen verder ingevuld als α -, β - en/of γ -straling. In de categorie overig vinden we "geen antwoord" en antwoorden als kernenergie, rook, gifwolk, gevaarlijke stoffen, troep, giftige stoffen, zware stoffen en stofdeeltjes.

Ook zijn we nagegaan in welke mate individuele leerlingen bij de beantwoording van deze twee vragen dezelfde terminologie hanteren. Er blijkt dan dat 77% van het totaal aantal leerlingen bij beide vragen één of meer van de termen radioactieve stof, straling, of radioactiviteit gebruikt. Hiervan hanteert 72% in beide vragen geheel of gedeeltelijk dezelfde terminologie (39%

Tabel 1: Een classificatie van de antwoorden van de leerlingen op de vragen:
 Wat kwam er uit de reactor in de atmosfeer terecht? (1)
 Wat is er vanuit Tsjernobyl naar Nederland gekomen? (2)

	1	2
radioactieve stof	53%	37%
straling	41%	28%
radioactiviteit	15%	16%
overig	4%	29%

radioactief materiaal, 24% straling en 8% radioactiviteit), terwijl 28% in de twee vragen verschillende termen gebruikt of in één antwoord verschillende termen door elkaar gebruikt, bijvoorbeeld: "Radioactiviteit (radioactieve straling)" of "Radioactieve stof-deeltjes (straling)".

Waartegen helpen de maatregelen?

Op dezelfde manier zijn de vragen over de evacuatie van dorpen rondom Tsjernobyl en over het binnenhouden van de koeien op termgebruik geanalyseerd. In tabel 2 is aangegeven wat volgens de leerlingen de bedreiging was in de omgeving van Tsjernobyl, en welke bedreiging volgens hen ervoor gezorgd had dat de koeien op stal moesten. Bij de interpretatie van tabel 2 moeten we er rekening mee houden dat er leerlingen zijn die bij een bepaalde vraag meerdere zaken noemen, zodat de totalen ook nu niet tot 100% optellen. Verder blijkt nu 62% van de leerlingen bij beide vragen één of meer van de termen radioactieve stof, straling, of radioactiviteit te gebruiken. Hiervan hanteert 54% in beide vragen geheel of gedeeltelijk dezelfde terminologie (6% radioactief materiaal, 34% straling en 15% radioactiviteit), terwijl 46% in de twee vragen verschillende termen gebruikt of in één antwoord verschillende termen door elkaar gebruikt, bijvoorbeeld: "De radioactiviteit (plutonium) is gevaarlijk voor de mensen, vooral vlakbij, daar is het dodelijk" of "De deeltjes radioac-

tiviteit waren praktisch helemaal weer verdwenen."

In tabel 2 hebben we ook weergegeven wat de leerlingen blijken hun antwoorden als de bedreiging zien waartegen (of tegen de gevolgen waarvan) de adviezen om jodiumtabletten te slikken, binnenshuis te blijven, goed te douchen en geen spinazie te eten zouden helpen. Verder is het zo dat van de leerlingen die bij twee of meer van hun antwoorden betreffende het nut van deze vier adviezen tenminste een van de termen radioactieve stof, straling of radioactiviteit gebruiken (91% van het totaal aantal leerlingen), 32% steeds dezelfde term gebruikt, 56% twee verschillende termen gebruikt en 12% alledrie de termen gebruikt.

Tabel 2: Overzicht van het termgebruik van leerlingen bij vragen naar de achtergrond van adviezen om de schadelijke gevolgen te beperken.

	radio-actieve stof	straling	radio-activiteit	overig
evacueren	11%	55%	18%	20%
koeien op stal	14%	30%	36%	26%
slikken van jodiumtabletten	15%	20%	23%	44%
binnenshuis blijven	20%	46%	18%	19%
goed douchen	36%	22%	22%	22%
geen spinazie eten	19%	20%	35%	28%

Termgebruik bij de vragen naar de betekenis van stralingstermen
 Bij de vraag wat de term radioactiviteit betekent, omschrijft 54% van de leerlingen het als een vorm van straling en 4% als radioactief materiaal. Gevraagd naar de betekenis van de term

radioactieve besmetting geeft 89% van de leerlingen aan waardoor de besmetting veroorzaakt wordt. Hiervan noemt 22% radioactief materiaal, 44% straling, 30% radioactiviteit, en 3% nog iets anders (bijvoorbeeld: giftige dampen, afvalstoffen, kanker-verwekkende stoffen).

Verder staat volgens 82% van de leerlingen de term stralingsdosis voor de hoeveelheid, grootte of sterkte van een bepaalde hoeveelheid straling, volgens 8% van een bepaalde hoeveelheid radioactiviteit en volgens 2% van een bepaalde hoeveelheid radioactief materiaal. De vraag naar de betekenis van de term becquerel wordt door 61% van de leerlingen niet beantwoord. Van de leerlingen die wel een antwoord geven zegt 82% dat het een eenheid is: volgens 51% voor een bepaalde hoeveelheid straling, volgens 17% voor een bepaalde hoeveelheid radioactiviteit. Bij de vraag naar de betekenis van de term rem geeft 47% van de leerlingen geen antwoord en zegt 83% van de leerlingen die wel een antwoord geven dat het een eenheid is (volgens 53% voor een bepaalde hoeveelheid straling, volgens 17% voor een bepaalde hoeveelheid radioactiviteit).

Opmerkingen bij het termgebruik van de leerlingen

Uit het voorgaande constateren we dat bij bijna alle vragen elk van de begrippen radioactieve stof, straling en radioactiviteit door een aanzienlijk aantal leerlingen genoemd wordt. Verder gebruikt een aanzienlijk aantal leerlingen bij de beantwoording van de diverse vragen verschillende termen, terwijl we uit de antwoorden menen te kunnen opmaken dat ze steeds hetzelfde bedoelen (de term radioactiviteit wordt bijvoorbeeld door 54% van de leerlingen omschreven als straling en door 4% als radioactieve stof). Daar de groep van leerlingen waaraan het onderzoek heeft plaatsgevonden niet representatief is voor de nederlandse 4-HAVO/VWO-populatie, moet bedacht worden dat de genoemde percentages alleen wat betreft de orde van grootte van belang zijn. Ook constateren we dat in bepaalde contexten de ene term meer gebruikt wordt dan de andere. Zo zijn de leerlingen bij hun beschrijving van transportverschijnselen en bij hun interpretatie van het advies om goed te douchen geneigd de term radioactieve stof meer te gebruiken dan de termen straling of radioactiviteit.

Wellicht roept vooral de term radioactieve stof een associatie op met iets materieels dat getransporteerd of afgespoeld kan worden. De term straling daarentegen wordt naar onze indruk

meer gebruikt als de leerlingen een direct blootstellingsgevaar vermoeden. Dit concluderen we uit het feit dat straling bij uitstek genoemd wordt als de bedreiging bij de evacuatie-maatregel, bij het advies om binnen te blijven, en als de veroorzaker van radioactieve besmetting (opgevat als blootstaan aan straling). De term radioactiviteit lijkt meer gebruikt te worden in situaties waarbij voor leerlingen de bedreiging minder duidelijk aanwijsbaar is, zoals bij de maatregel over het op stal zetten van de koeien en bij de adviezen om jodiumtabletten te slikken en geen spinazie te eten. We hebben de indruk dat de overige termen die nog wel eens gebruikt worden (gifwolk, gevaarlijke deeltjes), pogingen van de leerlingen zijn om het voor hen vaak moeilijk te benoemen gevaar een wat concretere inhoud te geven.

Daar we bij de indeling van de antwoorden een fysische optiek gehanteerd hebben (een indeling in fysische categorieën), hebben we geen recht gedaan aan de eigen gezichtspunten van de leerlingen. Zo mogen we bijvoorbeeld niet concluderen dat de leerlingen de termen radioactieve stof, straling en radioactiviteit verwarren. Dit zou immers vereisen dat de leerlingen een apart begrip van radioactieve stof, van straling en van radioactiviteit hebben, en dat ze die begrippen vervolgens door elkaar halen. Wel menen we resumerend op te kunnen merken dat veel leerlingen een ongedifferentieerd radioactieve stof/straling/radioactiviteit concept lijken te hebben (dat we in navolging van sommige leerlingen in het vervolg ook wel met "het" aan zullen duiden), waarbij afhankelijk van de specifieke context een bepaalde term soms de voorkeur heeft.

4. Leerlingen over het ongeluk in Tsjernobyl

Allereerst vatten we de antwoorden van de leerlingen op de volgende vraag samen: *Hoe verklaar je dat wij ook in Nederland, op ruim 1500 km afstand van Tsjernobyl, de gevolgen van het ongeval ondervonden?*

Een ruime meerderheid van de leerlingen vindt dat wat uit de reactor vrijgekomen is, ook naar Nederland gekomen is (van de leerlingen die in beide gevallen één of meer van de termen radioactieve stof, straling of radioactiviteit hanteert, gebruikt 72% bijvoorbeeld dezelfde term). Veel leerlingen zeggen dat dit via wind en regen gaat: "het" is in de lucht gaan zitten, via luchtstromingen naar Nederland gekomen en bij neerslag naar beneden gekomen. Enkele leerlingen antwoorden dat "het" door

neerslag ook elders in rivieren is neergekomen en via die rivieren dan ons land binnengekomen is. Er zijn echter ook enkele leerlingen die het transport niet aan de wind toeschrijven, maar aangeven dat "het" gewoon van Tsjernobyl naar hier is gekomen. Een letterlijk antwoord is bijvoorbeeld "De bereikweidte van de straling is enorm".

In de antwoorden die aangeven hoe de 1500 km overbrugd kon worden, vinden we een breed scala aan mogelijkheden. Sommige leerlingen zoeken de oorzaak in de omstandigheden in Tsjernobyl zelf en antwoorden dat er zeer grote hoeveelheden zijn vrijgekomen, dat "het" hoog in de lucht is gestoten of dat de kracht van de explosie enorm was. Andere leerlingen schrijven het kunnen overbruggen van die 1500 km toe aan eigenschappen van het getransporteerde zelf, bijvoorbeeld dat "het" licht en klein is of dat de schadelijke werking (lang) behouden blijft (lange halveringstijd, is na lange tijd nog gevaarlijk, blijft (lang) radioactief, duurt een hele tijd voor "het" is verdwenen, wordt in principe niet minder), of dat "het" een lange dracht heeft ("het" kan zich over een groot gebied uitbreiden, grote reikwijdte), of dat "het" een grote kracht heeft (zeer sterk, gaat bijna overal doorheen), of dat "het" zich gemakkelijk verplaatst (beweegt zeer gemakkelijk mee, blijft hangen in de wolken, "het" beweegt zich vrij). Wij in Nederland konden er dan de gevolgen van ondervinden doordat de kracht van de straling dan nog steeds behouden was of doordat de deeltjes nog steeds radioactief waren.

De volgende vraag waarvan we de antwoorden gaan samenvatten luidt: *Waarom werd de bevolking van de omringende dorpen voor langere tijd geëvacueerd?*

Allereerst merken we op dat veel leerlingen in hun antwoorden op deze vraag aangeven dat er schadelijke effecten voor mens en milieu zijn, waarbij de effecten bij de mens soms verder ingevuld worden met dood, kanker, gevolgen voor nakomelingen, afwijkingen en huidaandoeningen. Enkele leerlingen lichten toe dat dit komt doordat cellen beschadigd worden. Sommige leerlingen geven aan dat "het" in te grote mate aanwezig was, dat het boven een vastgestelde norm kwam. Evacueren helpt dan om opname van en blootstelling aan "het" tegen te gaan en om ervoor te zorgen dat de mensen niet radioactief, aangetast of besmet worden. Sommige leerlingen geven aan dat de bevolking voor langere tijd geëvacueerd is, omdat "het" lang

blijft hangen, het lang duurt voor de normale grenswaarde is bereikt, omdat "het" een grote halveringstijd heeft of omdat het lang duurt voordat de omgeving ontsmet is. Verder gold volgens sommige leerlingen de evacuatie met name de bewoners van de omringende dorpen, omdat "het" daar het hoogst of het sterkst was, of omdat de omgeving het meest besmet was.

De volgende vraag gaat over een in Nederland genomen maatregel: *Begin mei (1986) moesten de koeien op stal. Waarom werd deze maatregel na ongeveer een week weer ingetrokken?*

Dat de maatregel na een week weer opgeheven kon worden, komt volgens de meeste leerlingen doordat de oorspronkelijke hoeveelheid minder was geworden of geheel of gedeeltelijk was uitgewerkt en volgens enkele leerlingen doordat "het" niet opnieuw aangevoerd werd. Soms worden deze zaken ook nog nader beschreven. Er was dan bijvoorbeeld geen nieuwe aanvoer omdat "het" voorbij was gedreven of omdat er toen een westenwind in plaats van een oostenwind woei. Verder kon de oorspronkelijke hoeveelheid minder worden doordat "het" weggeregend, opgelost, of vermengd met de lucht werd en raakte "het" uitgewerkt doordat "het" zichzelf afbreekt (sommige leerlingen noemen de term halveringstijd in dat verband). Ook geven sommige leerlingen aan dat na een week de oorspronkelijke hoeveelheid zodanig verminderd was dat het beneden de toegestane norm kwam.

Een volgende vraag uit de enquête is als volgt ingeleid: *In diverse Europese landen werden tientallen adviezen gegeven om de schadelijke gevolgen te beperken. We noemen er enkele. Wil je aangeven waarom, volgens jou, elk van deze adviezen werd gegeven?*

Vervolgens werden vier adviezen genoemd, waarbij we de antwoorden van de leerlingen hieronder samenvatten.
slikken van jodiumtabletten

Wat de functie van jodiumtabletten betreft geven de leerlingen als mogelijkheden aan dat jodium (de effecten van) "het" tegenwerkt, het lichaam of lichaamsdelen tegen "het" afschermt of het lichaam meer weerstand tegen "het" geeft. Soms geven de leerlingen ook nog aan hoe dit in zijn werk gaat. Jodium werkt bijvoorbeeld tegen doordat het "het" neutraliseert, oplost of omzet in iets niet-radioactiefs, jodium kan bepaalde lichaamsdelen afschermen doordat het beschermt als een loden muur en kan bijvoorbeeld meer weerstand geven door antistoffen aan te

maken. Wat de eventuele effecten betreft, die het slikken van jodiumtabletten volgens de leerlingen op een of andere manier voorkomt, worden (stralings)ziekte en allerlei vormen van kanker genoemd (een enkeling noemt schildklierkanker).

binnenshuis blijven

Men moest binnen blijven om zoveel mogelijk tegen te gaan dat "het" opgenomen werd (dit wordt soms gespecificeerd als opname door aderen of klieren) of dat men blootstond aan "het". Bijna alle leerlingen antwoorden danook dat "het" tegengehouden wordt door de muren en/of het dak. Verder geven sommige leerlingen aan dat het advies alleen maar bepaalde groepen mensen betrof, zoals zwangere vrouwen, kinderen of bejaarden.

goed douchen

Bijna alle leerlingen zeggen dat "het" er door goed te douchen afgespoeld wordt, waarbij enkele leerlingen aangeven dat "het" via stof, vuil, kleren of regenwater op het lichaam is gekomen. Sommige leerlingen noemen als functie van goed douchen dat "het" verwijderd wordt, anderen dat voorkomen wordt dat "het" in het lichaam trekt of via de poriën binnendringt. Als effecten bij het achterwege blijven van goed douchen, worden hier genoemd aantasting van het lichaam en huidkanker.

geen spinazie eten

Volgens sommige leerlingen mocht er geen spinazie gegeten worden omdat "het" in de spinazie gekomen was (de spinazie had "het" opgeslagen, opgesloten, opgenomen, opgehoopt, vastgehouden of geabsorbeerd), of óp de spinazie gekomen was (de spinazie was bestraald, blootgesteld aan, zat onder). Anderen vermelden dat de spinazie radioactief besmet was geraakt, terwijl weer anderen zeggen dat spinazie stoffen bevat die het afweren van "het" tegenwerken of dat spinazie gebrek heeft aan tegenwerkende stoffen. Een aantal leerlingen licht verder toe hoe het komt dat "het" op of in de spinazie is gekomen. Daarbij wordt genoemd dat grond- en regenwater radioactief zijn, dat de spinazie hier veel van tot zich neemt, of dat spinazie een groot oppervlak op het land bestrijkt en daardoor in contact staat met de radioactieve lucht. Verder worden enkele losse verklaringen genoemd, zoals spinazie bevat jood en jood trekt radioactiviteit aan, radioactief jood had niet-radioactief jood in de spinazie vervangen, of het ijzer in de spinazie trekt radioactiviteit aan.

Opmerkingen over de antwoorden van de leerlingen

Alle in deze paragraaf besproken vragen werden door meer dan

80% van de leerlingen beantwoord, en de meeste zelfs door meer dan 95% van de leerlingen. Hieruit concluderen we dat, gegeven de probleemstellingen, leerlingen in het algemeen in staat blijken op grond van wat ze weten (bijvoorbeeld uit de media) en/of met behulp van common-sense redeneringen in ieder geval iets te antwoorden. Zo menen we het feit dat leerlingen in grote meerderheid antwoorden dat "het" via wind en regen naar Nederland gekomen is te kunnen toeschrijven aan de aandacht die aan dit aspect in de media is besteed; we constateren common-sense redeneringen waar de leerlingen de functie van de maatregelen en adviezen beschrijven. Uit de antwoorden menen we vier (plausibele) soorten van functies van die maatregelen en adviezen te kunnen onderscheiden: *afschermen* (ervoor zorgen dat "het" niet in je komt), *verwijderen* (ervoor zorgen dat als "het" in of op je is gekomen, "het" er weer uit of af gaat), *bestrijden* (ervoor zorgen dat "het" tegengewerkt wordt) en *versterken* (ervoor zorgen dat je meer weerstand tegen "het" hebt). Over de manier waarop deze functies door de maatregelen en adviezen bewerkstelligd worden vinden we een veelheid van wederom plausibele mogelijkheden, zoals bijvoorbeeld oplossen of vervangen door iets niet-radioactiefs.

Deze manier van redeneren op basis van "wat je zoal hoort en ziet" en "gezond verstand" staat in scherp contrast met die van stralingsdeskundigen. Zij immers bepalen, op grond van hun natuurwetenschappelijke kennis en van metingen, waar en wanneer gevaarlijke situaties te verwachten zijn, welke maatregelen genomen kunnen worden om deze gevaarlijke situaties te voorkomen en welke maatregelen de gevolgen van deze gevaarlijke situaties, als ze zich toch voordoen, zoveel mogelijk kunnen beperken. Toch zitten er vaak wel elementen van het "correcte natuurwetenschappelijke antwoord" in de antwoorden van de leerlingen, zoals bij de transportbeschrijving of bij de interpretaties van de evacuatie-maatregel en de adviezen om binnenshuis te blijven en goed te douchen. Als de natuurwetenschappelijke verklaring echter wat gecompliceerder is (het opheffen van de maatregel om de koeien op stal te zetten, het slikken van jodiumtabletten), staan de antwoorden van de leerlingen, hoe plausibel ze ook zijn, ver van het "goede antwoord" af.

Tenslotte merken we nog op dat er ook enkele leerlingen zijn die niet vanuit de maatregel redeneren en zeggen dat de maatregel helemaal niet helpt, bijvoorbeeld: "Onzin, straling gaat

dwars door de muren van huizen heen", "Je kunt de straling toch niet van je afspoelen!!!" of "Waarschijnlijk om de radio-activiteit af te spoelen maar dat kan helemaal niet.". Misschien is hier sprake van een al bestaande intuïtieve voorstelling van radioactiviteit of straling (waarbij associaties met warmtestraling en licht optreden), die het niet toelaat dat "het" door muren tegengehouden of onder de douche afgespoeld kan worden (bij het douchen spoel je licht immers ook niet van je af). Ook zou het zo kunnen zijn dat bij de leerlingen die bovenstaande uitspraken gedaan hebben, de beweringen dat "het" tegengehouden of afgespoeld kan worden, het onderspit delven tegen hun gevaarbeleving.

5. De natuurwetenschappelijke kennis van de leerlingen

In deze paragraaf zullen we de vragen bespreken, waarmee we geprobeerd hebben te achterhalen welke stralingstermen leerlingen kennen en wat ze onder bepaalde stralingstermen verstaan. De eerste hiervan luidt: *Welke soorten straling ken je die te maken hebben met radioactiviteit?*

In tabel 3 hebben we de antwoorden op deze vraag weergegeven.

Tabel 3: Soorten straling die te maken hebben met radioactiviteit.

α , β γ , n	verzamel- namen	electro magnetisch	toepassings- gericht	achter grond	overig
34%	7%	29%	9%	6%	38%

Een aanzienlijk aantal (34%) noemt een van de soorten α -, β -, γ -, of n-straling, waarbij γ -straling het meeste genoemd wordt (32%), α - en β -straling minder (elk 26%) en n-straling beduidend minder (8%). De categorie "verzamelnamen" bestaat uit radioactieve straling, kernstraling en ioniserende straling. In de categorie "electromagnetisch" hebben we ondergebracht röntgenstraling (23%), u.v.-straling (7%) en antwoorden als laserstraling, infraroodstraling, zendmasten, zonnebanken of radio-stralen. Bij de categorie "toepassingsgericht" hebben we antwoorden ondergebracht die aangeven in welke praktijksituaties je te maken hebt met straling van radioactieve oorsprong: in de gezondheidszorg

(6% noemt iets als schildklieronderzoek, kankerbestrijding of röntgenfoto's), in kerncentrales of bij kernwapens. Tot de categorie "achtergrond" hebben we antwoorden gerekend als: aardse straling, straling van de zon, televisie, straling opgelopen bij een vliegreis, straling die alle dingen in de natuur uitzenden.

De betekenis van enkele stralingstermen

Een andere vraag, waarin de leerlingen naar de betekenis van enkele stralingstermen is gevraagd, is als volgt ingeleid: *Om de mogelijke gevolgen van het ongeluk te beschrijven werd in de berichtgeving veel gebruik gemaakt van een aantal termen. Soms werden die uitgelegd, vaak ook niet. Wat denk jij dat elk van de volgende termen betekent?*

Vervolgens werden vijf stralingstermen genoemd, waarvan we de betekenissen die ze volgens de leerlingen hebben, hieronder samengevat weergeven.

radioactiviteit

In §3 hebben we al vermeld dat 54% van de leerlingen radioactiviteit omschrijft als een vorm van straling en 4% als radioactief materiaal. Verder wordt radioactiviteit door 11% van de leerlingen als een stofeigenschap of een verschijnsel omschreven, waarbij echter niet alle omschrijvingen fysisch correct of volledig zijn (de atomen hebben een atoomnummer tussen 86 en 106; het terugvallen van atomen tot de oorspronkelijke vorm waarbij energie vrijkomt; de activiteit van radioactieve delen, de splitsing van deze). Een natuurwetenschappelijk acceptabel antwoord (het verschijnsel dat sommige kernen kunnen veranderen onder uitzending van straling) wordt door 1% van de leerlingen gegeven. Verder geeft 31% van de leerlingen geen antwoord of een antwoord als giftige stof, gevaarlijk spul, chemische stof, zeer kleine deeltjes, lading, kracht (of spanning) van deeltjes of afval, iets dat vrijkwam in Tsjernobyl, een moeilijk te omschrijven begrip dat uit uranium trekt, of datgene wat bij kernsplijting vrijkomt.

Waar de radioactiviteit vandaan komt of hoe het ontstaat (bijvoorbeeld: Tsjernobyl, uranium of kernsplijting) vermeldt 36% van de leerlingen, waar de radioactiviteit op werkt, wat voor gevolgen het heeft of wat het doet (bijvoorbeeld: milieu, mens, plant, schadelijk voor gezondheid, weefsel beschadigen) vermeldt 17% van de leerlingen, terwijl 51% van de leerlingen niets vermeldt over bron of ontvanger en gevolgen (bijvoorbeeld: deeltjes die radioactief zijn, schadelijke stof, hoeveelheid straling in de

lucht, geen antwoord). Verder gebruikt 27% van de leerlingen bij de beantwoording bijvoeglijke naamwoorden als gevaarlijk of schadelijk.

radioactieve besmetting

Een natuurwetenschappelijk correct antwoord (radioactief materiaal opgenomen of ergens op gekomen, of zelf radioactief geworden) wordt door 10% van de leerlingen gegeven, terwijl 7% de vraag niet beantwoordt. Ongeveer de helft van de leerlingen (47%) geeft aan wat besmetting inhoudt. De rest echter beantwoordt de vraag niet of geeft het woord besmetting terug (bijvoorbeeld: producten die met radioactieve deeltjes besmet zijn; dan is iets besmet met radioactieve straling; als je besmet bent met de radioactiviteit of als er kans bestaat om besmet te worden; besmetting door die afvalstoffen). Van de leerlingen die wel aangeven wat besmetting inhoudt, antwoordt 64% dat het betekent dat "het" ergens in of op is gekomen, 4% dat het zelf radioactief is geworden, 13% dat iets aangetast, beschadigd of verontreinigd is, 16% dat ziektes kunnen ontstaan of doorgegeven worden, en 7% geeft nog een ander antwoord (een verhoogd aantal radioactieve deeltjes; de radioactiviteit vermengt zich met iets; als de straling hoger is als toegestaan).

stralingsdosis

Een natuurwetenschappelijk acceptabel antwoord (iets dat in de buurt komt van de afgegeven energie per kilogram bestraald materiaal) wordt door minder dan 1% van de leerlingen gegeven. Verder ziet 6% van de leerlingen de stralingsdosis als de hoeveelheid die een bron verlaat, 8% als de hoeveelheid die ergens heerst, 29% als de hoeveelheid die een ontvanger oploopt, 5% als de hoeveelheid die je hebben kan of mag (waarbij vaak iets als een drempel voor de toegestane hoeveelheid gesuggereerd wordt), en 46% simpelweg als de hoeveelheid (zonder iets van bron of ontvanger te vermelden).

becquerel

Een natuurwetenschappelijk acceptabel antwoord (1 desintegratie per seconde) wordt gegeven door 1% van de leerlingen, terwijl 61% geen antwoord geeft. Van de leerlingen die wel een antwoord geven zegt 82% dat het een eenheid is: volgens 51% voor een bepaalde hoeveelheid straling, volgens 17% voor een bepaalde hoeveelheid radioactiviteit, volgens 6% voor de dosis, en 6% geeft alleen maar aan dat het een eenheid is.

rem

Een natuurwetenschappelijk acceptabel antwoord (een eenheid voor de biologische schade bij een mens) wordt door 1% van het totaal aantal leerlingen gegeven, terwijl 47% de vraag niet beantwoordt. Van de leerlingen die wel een antwoord geven antwoordt 83% dat het een eenheid is (volgens het grootste deel voor een bepaalde hoeveelheid straling, en verder worden ook nog genoemd: voor een bepaalde hoeveelheid radioactiviteit, voor de dosis, voor de norm, voor de schadelijkheid). Ook vinden we enkele antwoorden die geïnspireerd lijken te zijn door een andere betekenis van het woord "rem", bijvoorbeeld: "bepaalde dingen tegenhouden wegens die straling" of "Het tegenhouden van verdere vrijkoming van radioactiviteit.". Verder geeft 28% van de leerlingen zowel een antwoord op de vraag wat de term "becquerel" betekent als op de vraag wat de term "rem" betekent. Van deze leerlingen geeft ongeveer de helft een identiek of bijna identiek antwoord op beide vragen.

Conclusies over de natuurwetenschappelijke kennis van leerlingen

Een eerste conclusie kan zijn dat de natuurwetenschappelijke kennis van de geënquêteerde leerlingen op het gebied van radioactiviteit beperkt is. Dit is natuurlijk geen verrassing gezien het feit dat dit onderwerp nog niet in de klas aan de orde was geweest. Wel blijkt het zo te zijn dat de leerlingen uit de klassen waar aandacht aan Tsjernobyl besteed is wat meer feitenkennis hebben: zij noemen bijvoorbeeld vrijwel allemaal α -, β - en γ -straling als soorten straling die te maken hebben met radioactiviteit. De volgende uitspraak van minister Nijpels (uit het NRC-Handelsblad van 31-12-1986) lijkt ons op grond van deze enquête niet langer houdbaar: "De gemiddelde Nederlandse scholier weet na Tsjernobyl wel wat een becquerel is.". We hebben het idee dat veel leerlingen geen notie hebben van de processen die zich afspelen bij de bron en de ontvanger. Wat ze van het radioactieve proces lijken te weten is, dat er iets gevaarlijks bij vrijkomt, dat kanker of misvormde nakomelingen tot gevolg kan hebben. Een maat voor het gevaar is dan de hoeveelheid straling, die uitgedrukt kan worden in becquerel of rem.

De hiervoor gepresenteerde kennis van de leerlingen over het radioactieve proces kunnen we contrasteren met de basiskennis van de stralingshygiëne. In figuur 1 hebben we de relaties tussen

de stralingstermen waarnaar in de enquête gevraagd is, schematisch aangegeven.

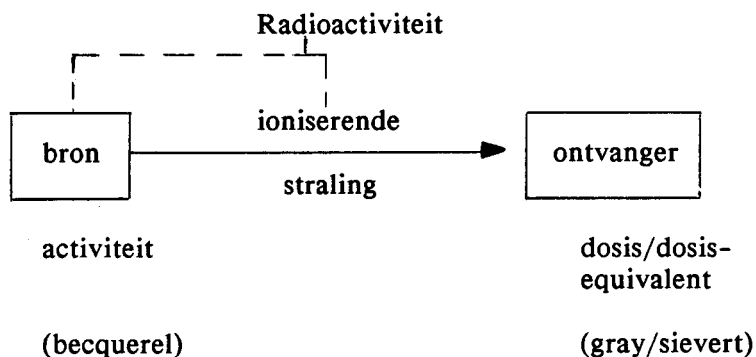


Fig.1 Relaties tussen de basisbegrippen uit de stralingshygiëne.

Zo wordt radioactiviteit omschreven als het verschijnsel dat sommige kernen spontaan kunnen veranderen onder uitzending van een hoog-energetische straling die bij een ontvanger ionisaties teweeg kan brengen (ioniserende straling). De activiteit van een radioactieve bron geeft het aantal spontane kernveranderingen per seconde aan (uitgedrukt in becquerel). Er zijn vier soorten van ioniserende straling die bij radioactieve processen uitgezonden kunnen worden. De dosis geeft de hoeveelheid geabsorbeerde energie per kilogram bestraald materiaal aan (uitgedrukt in gray), terwijl het dosisequivalent de geabsorbeerde dosis ook nog weegt naar de biologische werkzaamheid van de soort ioniserende straling bij een menselijke ontvanger (behalve in sievert wordt het dosisequivalent ook nog wel uitgedrukt in rem).

6. Leerlingen en de berichtgeving in de media

De enige gesloten vragen van de enquête luiden:

- *Heb je de berichtgeving in kranten en/of via radio en TV gevolgd tijdens de eerste weken na het ongeval in Tsjernobyl?*
- *Wat vond je van de begrijpelijkheid van de artikelen en de uitzendingen?*

Een enkele leerling antwoordt de berichtgeving niet gevolgd te hebben, terwijl 70% van de leerlingen zegt haar regelmatig of

zoveel mogelijk gevolgd te hebben. Verder antwoordt geen enkele leerling de berichtgeving niet begrijpelijk gevonden te hebben, terwijl 93% haar redelijk te begrijpen of zeer begrijpelijk vond.

Als we de in §4 gepresenteerde leerlingtheorie vergelijken met wat twee van de auteurs eerder aan denkbeelden over radioactiviteit in de berichtgeving over Tsjernobyl gevonden hebben (Eijkelhof en Lijnse, 1987), dan valt ons op dat er een grote mate van overeenstemming is. Daar een ruime meerderheid van de leerlingen aangeeft de berichtgeving in ieder geval op een regelmatige basis gevolgd te hebben, wordt de veronderstelling van Eijkelhof en Lijnse aannemelijk dat bij gebrek aan directe ervaringen met ioniserende straling hun denkbeelden daarover vooral gevormd worden door de berichtgeving in de media.

Dat leerlingen in het algemeen deze toch natuurwetenschappelijke getinte berichtgeving in ieder geval redelijk te begrijpen vonden, geeft naar onze indruk aan dat ze de berichtgeving met een andere instelling verwerkt hebben dan bijvoorbeeld een stralingskundige dat beroepshalve zou doen. Stralingsdeskundigen willen zoveel mogelijk feitelijke natuurwetenschappelijke informatie op grond waarvan zij zelf kunnen afleiden hoe ernstig de situatie is, en zij ergeren zich dan bijvoorbeeld aan een onduidelijk of onjuist gebruik van eenheden. Veel leerlingen daarentegen (en veel leken in het algemeen) lijken eerst en vooral door direct handelen te proberen het door het ongeluk verstoorde onproblematische karakter van hun leefwereld te herstellen. Deze instelling vraagt niet om een diepgaand inzicht in allerlei radioactieve processen, maar meer om directe actiemogelijkheden (zoals de in de enquête genoemde maatregelen en adviezen), die ervoor kunnen zorgen dat het gevoel ontstaat met de gevolgen van het ongeluk "te kunnen leven". Gegeven zulke actiemogelijkheden verwachten we dat leken in staat zijn hier voor henzelf bevredigende interpretaties voor te vinden, zoals leerlingen dat in ruime meerderheid zijn voor de in de enquête genoemde maatregelen en adviezen. We merken op dat de hierboven beschreven instelling van leerlingen (leken) niet specifiek is voor radioactiviteit en het ongeluk Tsjernobyl, maar veeleer een voorbeeld is van een algemeen kenmerk van leefwereld-handelen (Schutz en Luckmann, 1979).

7. Afsluiting

Samenvatting

We willen nu enkele van onze bevindingen nog eens opnieuw beschouwen door aan te geven welke natuurwetenschappelijke noties bij de geënqueteerde leerlingen lijken te ontbreken:

- a. er is een verschil tussen radioactieve stof, straling en radioactiviteit;
- b. de oorzaak van de straling, de straling zelf en de gevolgen van de straling worden verschillend beschreven;
- c. de late effecten van de straling hebben een stochastisch karakter.

Dat de onder a. genoemde notie bij veel leerlingen ontbreekt hebben we eerder al geconcludeerd uit de manier waarop de termen radioactieve stof, straling en radioactiviteit door elkaar gebruikt worden in de beantwoording van vrijwel alle vragen. Overigens is het ontbreken van notie a ook al eerder geconstateerd (Riesch en Westphal, 1975; Eijkelhof en Wierstra, 1986; Eijkelhof en Lijnse, 1987). Dat de onder b genoemde notie bij veel leerlingen lijkt te ontbreken concluderen we bijvoorbeeld uit het feit dat veel leerlingen de term stralingsdosis omschrijven als de hoeveelheid radioactieve stof, straling of radioactiviteit, dat de eenheden rem en bequerel niet wezenlijk verschillend gebruikt worden, en uit uitspraken als: "De straling heeft de groente aangetast, dus de spinazie is dan radioactief.". Het op grote schaal ontbreken van notie c blijkt volgens ons daaruit dat voor veel leerlingen het hebben van "het" een voldoende voorwaarde voor het krijgen van kanker of misvormde nakomelingen lijkt te zijn.

De natuurwetenschappelijke notie dat iets vanuit een bron bij een ontvanger terecht is gekomen, lijken de meeste leerlingen in de context van het ongeluk in Tsjernobyl te delen. Over de processen die zich bij de bron en de ontvanger afspelen houden ze er in het algemeen echter foutieve voorstellingen op na. Een notie die we regelmatig bij leerlingen aantreffen, is dat de gevolgen zeer ernstig kunnen zijn, bijvoorbeeld kanker, misvormde nakomelingen of de dood. Hierbij hebben we de indruk dat, juist omdat ze het zo gevaarlijk achten, het voor hen minder belangrijk is precies te weten hoe de fysische processen verlopen, maar meer om te weten wat er gedaan kan worden om er zo min mogelijk last van te krijgen. Op deze manier lijken leerlingen een voor hen bevredigende interpretatie van het gebeuren rond

het ongeluk in Tsjernobyl te construeren, waarin de noodzaak van verder natuurwetenschappelijke onderbouwing niet bestaat. Dat die noodzaak inderdaad niet altijd lijkt te bestaan, hebben Eijkelhof en Wierstra (1986) ook al geconstateerd wanneer blijkt dat leerlingen na behandeling van het PLON-thema Ioniserende Straling nog steeds dezelfde argumentatie als daarvoor gebruiken in hun reacties op de stelling: "Het is niet zo erg om radioactief afval in zee te storten."

De richting waarin het vervolgonderzoek zich gaat bewegen

Omdat we de in dit artikel besproken denkbeelden van leerlingen over straling en radioactiviteit hebben gedestilleerd uit vragen over het ongeluk in Tsjernobyl, is de vraag gerechtvaardigd hoe algemeen deze denkbeelden zijn. In een vervolgonderzoek (Eijkelhof *et al.*, 1988) hebben we deze vraag proberen te beantwoorden door de denkbeelden van leerlingen over andere ten gevolge van ioniserende straling risicodragende praktijksituaties (gezondheidszorg, radioactief afval, achtergrondstraling en voedselbestraling) in interviews te inventariseren. Tevens hebben we bij deze interviews geprobeerd recht te doen aan de eigen gezichtspunten van de leerlingen.

Een andere gerechtvaardigde vraag is, hoe met de denkbeelden van de leerlingen in de onderwijspraktijk omgegaan zou kunnen worden. Dit onderzoek kan daar geen antwoord op geven. Wel geeft het leraren en curriculumontwikkelaars een indruk van de aard van de denkbeelden die verwacht kunnen worden. Het inzicht dat de "voorkennis" van veel leerlingen met betrekking tot radioactiviteit en straling bepaald zal zijn door hun gevaarbeleving en door het pragmatisch en met "gezond verstand" vanuit veiligheidsmaatregelen redeneren, lijkt ons belangrijk als men in het onderwijs stralingstoepassingen aan de orde wil stellen. Verder hebben we de indruk dat de basisstructuur bron-medium-ontvanger voor veel leerlingen te begrijpen is, omdat veel leerlingen die structuur -in de context van Tsjernobyl tenminste- zelf ook al hanteren. Wel zal het van belang zijn te benadrukken welke processen zich op welk niveau afspelen, zoals dat bijvoorbeeld in recent ontwikkeld voorbeeldmateriaal voor LBO/MAVO over ioniserende straling is gedaan (Knoester en Lancel, 1988). In verband met een beter begrip van de transportwijzen (wat wordt op welke manier getransporteerd) en een betere inschatting van risico's lijkt het ons ook aan te

bevelen de situaties van een open bron (zoals bij Tsjernobyl, en bij iedere andere situatie waar sprake van besmettingsgevaar is) en een gesloten bron (waaraan in het huidige lesmateriaal bijna uitsluitend aandacht wordt besteed) duidelijk te onderscheiden. Vervolgonderzoek zal moeten leren op welke manieren in lesmateriaal en in de les zelf zodanig met de denkbeelden van leerlingen rekening gehouden kan worden, dat leerlingen uiteindelijk tot een goed begrip van (toepassingen van) ioniserende straling kunnen komen.

Noot

1. Dit onderzoek was mogelijk dankzij een subsidie van het Instituut voor Onderzoek van het Onderwijs (SVO) te Den Haag (SVO-project 6084).

Literatuur

- Bliss, J., M.Monk & J.Ogborn (1983) *Qualitative Data Analysis for Educational Research*, London & Canberra: Croom Helm.
- Driver, R., E.Guesne & A.Tiberghien (1985) *Children's Ideas in Science*, Milton Keynes: Open University Press.
- Eijkelhof, H.M.C., C.W.J.M.Klaassen, P.L.Lijnse & R.L.J.Scholte (1988) *Leerlingen over aard en risico's van straling en radioactiviteit*, Utrecht: Vakgroep Natuurkunde-Didactiek van de Rijksuniversiteit te Utrecht.
- Eijkelhof, H.M.C. & P.L.Lijnse (1987) Denkbeelden over radioactiviteit in de berichtgeving over Tsjernobyl, *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 5, 16-29.
- Eijkelhof, H.M.C. & R.F.A.Wierstra (1986) Effecten van straling en risicoafweging: een onderzoek naar kennis en attitudes van leerlingen van 5-HAVO, *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 4, 171-198.
- Knoester, E. & I.Lancel (1988) *Straling je ontkomt er niet aan*, Zeist: NIB.
- PLON (1984) *Ioniserende Straling*, Utrecht: Vakgroep Natuurkunde-Didactiek van de Rijksuniversiteit Utrecht.
- Riesch, W. & W.Westphal (1975) Modelhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung, *Der Physikunterricht*, 9, 4, 75-85.
- Schutz, A. & T.Luckmann (1979) *Strukturen der Lebenswelt*, Frankfurt a.M.: Suhrkamp Verlag.